

Unterrichtung
durch die Bundesregierung

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2020

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Auftrag	5
I. Ausgewählte Themen im Strahlenschutz im Berichtsjahr	5
1. Medizin und beruflicher Strahlenschutz	5
2. Notfallschutz	6
2.1 Der Aufbau des Radiologischen Lagezentrums (RLZ)	6
2.2 Aktualisierung der Unterlagen für den Notfallschutz	6
2.3 Die neue Tschernobyl-Verordnung	7
2.4 Untersuchung der Körperaktivität von Cäsium-137 bei Jägerinnen und Jägern	8
3. Radonvorsorgegebiete	8
4. Beratungsergebnisse der Strahlenschutzkommission (SSK)	9
4.1 Organisatorische Voraussetzungen für einen erfolgreichen betrieblichen Strahlenschutz	9
4.2 Maßnahmen für eine nachhaltige Weiterentwicklung der Arbeitsweise der Strahlenschutzkommission	9
4.3 Wirkungsmechanismen und Gesundheitseffekte von Strahlenexpositionen	10
4.4 Grenzwerte der Organ-Äquivalentdosen für die berufliche Strahlenexposition	10
5. Das neue Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder in Cottbus	11
6. Digitalisierung (5G-Strategie der Bundesregierung)	12
7. Stromnetzausbau	14
8. Gemeinsames Europäisches Forschungsprogramm zum Strahlenschutz ..	15
8.1 CONCERT (2015 - 2020)	15
8.2 RadoNorm (2020-2025) - Europäisches Radon-Forschungsprojekt	16

	Seite
II. Natürliche Strahlenexposition	17
1. Arten natürlicher Strahlenquellen	17
2. Beiträge zur Strahlenexposition	17
2.1 Kosmische und terrestrische Strahlung	17
2.2 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien, Industrieprodukten und im Bergbau	18
2.3 Lebensmittel und Trinkwasser	18
2.4 Radon in Gebäuden	20
3. Bewertung der Komponenten der natürlichen Strahlenexposition	21
3.1 Bewertung der äußeren und inneren Strahlenexposition	21
3.2 Bewertung der Exposition durch Baumaterialien	21
3.3 Bewertung der Exposition durch Radon	21
III. Zivilisatorische Strahlenexposition	22
1. Kernkraftwerke, Forschungszentren, Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe	22
1.1 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe	22
1.2 Berechnete obere Werte der Exposition	25
2. Sonstige kerntechnische Anlagen	28
2.1 Zentrale und dezentrale Zwischenlager	28
2.2 Endlager	30
3. Zusammenfassende Bewertung für kerntechnische Anlagen	31
4. Umweltradioaktivität aus Bergbau und Sanierung durch die Wismut	31
5. Rückstände aus Industrie und Bergbau mit erhöhter natürlicher Radioaktivität	33
6. Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung in Industrie und Technik sowie im Haushalt	34
6.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen	34
6.2 Hochradioaktive Quellen (HRQ)	34
6.3 Störstrahler	34
6.4 Konsumgüter und sonstige Anwendungen	34
7. Fall-out durch Kernkraftwerksunfälle und durch Kernwaffenversuche ...	35
7.1 Tschernobyl	35
7.2 Fukushima	36
7.3 Kernwaffenversuche	36
IV. Überwachung beruflicher Expositionen	36
1. Erfasste Daten	36
2. Gesamtauswertung der beruflichen Exposition nach Sektoren	36
2.1 Beruflich (messbar) exponierte Personen in Deutschland	36
2.2 Die Kollektivdosis	37
2.3 Zeitlicher Verlauf der mittleren effektiven Jahresdosis	38

	Seite
3. Weitere Auswertungen aus dem Strahlenschutzregister (SSR)	39
3.1 Anzahl der Grenzwertüberschreitungen	39
3.2 Übersicht über beruflich exponierte Personen in kerntechnischen Anlagen	40
4. Inkorporationsüberwachung beruflich exponierter Personen	40
5. Bedeutsame Vorkommnisse	41
V. Medizinische Strahlenexposition	41
1. Röntgendiagnostik	42
2. Nuklearmedizinische Diagnostik	45
3. Strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenexposition . . .	46
4. Bedeutsame Vorkommnisse in der Medizin nach Anlage 14 StrlSchV . . .	47
VI. Nichtionisierende Strahlung	48
1. Elektromagnetische Felder	48
2. Optische Strahlung	53
2.1 Solares UV-Monitoring	53
2.2 Forschung	54
2.3 Hautkrebspräventionsmaßnahmen	55
2.4 Rechtliche Regelungen	56
 Anhang	
Verwendete Abkürzungen	57
Erläuterung wichtiger Fachausdrücke	59
Stichwortverzeichnis	67

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2020 (Berichtsjahr: 1. Januar bis 31. Dezember 2020)

Wesentliche Ergebnisse im Berichtsjahr bezogen auf die Bundesrepublik Deutschland

Gesamtbewertung der ionisierenden Strahlung:

- Die berechnete Gesamtexposition beträgt 3,8 mSv¹ pro Person und Jahr, wie im Vorjahr.

Medizinische Strahlenexposition:

- Eine starke Zunahme zwischen 2007 und 2018 ist insbesondere für CT-Untersuchungen zu verzeichnen: im ambulanten kassenärztlichen Bereich lag diese bei 25 % und im stationären Bereich sogar bei über 80 %. Mit 5,5 Millionen Frauen lag die Teilnehmerrate am Mammographie-Screening im Jahr 2019 bei 50 %.
- Die mittlere effektive Jahresdosis der Bevölkerung durch medizinische Strahlenexposition bildgebender Verfahren beträgt ca. 1,6 mSv (Daten für das Jahr 2018).

Überwachung beruflicher Expositionen:

- Im Berichtsjahr wurden 420 000 Personen überwacht. Die mittlere effektive Jahresdosis aller exponierten Personen mit messbarer Dosis beträgt 0,5 mSv.

Strahlenexposition des Flugpersonals:

- Die mittlere Jahresdosis beträgt 0,6 mSv (Vorjahr: 1,8 mSv), bedingt durch die Effekte der COVID-19-Pandemie.

Register hochradioaktiver Strahlenquellen:

- Inzwischen sind 732 Genehmigungsinhaber (Vorjahr: 727) zu verzeichnen. 82 Bundes- und Landesbehörden haben Zugang zum Register.

Schachanlage Asse:

- Bei der Ermittlung der Strahlenexposition ergeben sich für das Berichtsjahr effektive Jahresdosen von 0,9 µSv für Erwachsene und 2 µSv für Säuglinge (Vorjahr 0,8 µSv bzw. 2 µSv).

Kernkraftwerksunfälle:

- Tschernobyl: Jährlich nehmen die Cäsium-137-Inventare aus dem Unfall um 2 bis 3 % im Boden auf zurzeit 45 % der 1986 deponierten Aktivität ab; die Kontamination von Wild und Pilzen ist in Deutschland verglichen mit anderen Lebensmitteln immer noch hoch, Überschreitungen der Grenzwerte gibt es weiterhin bei Wildschweinfleisch.
- Fukushima: Seit 2012 wurden in Deutschland keine Radionuklidaktivitäten aus dem Unfall mehr gemessen.

Elektromagnetische Felder:

- Im Berichtsjahr wurde das Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF) am neuen BfS-Standort in Cottbus gegründet. Neben der Intensivierung der Informations- und Dialogangebote wurde damit auch die Initiierung von zielgerichteten Forschungsvorhaben verstärkt (u. a. Digitalisierung und Stromnetzausbau).

Optische Strahlung:

- Eine Machbarkeitsstudie zur Modellierung von UV-Belastungen in urbanen Umgebungen wurde im Berichtsjahr abgeschlossen.
- Die Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSV) trat am 31. Dezember 2020 in weiten Teilen in Kraft.
- Der UV-Index erreichte im Juni und Juli im Norden und in der Mitte Deutschlands Werte von 7 bis 9, im Süden von 8 bis 10 und im alpinen Hochgebirgsraum Werte von 9 bis 12.

¹ 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, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“.

Auftrag

Das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) sieht in § 164 Absatz 2 die jährliche Berichterstattung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)² 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) im integrierten Mess- und Informationssystem für die Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) zusammengefasst, aufbereitet und dokumentiert (§ 164 Absatz 1 StrlSchG). Zusätzlich enthält dieser Bericht Informationen über den Bereich „nichtionisierende Strahlung“ (NIR).

Alle Angaben beziehen sich auf das Berichtsjahr 1. Januar bis 31. Dezember 2020, sofern nichts anderes angegeben ist. Ausführlicheres Datenmaterial ist den Jahresberichten des BMUV 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

Wissenschaftliche Bewertung von Früherkennungsuntersuchungen durch das BfS

Mit Inkrafttreten des Strahlenschutzgesetzes Ende 2018 wurde das BMUV ermächtigt, in Form einer Rechtsverordnung festzulegen, welche Untersuchungen mit Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe zur Früherkennung einer schweren Krankheit zulässig sind und unter welchen Voraussetzungen sie durchgeführt werden dürfen (§ 84 Absatz 2 StrlSchG).

Das BfS hat die Aufgabe, mögliche Früherkennungsuntersuchungen zu identifizieren und diese unter Beteiligung von Sachverständigen wissenschaftlich zu bewerten. In einem zweistufigen Prozess werden relevante Früherkennungsuntersuchungen priorisiert (Vorprüfung) und dann einer ausführlichen Begutachtung unterzogen. Dabei wird der Nutzen den unerwünschten Wirkungen der Früherkennungsuntersuchung sowie dem damit einhergehenden Strahlenrisiko gegenübergestellt. Darüber hinaus formuliert das BfS Bedingungen und Anforderungen an die Durchführung der Früherkennung, die erfüllt sein müssen, damit der Nutzen das Risiko sicher überwiegt. Im Gegensatz zur Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe im Rahmen einer Untersuchung von Patientinnen und Patienten erfolgen Früherkennungsuntersuchungen an asymptomatischen Personen. Daher sind besonders strenge Anforderungen an den Früherkennungsprozess notwendig, um ein hohes Strahlenschutz-Niveau sicherzustellen.

Die Bewertung des BfS in Form eines wissenschaftlichen Berichts wird den betroffenen Fachkreisen zur Stellungnahme vorgelegt und dient dem BMUV als Entscheidungsgrundlage für die Zulassung der Früherkennung.

Derzeit ist die einzige zulässige Früherkennungsmaßnahme mit Röntgenstrahlung das Mammographie-Screening-Programm. Frauen im Alter von 50-69 Jahren werden eingeladen, alle zwei Jahre eine Screening-Mammographie zu erhalten. Die Früherkennung findet in Form eines qualitätsgesicherten Programms statt, dessen Ergebnisse regelmäßig evaluiert werden (s. Seite 43 „Röntgenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs“).

Das BfS identifizierte als eine weitere relevante Untersuchung die Lungenkrebsfrüherkennung mittels Niedrig-Dosis-Computertomographie bei (ehemaligen) starken Rauchern und Raucherinnen. Die ausführliche Begutachtung wurde mit Erlass durch das BMUV im Jahr 2019 begonnen. In einer systematischen Literaturübersicht konnten mehrere Studien recherchiert werden, welche die Lungenkrebssterblichkeit in Gruppen von Personen mit Früherkennungsuntersuchungen mit derjenigen bei Personengruppen ohne Früherkennung vergleichen. Davon ausgehend bewertet das BfS das Nutzen-Risiko-Verhältnis für verschiedene Screening-Szenarien und erarbeitet fachliche Anforderungen, welche organisatorische, medizinische und technische Aspekte der Lungenkrebsfrüherkennung betreffen und sich an den Qualitätsstandards der zu Grunde liegenden Studien orientieren.

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 Exposition der Bevölkerung insgesamt, sondern es nimmt gleichzeitig auch das Risiko von unbeabsichtigten oder fehlerhaften Expositionen zu. Diese

² im Gesetz noch Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

können auf Grund technischer Mängel, aber auch auf Grund menschlichen Versagens vorkommen. § 90 Absatz 1 Satz 1 StrlSchG ermächtigt die Bundesregierung, durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates Pflichten des Strahlenschutzverantwortlichen sowie behördliche Aufgaben und Befugnisse festzulegen. Die in § 90 Absatz 2 StrlSchG und in §§ 108-112 StrlSchV getroffenen Regelungen zur Meldung von bedeutsamen Vorkommnissen und den diesbezüglichen Aufgaben der zuständigen Stellen gelten für alle Anwendungen radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung (einschließlich Röntgenstrahlung) am Menschen.

Gemäß § 111 Absatz 1 Nummer 6 StrlSchV führt die zentrale Stelle eine regelmäßige systematische wissenschaftliche Aufarbeitung der durchgeführten Auswertungen der gemeldeten bedeutsamen Vorkommnisse (nach § 111 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchV) durch und veröffentlicht die Ergebnisse einschließlich der daraus abgeleiteten Empfehlungen für den Strahlenschutz. Diese Veröffentlichung erfolgt in Form von Jahresberichten.

Im zweiten Jahresbericht wurden bedeutsame Vorkommnisse aus dem Jahr 2020 ausgewertet³. Mitte Juli 2021 lagen der zentralen Stelle insgesamt 130 Meldungen für das Jahr 2020 vor, 113 hiervon waren abgeschlossen. Bei 11 Abschlussmeldungen wurde durch die zuständige Behörde und/oder das BfS festgestellt, dass es sich um kein Vorkommnis bei der Anwendung am Menschen handelte, oder dass das berichtete Vorkommnis nicht bedeutsam war. Damit ergaben sich für 2020 Informationen zu 102 abgeschlossenen Meldungen über bedeutsame Vorkommnisse, welche in diesem Bericht berücksichtigt werden.

2. Notfallschutz

Die Reaktorkatastrophen in Tschernobyl und Fukushima haben deutlich gemacht, wie wichtig eine reibungslose Zusammenarbeit und klare Aufgabenteilung aller am Notfallschutz beteiligten Institutionen ist. Kommt es zu einem radiologischen Notfall, arbeiten je nach Art des Unfalls Bundes- und Länderbehörden, Anlagenbetreiber und/oder Katastrophenschutz im In- und Ausland eng zusammen. Ihr gemeinsames Ziel ist es, den Notfall zu bewältigen und die Bevölkerung bestmöglich vor radiologischen Folgen zu schützen.

2.1 Der Aufbau des Radiologischen Lagezentrums (RLZ)

Tritt in Deutschland oder im benachbarten Ausland eine Notfallsituation ein, bei der radioaktive Stoffe in die Umwelt gelangen können, müssen die Behörden und Organisationen in Bund und Ländern ihre Schutzmaßnahmen eng aufeinander abstimmen.

Das BMUV 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 die Angemessenheit von Katastrophenschutzmaßnahmen (und anderen Schutzmaßnahmen) für betroffene Gebiete beurteilt.

Im Rahmen des Aufbaus wurde ein Trainingskonzept entwickelt, durch welches die notfallbezogenen Kompetenzen des Personals der am Radiologischen Lagezentrum beteiligten Organisationen weiterentwickelt werden können. Hierzu wurde im Berichtsjahr ein Ressortforschungsvorhaben „Entwicklung geeigneter Schulungskonzepte für Einsatzszenarien im Radiologischen Lagezentrum zur Optimierung der psychischen und fachlichen Verfasstheit und rollenbezogenen Kompetenzentwicklung“ erfolgreich abgeschlossen. Besonders relevant hierbei waren die rollenbezogene Aus- und Weiterbildung bezüglich des Handelns in Krisenlagen in einer Besonderen Aufbauorganisation (BAO) des BfS und der Stabsarbeit. Einbezogen wurden u. a. individuelle und teambezogene Faktoren sowie organisationsbezogene Einflussfaktoren wie Sicherheits- und Fehlerkultur. Nähere Angaben über die Ergebnisse der genannten Forschungsvorhaben sind dem Programmreport 2020 zu entnehmen⁴.

2.2 Aktualisierung der Unterlagen für den Notfallschutz

Die Prognosefähigkeit der von Unfällen kerntechnischer Anlagen ausgehenden Gefährdung während des Nichtleistungsbetriebes (NLB) ist im Berichtsjahr mit dem Vorhaben „Ergänzung der Quelltermdatenbank des Entscheidungshilfesystems RODOS für Freisetzungen aus dem RDB⁵ bei Nichtleistungsbetriebszuständen in Kernkraftwerken“ auf den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik (WuT) gebracht worden. Nach der im Rahmen des Vorhabens vorgenommenen Anpassung der Software FaSTPro der Gesellschaft für Reaktor- und Anlagensicherheit (GRS) zur Abschätzung von NLB-Quelltermen ist die Bereitstellung von Freisetzungsdaten als Ein-

³ Melde- und Informationssystem für bedeutsame Vorkommnisse bei Strahlenanwendungen am Menschen – Jahresbericht 2019, <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/bevomed/jahresbericht/jahresbericht.html>

⁴ „Strahlenschutzforschung Programmreport 2020“ unter nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257

⁵ Reaktordruckbehälter

gabe in das Entscheidungshilfesystem RODOS zwecks radiologischer Lagebewertung auch für NLB-Zustände möglich. Die im Ergebnis des Vorhabens ermittelten NLB-Quellterme wurden nach dem erfolgreichen Test in die RODOS-Quellterm-Datenbank eingepflegt.

Das im Berichtsjahr abgeschlossene Vorhaben „Überarbeitung des Maßnahmenkatalogs unter Berücksichtigung von Erfahrungen nach dem Unfall in Fukushima sowie von internationalen Entwicklungen in den letzten Jahren“ diente dazu, den Überarbeitungsbedarf für den von der Strahlenschutzkommission im Jahr 2008 ausgearbeiteten Maßnahmenkatalog zu ermitteln und mit der Umsetzung der Überarbeitung zu beginnen. Neue Erkenntnisse nach dem Reaktorunfall in Fukushima im Jahr 2011 und seither verabschiedete neue gesetzliche Grundlagen erforderten die Überarbeitung der bisherigen Ausführungen im Maßnahmenkatalog.

Einsatzkräfte sind ein wichtiges Standbein des nuklearen Notfallmanagements. Um die Einsatzbereitschaft von Einsatzkräften im nuklearen Notfall nachhaltig sicher zu stellen und um die gesundheitlichen und psychosozialen Folgen des Einsatzes für die Einsatzkräfte und Einsatzhelfer so gering wie möglich zu halten, ist entsprechende Vorbereitung und Begleitung in Form von Information und Kommunikation erforderlich. Hierzu wurde im Berichtsjahr im Vorhaben „Ermittlung der Informations- und Schutzbedürfnisse von Einsatzkräften im Notfallschutz; Ableitung von Empfehlungen zur Verbesserung der Ausbildung, Information und Kommunikation“ das Informations- und Schutzbedürfnisse von Einsatzkräften im radiologischen Notfallschutz untersucht. In leitfadengestützten Interviews wurden unter Einbezug aller relevanten Einsatzkräfte-Organisationen die Informations- und Schutzbedürfnisse der Einsatzkräfte erhoben. Die identifizierten Bedürfnisse wurden dann mit Vertretern und Vertreterinnen aus unterschiedlichen Einsatzorganisationen, der Forschung sowie dem BfS im Rahmen eines Workshops verifiziert, präzisiert, gewichtet und ergänzt. Das Projektteam leitete Empfehlungen in den Bereichen Ausbildung, Information und Kommunikation ab, die Einsatzkräfte im radiologischen Notfallschutz im Umgang mit psychosozialen Belastungen unterstützen sollen.

Nähere Angaben über die Ergebnisse der genannten Forschungsvorhaben sind dem Programmreport 2020 zu entnehmen⁴.

2.3 Die neue Tschernobyl-Verordnung

Die Strahlenbelastung in Folge des Unfalls im Kernkraftwerk Tschernobyl im April 1986 ist noch heute in bestimmten regional produzierten Lebensmitteln wie Pilzen, Wild sowie Waldbeeren nachweisbar. Zum Schutz der Verbraucher hat die Europäische Kommission Regelungen zum Import bestimmter Erzeugnisse aus Drittstaaten erlassen, die zuletzt im Jahr 2020 aktualisiert wurden. So sieht die neue Durchführungsverordnung (EU) 2020/1158 der Kommission vom 5. August 2020 über die Einfuhrbedingungen für Lebens- und Futtermittel mit Ursprung in Drittländern nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl (ABl. L 257 vom 06.08.2020, S. 1), die am 08.08.2020 in Kraft getreten ist, u.a. folgende Einfuhrbedingungen vor:

Für Erzeugnisse, deren Herkunft oder Ursprung in einem der 13 in Anhang I der Durchführungsverordnung genannten Drittstaaten liegt, gilt in Bezug auf die radioaktive Kontamination mit Cäsium-137 für Milch und Milcherzeugnisse sowie für Säuglings- und Kleinkindernahrung ein Höchstwert von 370 Bq/kg. Für alle anderen in Anhang II aufgeführten Erzeugnisse - insbesondere diverse Wildpilze und wild wachsende Beeren - gilt ein Höchstwert von 600 Bq/kg.

Jede Sendung der vorgenannten Erzeugnisse muss von einer amtlichen Bescheinigung begleitet sein, aus der u.a. hervorgeht, dass die Höchstwerte für Cäsium-137 eingehalten werden. Beim Eingang in die Europäische Union werden diese Sendungen Kontrollen unterzogen, welche bei 20 % aller Sendungen auch Laboranalysen beinhalten.

Die Durchführungsverordnung (EU) 2020/1158 hat die bis 31.03.2020 befristete Verordnung (EG) 733/2008 ersetzt und zugleich die diese ergänzenden Verordnungen (EG) 1609/2000 und (EG) 1635/2006 aufgehoben. Sie enthielt eine Übergangsbestimmung, nach der Sendungen der in Anhang II der VO genannten Erzeugnisse noch bis zum 31.12.2020 mit dem bisherigen Ausfuhrzeugnis für landwirtschaftliche Erzeugnisse nach VO (EU) 1635/2006 in die Union verbracht werden durften, wenn diese Bescheinigung vor dem 01.09.2020 ausgestellt wurde.

Neben geringfügigen Änderungen in der Auflistung der konkreten Erzeugnisse im Anhang II der Durchführungsverordnung 2020/1158 im Vergleich zur Verordnung (EG) 733/2008 ergaben sich insbesondere Anpassungen im Anhang I: Die Liste der Drittstaaten wurde reduziert um die EU-Mitgliedstaaten Bulgarien und Rumänien sowie um die EWR-Staaten Liechtenstein und Norwegen, wohingegen das Vereinigte Königreich nach dem Austritt Großbritanniens aus der EU neu in die Liste der Drittstaaten aufgenommen wurde.

2.4 Untersuchung der Körperaktivität von Cäsium-137 bei Jägerinnen und Jägern

Cäsium-137 (Cs-137) ist seit dem Unfall von Tschernobyl in einigen Gebieten Deutschlands in der Umwelt vorhanden. Deshalb kommt es auch in bestimmten Lebensmitteln, insbesondere im Fleisch von Wildschweinen und in manchen Wildpilzen vor und gelangt dadurch in den menschlichen Körper. Verschiedene Aspekte der vermuteten besonderen Verzehrsgewohnheiten von Jägerinnen und Jägern sowie ihren Angehörigen können dazu beitragen, bei diesen Personen besonders große Körperaktivitäten von Cs-137 zu finden:

- Jägerinnen, Jäger und ihre Angehörigen verzehren vermutlich tendenziell mehr Wildfleisch und Wildpilze als die übrige Bevölkerung.
- Diese Personen dürfen außerdem Fleisch von Tieren verzehren, deren Aktivität von Cs-137 den Grenzwert von 600 Bq/kg für Lebensmittel überschreitet oder nicht gemessen wurde.

Deshalb führte das BfS in seiner Inkorporationsmessstelle in München (Neuherberg) ein Forschungsvorhaben durch, in dem an Personen der genannten Gruppe die Körperaktivität von Cs-137 in Inkorporationsmessungen bestimmt und mit den Verzehrsgewohnheiten der Personen in Verbindung gebracht wurde.

Mit Broschüren, die an Jagdverbände im Umkreis der Inkorporationsmessstelle verschickt worden waren sowie in Berichten in lokalen Tageszeitungen und der Mitgliederzeitschrift des Bayerischen Jagdverbandes wurden interessierte Personen zu diesen Messungen eingeladen. In der Messstelle wurden die Personen unter anderem nach der Häufigkeit des Verzehrs von Wildfleisch, der Art des Fleisches und dem Ort ihres Jagdreviers befragt und anschließend in einer 20-minütigen Messung mit einem Ganzkörperzähler auf ihre Körperaktivität von Cs-137 untersucht. 51 Jägerinnen und Jäger sowie 7 Angehörige nahmen an der Studie teil. Der Großteil der Personen stammte aus dem Süden Bayerns, also aus dem vom Unfall von Tschernobyl noch betroffenen Gebiet. Die Ergebnisse wurden mit den Ergebnissen von Messungen an 251 anderen Personen, die im Untersuchungszeitraum ebenfalls in der Inkorporationsmessstelle gemessen wurden, verglichen.

Bei den Jägerinnen und Jägern und ihren Angehörigen konnte in 84% der Messungen Cs-137 nachgewiesen werden, während das bei den anderen Personen lediglich in 27% der Messungen der Fall war. Der Median der Messergebnisse lag bei einer Aktivität von 58 Bq, der Maximalwert bei 1050 Bq. Bei den anderen Personen kann der Median auf Grund des großen Anteils an Messungen ohne Feststellung (kein Cs-137 nachgewiesen) nicht angegeben werden, der Maximalwert lag bei 216 Bq.

Eine statistische Auswertung des Einflusses der abgefragten Verzehrsgewohnheiten ergab signifikante Einflüsse der Häufigkeit des Verzehrs von Wildschweinfleisch und des Verzehrs selbst gesammelter Wildpilze. Bei den meisten Personen, die an der Studie teilnahmen und auch selbst gesammelte Pilze verzehrten, war der Beitrag durch den Verzehr der Pilze größer als der durch Wildschweinfleisch.

An der Person mit der größten gemessenen Körperaktivität, einem 70-jährigen Jäger aus dem Osten von München mit regelmäßigem Verzehr von Wildschweinfleisch und Wildpilzen wurde beispielhaft der Beitrag des Cs-137 zur effektiven Dosis berechnet. Er beträgt 35 μSv pro Jahr. Zum Vergleich: Die mittlere jährliche effektive Dosis durch natürliche Strahlenexposition liegt für die Bevölkerung in Deutschland bei ca. 2100 μSv .

3. Radonvorsorgegebiete

Radon ist gasförmig und bei langjähriger Inhalation eine der häufigsten Ursachen für Lungenkrebs nach dem Rauchen. Es ist fast überall in Deutschland nachzuweisen und erhöhte Radoninnenraumkonzentrationen in Gebäuden hängen unter anderem vom Gehalt im Boden und den unterlagernden geologischen Strukturen ab.

Im neuen Strahlenschutzgesetz wurde mit den §§ 124 und 126 erstmals ein Referenzwert zur Bewertung der Radonkonzentration in Innenräumen (Aufenthaltsräume und Arbeitsplätze) festgelegt. Ein besonderes Augenmerk wurde gesetzlich hierbei zunächst auf Regionen gelegt, die statistisch ein höheres Risiko haben, den festgelegten Referenzwert in Innenräumen zunächst zu überschreiten. Nach § 121 Absatz 1 Satz 1 des StrlSchG i.V.m. § 153 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) legten die Länder bis zum 31. Dezember 2020 sogenannte Radonvorsorgegebiete fest, für die erwartet wird, dass in mindestens 10 Prozent der Gebäude und auf mindestens 75 Prozent der Fläche der jeweiligen Verwaltungseinheit der Referenzwert von 300 Bq/m³ überschritten wird. In Radonvorsorgegebieten gelten höhere Anforderungen an den Schutz vor Radon bei Neubauten sowie Mess- und ggf. Sanierungspflichten für Arbeitsplätze im Keller- und Erdgeschoss. Die Festlegung von Radonvorsorgegebieten erfolgt durch die Länder im Auftrag des Bundes.

Für Neubauten gilt im gesamten Bundesgebiet eine gesetzliche Pflicht, Maßnahmen zu treffen, um den Zutritt von Radon aus dem Baugrund zu verhindern oder erheblich zu erschweren. Gemäß § 154 der StrSchV gilt für die Er-

richtung von Neubauten in Radonvorsorgegebieten in der Regel, dass zusätzlich zum bundesweit geltenden Feuchteschutz eine weitere Radonlösung vorgeschrieben ist.

Im Bereich der Arbeitsplätze sieht das Strahlenschutzrecht auch für bestehende Gebäude in Radonvorsorgegebieten verbindliche Regelungen für den Schutz vor Radon vor. Diese gewährleisten einen guten Gesundheitsschutz von Arbeitskräften. Schutzvorschriften vor Radon an Arbeitsplätzen betreffen in den Radonvorsorgegebieten alle Arbeitsplätze im Erd- oder Kellergeschoss. Verantwortliche für diese Arbeitsplätze sind verpflichtet, die Radonkonzentration an den Arbeitsplätzen zu ermitteln. Vorschläge für ein abgestuftes Vorgehen zur Messung der Radonkonzentration am Arbeitsplatz sowie den daraus resultierenden Maßnahmen finden sich im Sinne der §§ 126-132 StrlSchG als Leitfaden auf den Internetseiten des Bundesamtes für Strahlenschutz. An Arbeitsplätzen, an denen der gesetzliche Referenzwert für die Radonkonzentration in der Raumluft überschritten wird, sind durch den Arbeitgeber Maßnahmen zu ergreifen, um die Radonkonzentration unter den Referenzwert zu senken. Zudem sieht das Strahlenschutzgesetz besondere Schutzmaßnahmen für die Beschäftigten bei erhöhten Radonwerten vor, falls keine Senkung unterhalb des gesetzlichen Referenzwertes erreicht wird. Es wurden von Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Niedersachsen, Bayern und Baden-Württemberg Radonvorsorgegebiete festgelegt. Gemäß § 121 Absatz 1 Satz 3 StrSchG ist die Festlegung der Radonvorsorgegebiete mindestens alle zehn Jahre zu überprüfen, wodurch sich die Anzahl an Radonvorsorgegebieten der Länder bei neuen Erkenntnisständen noch ändern kann.

4. Beratungsergebnisse der Strahlenschutzkommission (SSK)

4.1 Organisatorische Voraussetzungen für einen erfolgreichen betrieblichen Strahlenschutz

Eine übergeordnete Zielsetzung des betrieblichen Strahlenschutzes ist es, nicht nur die Einhaltung der jeweiligen Grenzwerte für die Strahlenexposition der Beschäftigten und der Bevölkerung sicherzustellen, sondern auch unnötige Strahlenexpositionen zu vermeiden und die jeweilige Strahlenexposition unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls auch unterhalb bestehender Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

Für einen guten betrieblichen Strahlenschutz sind der Aufbau der Strahlenschutzorganisation und die Stellung der Strahlenschützer im Unternehmen von zentraler Bedeutung. In Deutschland ist insbesondere das Verhältnis von Strahlenschutzverantwortlichen, Strahlenschutzbeauftragten und weiteren Mitarbeitern entscheidend.

In der Umsetzung der Anforderungen an die Aufbau- und Ablauforganisation zeigen sich in der Praxis sehr unterschiedliche Ausprägungen. Diese können teilweise eine effektive und erfolgreiche Durchführung des betrieblichen Strahlenschutzes erschweren.

Das Bundesumweltministerium hat die SSK am 07. Juni 2016 um Beratung zu der Frage gebeten, was eine gute Strahlenschutzorganisation auszeichnet und wie diese gefördert werden kann.

Auf der Basis der in der Vergangenheit gemachten Erfahrungen bei der Umsetzung des gesetzlichen und untergesetzlichen Regelwerks wie auch fachlicher Erfordernisse im Hinblick auf die Aspekte der Strahlenschutzorganisation haben sich, je nach betrachtetem Anwendungsgebiet, z. T. unterschiedliche Hemmnisse im Hinblick auf einen effektiven und erfolgreichen betrieblichen Strahlenschutz herauskristallisiert. Hieraus ergeben sich konkrete Empfehlungen, die aus Sicht der SSK in verschiedenen Fällen zu einer Verbesserung des betrieblichen Strahlenschutzes führen können.

Die Empfehlung wurde in der 305. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 11./12. Februar 2020 verabschiedet.⁶

4.2 Maßnahmen für eine nachhaltige Weiterentwicklung der Arbeitsweise der Strahlenschutzkommission

Als Sachverständigenkommission im Risiko- und Sicherheitsmanagement folgt die SSK einem Modell eines kollegialen und permanenten wissenschaftlichen Beratungsgremiums, das einem Ressort oder einer Behörde zugeordnet und von diesem/dieser bestellt ist, mit definiertem Beratungsauftrag und eigener Geschäftsstelle. Dabei werden die Aufgaben in der SSK und ihren Ausschüssen und Arbeitsgruppen als Ehrenamt ausgeübt.

In den letzten Jahren gestaltete sich die Anwerbung neuer Mitglieder zunehmend schwierig. Für Expertinnen und Experten, die an Universitäten, Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen tätig sind, sieht die SSK die geringer werdende Anerkennung von wissenschaftlicher Beratung im Rahmen indikatorgestützter Mittelzuweisungen und persönlicher Leistungsbeurteilungen als wichtiges Hemmnis an. Für Expertinnen und Exper-

⁶ Bekanntmachung im BAnz AT 21.07.2020 B4, urn:nbn:de:101:1-2020070917032228527622

ten, die an anderen öffentlichen Einrichtungen, wie z. B. Krankenhäusern, tätig sind, ergeben sich Hemmnisse auf Grund der zunehmenden Rationalisierung von Personal und infrastrukturellen Ressourcen. In der Privatwirtschaft gibt es neben Arbeitgebern, die das Ehrenamt von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gerne unterstützen, auch solche, die dieses hauptsächlich als Kostenfaktor sehen.

Eine Arbeitsgruppe der SSK hat daher Vorschläge erarbeitet, wie die Attraktivität einer Mitarbeit in der SSK gesteigert werden kann. Diese betreffen zum einen SSK-spezifische Prozesse und Abläufe. Da sich vermutlich alle öffentlichen Institutionen, die auf interessenunabhängige wissenschaftliche Beratung angewiesen sind, ähnlichen Schwierigkeiten gegenübersehen, zielt das vorliegende Papier zum anderen auch auf einen ressortübergreifenden Dialog.

Die Empfehlung wurde in der 307. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 2. Juli 2020 verabschiedet.

4.3 Wirkungsmechanismen und Gesundheitseffekte von Strahlenexpositionen

Die Klausurtagung 2019 der Strahlenschutzkommission (SSK) fand in Dresden statt und widmete sich dem Thema „Wirkungsmechanismen und Gesundheitseffekte von Strahlenexpositionen“. Ziel dieser Klausurtagung war es, das grundlegende Wissen zu Strahlenrisiken zu vermitteln und neue Erkenntnisse darzustellen. Weiterhin sollten die Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Wissensstand von und im Umgang mit Gesundheitsrisiken durch Expositionen mit ionisierender und nichtionisierender Strahlung herausgearbeitet und Forschungsprioritäten erörtert werden.

Die Tagung war in sechs Sitzungen gegliedert und umfasste neben einer allgemeinen Einführung in die Risiken ionisierender und nichtionisierender Strahlung mehrere Themenblöcke zu spezifischen Mechanismen und Gesundheitseffekten. Eine Abschlussdiskussion zu Forschungsprioritäten, die mit Impulsvorträgen eingeleitet wurde, rundete das Tagungsprogramm ab.

Die Empfehlung wurde in der 307. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 3. Juli 2020 verabschiedet.

4.4 Grenzwerte der Organ-Äquivalentdosen für die berufliche Strahlenexposition

Im Rahmen der Umsetzung des Artikels 9 der Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom in deutsches Recht hat das Bundesumweltministerium die SSK am 27. Juni 2014 gebeten, zu prüfen, ob ihre bisherige Empfehlung zu den Organosisdosisgrenzwerten vor dem Hintergrund der Weiterentwicklung des Standes der Wissenschaft Bestand hat.

Die SSK hatte sich zuletzt 1998 im Zusammenhang mit der Einführung der damals verabschiedeten EURATOM-Grundnormen in ihrer Empfehlung „Positionen zu Grundsatzfragen bei der Anpassung der Strahlenschutzverordnung an die neuen Euratom-Grundnormen“ zu den Grenzwerten der Organ-Äquivalentdosis geäußert.

Auf diesen Beratungsauftrag hin hat die SSK in einer umfassenden Literaturstudie und mittels umfangreicher eigener Rechnungen untersucht, inwieweit nach dem heutigen Stand des Wissens bei Einhaltung der Grenzwerte der effektiven Dosis und der Organ-Äquivalentdosis in Augenlinse, Haut und Extremitäten strahlenbedingte Erkrankungen auftreten können, die weder Krebs, benigne Tumoren oder vererbte genetische Erkrankungen sind. Sie ist dabei davon ausgegangen, dass solche Erkrankungen erst bei Organosiden oberhalb von 500 mSv zum Tragen kommen. Die für verschiedene Expositionsszenarien durchgeführten Rechnungen zeigen, dass dieser Wert bei Einhaltung des Grenzwertes der effektiven Dosis in den folgenden fünf Organen überschritten werden kann: Knochenoberfläche, Schilddrüse, Lymphknoten, obere Atemwege und Nieren. Die Literaturstudie ergab jedoch für diese Organe auch für die maximal auftretenden Äquivalentdosen keine hinreichende Evidenz für die o. g. Erkrankungen oder für Strahleneffekte, die eine Begrenzung der Äquivalentdosis in diesen Organen nahelegt.

Die SSK empfiehlt deshalb, auf eine Begrenzung von Organ-Äquivalentdosen zu verzichten, die über die in der Richtlinie 2013/59/Euratom enthaltenen Grenzwerte der Organosidosis hinausgeht, und begrüßt, dass diese Empfehlung bereits im neuen Strahlenschutzgesetz vollzogen wurde.

Die SSK betont, dass mit ihrer Empfehlung keines der Schutzziele im Strahlenschutz aufgegeben wird, sondern lediglich diejenigen Grenzwerte der Organ-Äquivalentdosis, die nicht notwendig sind, um die Schutzziele zu erreichen.

Die Empfehlung wurde in der 309. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 09./10. Dezember 2020 verabschiedet.⁷

5. Das neue Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder in Cottbus

Viele Bürgerinnen und Bürger, die in unmittelbarer Nähe zu Hochspannungsleitungen wohnen, stellen sich die Frage, ob von den niederfrequenten Feldern der Stromversorgung möglicherweise ein gesundheitliches Risiko ausgeht. Durch den verstärkten Ausbau der Erneuerbaren Energien, insbesondere der Offshore-Windenergie, und dem dadurch notwendigen Aus- und Umbau des bestehenden Stromnetzes in Deutschland, verstärkt sich die Besorgnis in den betroffenen Regionen. In 65 Projekten sind 7783 km Hochspannungsleitungen zu realisieren, von denen Ende 2020 erst 1619 km abgeschlossen, in Bau oder zumindest genehmigt waren (<https://netzausbau.de/monitoring>). Um dem Informationsbedürfnis in betroffenen Regionen gerecht zu werden, wurde im Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD im Jahr 2017 festgelegt, dass am BfS ein Kompetenzzentrum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ etabliert wird. In den darauffolgenden Jahren dehnte sich die Besorgnis in der Bevölkerung auch auf andere Felder des elektromagnetischen Spektrums aus, vor allem durch die Einführung des 5. Mobilfunkstandards (5G). Die Bundesregierung hat sich daher in ihrer Mobilfunkstrategie im November 2019 für Begleitforschung, vor allem aber auch für die Intensivierung der Kommunikation eingesetzt. Mit der Gründung des „Kompetenzzentrums Elektromagnetische Felder“ am 5. Februar 2020 durch die Bundesumweltministerin Svenja Schulze wurden die in der Bevölkerung diskutierten Fragen zu möglichen gesundheitlichen Wirkungen aufgenommen und eine Einheit beim BfS gegründet, die sowohl Informations- als auch Forschungsaufgaben übernimmt.

Das Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF) ist am neuen BfS-Standort in Cottbus angesiedelt und wird aus Mitteln der Strukturförderung finanziert. Mit dem Ausstieg aus der Kohlegewinnung bis zum Jahr 2038 stehen den vier Kohleregionen auf Basis des Strukturfördergesetzes 40 Milliarden Euro in den kommenden 18 Jahren zur Verfügung. Im Jahr 2020 konnten die ersten 14 Expertinnen und Experten aus verschiedenen Fachdisziplinen, u. a. Physik, Biologie, Dosimetrie, Elektrotechnik, Soziologie und Kommunikationswissenschaften rekrutiert werden, um die am BfS bereits bestehende Expertise auszubauen.

Die Fragen der Bürgerinnen und Bürger sind vielfältig. Die Energiewende und andauernde Digitalisierung sichern die Zukunftsfähigkeit Deutschlands - Veränderungen gehen aber auch mit Verunsicherung einher. Neben den genannten Hochspannungsleitungen sind es v. a. neue Technologien, die hinterfragt werden. Ist man in Elektroautos und in der Nähe der Ladestationen stärkeren Feldern ausgesetzt als in konventionellen Fahrzeugen? Sind Basisstationen und WLAN-Router Dauerstrahler, die möglicherweise gesundheitsschädigend sind? Ist ein effizienterer 5G-Standard im Vergleich zu bisherigen Mobilfunkstandards nicht auch mit stärkerer Exposition verbunden? Bedeutet die stetig steigende Zahl an Technologien, die elektromagnetische Felder nutzen, nicht auch eine stetig steigende Exposition? Wann ist es zu viel, bzw. wie ist sichergestellt, dass es nicht zu viel wird?

Das Kompetenzzentrum bietet an, Anlaufstelle für alle zu sein, die Fragen haben. Das sind neben Bürgerinnen und Bürgern auch Behörden, Medienvertretende, Verantwortliche im Gesundheitswesen und andere Wissensvermittelnde. Die Schulungs- und Dialogangebote werden weiter ausgebaut. Unter anderem wird eine Online-Sprechstunde für Bürgermeisterinnen und Bürgermeister und Kommunalvertretende etabliert, in der zu allen Strahlenschutzfragen, z.B. in Bezug zu geplanten Stromtrassen oder neuen Mobilfunkbasisstationen, der aktuelle Wissensstand vermittelt wird und aufkommende Fragen beantwortet werden. Mittelfristig, und wenn die Pandemie es zulässt, werden auch Vor-Ort-Veranstaltungen angeboten werden. Hierzu ist eine mobile Ausstellungs- und Begegnungsstätte in Planung, die zum Ziel hat, elektromagnetische Felder „erfahrbar und begreifbar“ zu machen, um die alltäglichen Feldquellen besser einordnen zu können.

Eine Möglichkeit, elektromagnetische Felder als Laiin/Laie besser einschätzen zu können, besteht in der Messung der Feldstärke bzw. Flussdichte und der Feldverteilung rund um Feldquellen. Das in Cottbus aufzubauende Mess-team wird daher im Rahmen seiner Messaktivitäten unter anderem auch die mobile Ausstellungs- und Begegnungsstätte zeitweise begleiten. Die Risikokommunikationsforschung, u. a. vom BfS, konnte zeigen, dass Messungen im privaten Umfeld das Verständnis zur Stärke der Felder, zum Vergleich verschiedener Feldquellen und zu den Grenzwerten veranschaulichen können. Messwerte können durch stichprobenartige, frequenzspezifische Messungen durch Expertinnen und Experten vor Ort oder z.B. auch durch 24-Stunden-Messungen mit Personendosimetern gewonnen werden.

Neben der Intensivierung der Informations- und Dialogangebote wurde mit der Gründung des Kompetenzzentrums Elektromagnetische Felder auch die Initiierung von zielgerichteten Forschungsvorhaben verstärkt (siehe Kapitel 6: Digitalisierung und Kapitel 7: Stromnetzausbau).

⁷ Bekanntmachung im BAnz AT 24.11.2021 B3

6. Digitalisierung (5G-Strategie der Bundesregierung)

Für den neuen Mobilfunkstandard 5G wurden 2019 auf der Frequenzauktion der Bundesnetzagentur (BNetzA) das 2 GHz- sowie das 3,6 GHz-Frequenzband an die Mobilfunkbetreiber versteigert. Im 2 GHz-Band ist bis Ende 2021 noch das 3G-Mobilfunknetz (UMTS) vorgesehen, das dann abgeschaltet wird um die Frequenzen für 4G und 5G freizugeben. Ein Teil des Frequenzbands bei 3,6 GHz ist bereits dem Festen Funkdienst, das heißt dem Funkdienst zwischen bestimmten festen Punkten, zugewiesen.

Zusätzlich steht seit 2019 das 700 MHz-Frequenzband für die Mobilfunknutzung zur Verfügung. Dieses Frequenzband wurde ursprünglich für die Übertragung des terrestrischen digitalen Fernsehens (DVB-T) genutzt. Damit kommen bei 5G aktuell Frequenzbereiche zum Einsatz, die auch bei den bisherigen Mobilfunkgenerationen genutzt wurden, die diesen benachbart sind oder die für vergleichbare Nutzungen vergeben sind. 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. Zukünftig sollen mit 5G auch Frequenzbänder im Zenti- und Millimeterwellenbereich, also oberhalb von 20 GHz, genutzt werden. Auch hier gelten Grenzwerte, die nach aktuellem wissenschaftlichem Kenntnisstand vor allen nachgewiesenen gesundheitsschädlichen Wirkungen schützen. Der Festlegung der Grenzwerte im Frequenzbereich >20 GHz liegt aber eine geringere wissenschaftliche Basis zu Grunde, als dies bei den bisher genutzten Frequenzbereichen der Fall ist. Mit der Einführung von 5G wird der Trend zur Vernetzung technischer Geräte fortgesetzt und beschleunigt. Auch die Zahl der Sendeanlagen und Geräte, die elektromagnetische Felder erzeugen, wird damit voraussichtlich zunehmen. Wie sich das auf die Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern auswirken wird, kann noch nicht im Detail bewertet werden und muss weiterhin verfolgt werden. Aus diesem Grund hat das BfS mehrere Forschungsvorhaben initiiert, um die Datenlage zu verbessern. Im Jahr 2020 wurden folgende Forschungsvorhaben initiiert:

Berücksichtigung aktueller Mobilfunkantennen-Technik bei der HF-EMF-Expositionsbestimmung

- Hintergrund: In modernen Mobilfunknetzen werden Antennen eingesetzt, die ihre Strahlungscharakteristik elektronisch verändern und bedarfsgerecht anpassen können, sogenannte Beamforming-Antennen. Die Bestimmung von Immissionsbeiträgen von Basisstationsantennen mit diesen Eigenschaften stellt allerdings eine messtechnische Herausforderung dar. Einerseits müssen sich schnell ändernde Feldverteilungen korrekt erfasst und bewertet werden. Andererseits muss eine Strategie entwickelt werden, mit der auf Basis eines aktuellen Messergebnisses auf den maximalen Beitrag geschlossen werden kann, den eine Sendeanlage an einem Messort zur Exposition beisteuern kann. Bislang verwendete Verfahren, bei denen die von einer Anlage gleichbleibend ausgesendeten Signalausschnitte gemessen und als Ausgangspunkt für die Bewertung genutzt werden, stoßen hier an Grenzen.
- Ziel: Entwicklung von Messstrategien, mit denen tatsächliche, typische und maximal mögliche Immissions- und Expositionsbeiträge von Mobilfunkbasisstationen mit Beamforming-Antennen verlässlich bestimmt werden können. An 100 ausgewählten Orten in der nahen und weiteren Umgebung von Basisstationsstandorten, die mit der Antennentechnik ausgerüstet sind, sollen die Immissions- und Expositionsbeiträge bestimmt werden.
- Forschungsnehmer: RWTH Aachen
- Laufzeit: Jan 2020 - Mär 2021 (Verlängerung bis August 2021)

Bewertende Literaturstudie zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf die Fruchtbarkeit bei Menschen sowie in Tier- und Laborstudien

- Hintergrund: Es gibt aus einigen Veröffentlichungen Hinweise auf einen möglichen negativen Einfluss von elektromagnetischen Feldern auf die Fruchtbarkeit des Menschen. Insbesondere wird von Zusammenhängen zwischen einer Verringerung der männlichen Fruchtbarkeit und der Nutzung von Mobilfunktelefonen berichtet. Die gesamte Studienlage ist jedoch bezüglich der Studienqualität und den Ergebnissen sehr inkonsistent und somit auch widersprüchlich. Während einige Arbeiten auf einen schädlichen Einfluss von elektromagnetischen Feldern auf die Fruchtbarkeit im Menschen und auch in Tieren und in Zellen berichten, gibt es andere Studien, die keinen Effekt beobachten. Zudem unterscheiden sich die Studien in Ihrer Methodik, z.B. was die Statistik und die Verblindung oder das Mitführen von Kontrollen betrifft. Die Thematik des Einflusses elektromagnetischer Felder auf die Fruchtbarkeit ist daher unübersichtlich und trägt zur Verunsicherung der Bevölkerung bei.

- Ziel: Die Datenlage zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder aller Frequenzbereiche auf die Fruchtbarkeit wird durch Fachleute systematisch aufgearbeitet und bewertet, Wissenslücken werden identifiziert und mögliche weitere Forschungsansätze vorgeschlagen.
- Forschungsnehmer: Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin in Hannover (ITEM)
- Laufzeit: Mai 2020 - Jan 2022

Bereits im Jahr 2019 startete das BfS mehrere Forschungsvorhaben, die sich 2020 noch in Durchführung befanden:

Wirkungen auf Zellen der Körperoberfläche bei Exposition mit Zenti- und Millimeterwellen (5G-spezifisch, in höheren Frequenzbereichen)

- Hintergrund: Im Zuge der Einführung von 5G sollen zukünftig Frequenzen im Zenti- und Millimeterwellenbereich über 20 GHz genutzt werden. In diesem Frequenzbereich ist die wissenschaftliche Datenlage in Bezug auf biologische Wirkungen der elektromagnetischen Felder vergleichsweise gering. Da die Eindringtiefe der elektromagnetischen Felder bei diesen Frequenzen sehr klein ist, werden durch kommende 5G-Anwendungen hauptsächlich die Körperoberfläche, also Haut und Augen, betroffen sein.
- Ziel: Untersuchung der Auswirkungen einer Exposition mit Zenti- und Millimeterwellen (5G-Frequenzen) auf Zellen der Körperoberfläche. Dafür werden humane Hautzellen (Fibroblasten und Keratinozyten) bei zwei unterschiedlichen Leistungsflussdichten und bei zwei unterschiedlichen Frequenzen (27 GHz und 41 GHz) befeuchtet. Zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten (2 Std und 48 Std) werden anschließend die Auswirkungen der Exposition auf die Genexpression und die DNA-Methylierung der Zellen untersucht.
- Forschungsnehmer: Jacobs University Bremen, Focus Area Health
- Laufzeit: 1. November 2019 bis 30. September 2022

Analyse der Alters- und Geschlechtsabhängigkeit des Einflusses von Mobilfunk-Endgeräten auf die Gehirnaktivität, Schlaf, und kognitive Leistungsfähigkeit (inklusive versteigerter 5G-Frequenzen)

- Hintergrund: Der Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und Kognition wurde in insgesamt vier Forschungsvorhaben des BfS an jungen, gesunden Männern sowie älteren Frauen und Männern untersucht. Es wurden geringfügige Veränderungen der Gehirnaktivität gefunden, die sich im Verhalten nicht spiegeln und nach Einschätzung von EEG-Experten nicht gesundheitsrelevant sind. Dabei waren die Wirkungen bei älteren Personen durchgehend ausgeprägter als bei jungen Männern. Alle Studien weisen ein identisches Studiendesign auf und wurden an jeweils 30 Testpersonen durchgeführt.
- Ziel: Anhand der Daten aus den vorliegenden Studien des BfS soll nun die Altersabhängigkeit der beobachteten Veränderungen der Gehirnaktivität anhand des Vergleichs älterer und junger Männer und der Einfluss des Geschlechts anhand des Vergleichs zwischen älteren Männern und älteren Frauen beurteilt werden.
- Forschungsnehmer: Charité Berlin
- Laufzeit: 1. August 2019 bis 30. November 2020 (Corona-bedingte Verzögerung)

Bewertende Literaturstudie zum Einfluss von elektromagnetischen Feldern auf oxidative Prozesse bei Menschen sowie in Tier- und Laborstudien (inklusive versteigerter 5G-Frequenzen)

- Hintergrund: In vielen wissenschaftlichen Studien wird als möglicher Wirkmechanismus elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder (EMF) aller Frequenzbereiche sogenannter „oxidativer Stress“ postuliert. Dabei sollen die Felder die Konzentration freier Radikale erhöhen, was zu verstärkten oxidativen Prozessen in Zellen führen könnte. Als mögliche Folge werden DNA-Schädigung und ein verstärktes Auftreten von Krebs diskutiert. Jedoch ist das Ausmaß der beobachteten Effekte oft gering und die gesundheitliche Relevanz unklar. Zudem weisen laut einer Publikation des „Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks“ (SCENHIR) von 2015⁸ viele dieser Studien qualitative Mängel auf, wie unzureichende Angaben zur Dosimetrie oder fehlende Verblindung. Zudem unterscheiden sich die Studien zum Teil erheblich im verwendeten Zelltyp, der Intensität der Felder, der Expositionsdauer oder dem Zeitpunkt der Messung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS). Damit ist die Datenlage zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf den oxidativen Stress sehr inkonsistent, was eine Bewertung der Studien und deren Relevanz aus Strahlenschutzsicht erschwert.

⁸ https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihir_o_041.pdf

- Ziel: Die Datenlage zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder aller Frequenzbereiche auf den oxidativen Stress wird durch Fachleute systematisch aufgearbeitet und bewertet, Wissenslücken werden identifiziert und mögliche weitere Forschungsansätze vorgeschlagen.
- Forschungsnehmer: Fraunhofer Institut für Toxikologie und experimentelle Medizin (ITEM), Hannover
- Laufzeit: 1. September 2019 bis 31. August 2020 (Corona-bedingte Verzögerung bis voraussichtlich Anfang 2022)

Machbarkeitsstudie eines auf Smartphone-Apps beruhenden Hochfrequenz-Messnetzwerks zur Abschätzung der Exposition mit elektromagnetischen Feldern (inklusive versteigerter 5G-Frequenzen)

- Hintergrund: Ein Expositions-Monitoring hochfrequenter elektromagnetischer Felder könnte zur Abschätzung der von den Feldern ausgehenden gesundheitlichen Risiken für die Bevölkerung hilfreich sein. Damit zeitliche und örtliche Variationen mit einer für belastbare Expositionsdaten ausreichenden Auflösung erfasst werden können, sind regelmäßig wiederholte Messungen an vielen Punkten nötig. Die Realisierung eines flächendeckenden und kontinuierlichen Monitorings ist auf Grund des mit herkömmlichen Methoden verbundenen Aufwands nicht möglich. Für den Bereich des Mobilfunks könnte ein crowdsourcing-basierter Ansatz, der auf die Erhebung von Messdaten mittels Standard-Smartphones setzt, Abhilfe schaffen. Hiermit ließe sich womöglich ein engmaschiges und kontinuierlich arbeitendes Messnetzwerk aufbauen.
- Ziel: Untersuchung der technischen und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit des o.g. Ansatzes. Konkret soll die Frage geklärt werden, ob die von vielen Endgeräten gemessenen Signalstärke-Indikatoren ein repräsentatives Bild der Exposition über das gesamte genutzte Mobilfunkspektrum zeichnen können.
- Forschungsnehmer: RWTH Aachen, Institut für Hochfrequenztechnik
- Laufzeit: 1. Dezember 2019 bis 30. November 2021

Weitere Vorhaben sind in Planung.

7. 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 Sechszwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - Verordnung über elektromagnetische Felder - (26. BImSchV) ein Grenzwert von 500 μT für die magnetische Flussdichte festgelegt. Zudem sind bei der Errichtung 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 seit 2017 ein begleitendes Forschungsprogramm zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ mit einem Gesamtrahmen von etwa 30 Millionen Euro über 5 Jahre durch. Am 5. Februar 2020 fand das 2. Öffentliche Fachgespräch zum Stand der Forschungsvorhaben statt. Auf Basis des aktuellen Kenntnisstandes wurden zwei neue Themenfelder vorgestellt und bestätigt. Die neuen Themenfelder betreffen den möglichen Einfluss niederfrequenter Magnetfelder auf 1) oxidativen Stress und 2) die belebte Umwelt. In insgesamt zehn Themenfeldern werden demnach 41 einzelne Forschungsvorhaben durchgeführt.

Folgende Vorhaben wurden im Berichtsjahr 2020 initiiert:

- Vorhaben 3.3a: Interdisziplinäre Studie zur Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen Umwelt-, genetischen Faktoren und Leukämie in B-Zell-ALL-Patienten - Machbarkeitsstudie
- Vorhaben 3.4: Untersuchungen zum Auftreten von Leukämie bei geeigneten Tiermodellen
- Vorhaben 7.4a: Erprobung, Weiterentwicklung und Validierung von neuartiger Messtechnik für statische und niederfrequente elektrische und magnetische Felder.

Bereits in den Jahren zuvor initiierte das BfS mehrere Forschungsvorhaben, die sich 2020 noch in Durchführung befanden:

- Vorhaben 3.5: Untersuchungen zum Immunstatus von Magnetfeld-exponierten Tiermodellen
- Vorhaben 6.1: Bewertende Literaturstudie zum Auftreten und zur Ausbreitung von Corona-Ionen
- Vorhaben 7.2: Erfassung der Magnetfeldexposition der allgemeinen Bevölkerung
- Vorhaben 8.5: Untersuchung der Möglichkeiten einer Fortbildung von Multiplikatoren in lokalen Behörden (Gesundheitsämter, Amtsärzte und Immissionsschutzämter) für die Risikokommunikation beim Stromnetzausbau
- Vorhaben 9.1: Bewertende Literaturstudie zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf oxidative Prozesse bei Menschen sowie in Tier- und Laborstudien .

Nähere Angaben über den aktuellen Status der genannten Forschungsvorhaben sind dem Programmreport 2020 zu entnehmen⁹. Die Beschreibung des Forschungsprogramms und der einzelnen Projekte sowie deren aktueller Stand können auf der Website des BfS eingesehen werden.¹⁰

8. Gemeinsames Europäisches Forschungsprogramm zum Strahlenschutz

8.1 CONCERT (2015 - 2020)

Gemeinsame Forschungsaktivitäten und strategische Forschungspläne (SRAs) leiten Strahlenschutzforschung in Europa

Die einzelnen Mitglieder der wissenschaftlichen Gemeinschaft, die sich mit dem Strahlenschutz beschäftigt, müssen sich besser über ganz Europa hinweg vernetzen können. Nur so ist es möglich, die Forschungsbemühungen besser zu koordinieren sowie fundiertere und robustere Empfehlungen für die dafür verantwortlichen und entscheidenden Mitglieder der Politik bereitzustellen.

Das BfS koordinierte das erste gemeinsame Europäische Forschungsprogramm zum Strahlenschutz, in dem sich 76 Partnerinstitutionen aus nahezu allen EU-Ländern sowie aus Norwegen und der Schweiz zusammenfanden, 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. CONCERT war das bisher erste und größte Strahlenschutz-Forschungsprogramm und wurde im Rahmen des Europäischen Forschungsprogramms Horizont 2020 umgesetzt.

Synergien für einen integrierten Forschungsraum

Das EU-finanzierte CONCERT-Projekt hatte sich zum Ziel gesetzt, zur nachhaltigen Integration europäischer und nationaler Forschungsprogramme im Strahlenschutz beizutragen. Um dies zu erreichen, wurden die nationalen Forschungsanstrengungen im Strahlenschutz mit entsprechenden Euratom-Forschungsprogrammen adressiert und gebündelt. Auf diese Weise konnten die öffentlichen Forschungs- und Entwicklungsressourcen besser genutzt und die gemeinsamen europäischen Herausforderungen im Strahlenschutz durch gemeinsame Forschungsanstrengungen in Schlüsselbereichen effektiver angegangen werden.

Das CONCERT-Team initiierte und unterstützte die Entwicklung strategischer Forschungspläne (SRAs), die Erarbeitung von Empfehlungen zur Festlegung von Forschungsprioritäten sowie die Erstellung von Forschungsfahrplänen in allen wesentlichen Bereichen der Strahlenschutzforschung. Umgesetzt wurde dies im Rahmen der Aktivitäten der Euratom-Forschungsplattformen, im Einzelnen: MELODI (Interdisziplinäre Europäische Initiative zur Erforschung der Strahlenwirkungen und -risiken im Niedrigdosisbereich), European Radioecology Alliance (Aktivitäten im Bereich Radioökologie), NERIS (Aktivitäten im Bereich nuklearer und radiologischer Notfallenschutz), EURADOS (Strahlendosimetrische Aspekte), EURAMED (Strahlenschutz in der Medizin) sowie SHARE (Sozialwissenschaftliche Aspekte und Aktivitäten).

Verschiedene EU-Länder wirkten bei der Konzeption einer gemeinsamen europäischen strategischen Forschungsagenda (SRA) für die Strahlenschutzforschung mit. Darin waren Schwerpunkte sowie strategische Ziele für die Zusammenarbeit definiert und eine Vision und Rolle für ein europäisches Strahlenschutzforschungsprogramm bis 2030 und darüber hinaus vorgegeben.

⁹ <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257>

¹⁰ https://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/bfs-forschungsprogramm/stromnetzausbau/netzausbau_node.html

Die gemeinsame SRA diene als Ausgangspunkt für gemeinsame Diskussionen über alle sozial- und geisteswissenschaftlichen (SSH) Disziplinen hinweg.

Die Agenda integrierte ausdrücklich Aus- und Weiterbildungsaktivitäten, um Kompetenzen aufzubauen und zu erhalten, die heute und in Zukunft für ein erfolgreiches, harmonisches und nachhaltiges Strahlenschutzregime in Europa erforderlich sind.

Um der Anforderung bezüglich eines gefestigten, multidisziplinären Ansatzes für Forschung und Innovation gerecht zu werden, schlossen die Projektmitglieder Forschungsaktivitäten zu medizinischen Anwendungen, ionisierender Strahlung, sowie aus den Bereichen der Sozial- und Geisteswissenschaften, die einen Bezug zum Strahlenschutz aufweisen, mit ein. Damit wurde aktiv die Einrichtung der Forschungsplattformen EURAMED und SHARE gefördert.

Aktuellen Kenntnisschatz und wissenschaftliche Evidenzbasis ausbauen

Zu aktuellen Schwerpunktthemen aus allen Bereichen des Strahlenschutzes gab es zwei öffentliche CONCERT-Ausschreibungen mit dem Ziel der Stärkung wissenschaftlicher Aktivitäten in strategischen Schwerpunktbereichen des Strahlenschutzes, welche über die europäischen Plattformen für Strahlenforschung festgelegt wurden. Die erste Ausschreibung fand 2016 statt, die zweite Anfang des Jahres 2017. Im Rahmen der Ausschreibungen hatten Universitäten und Forschungsinstitutionen aus ganz Europa die Gelegenheit, sich zu Konsortien zusammenzuschließen und Vorschläge für Forschungsarbeiten einzureichen. Insgesamt wurden im Rahmen von CONCERT neun Forschungsvorhaben gefördert, an denen zusammengenommen 94 Einrichtungen teilnahmen und finanzielle Mittel erhielten. Fünf Aufrufe zu Aus- und Weiterbildungsaktivitäten ermöglichten die finanzielle Unterstützung von 57 Kursen.

Fazit

Das CONCERT-Projekt (Startdatum 1 Juni 2015 - Enddatum 31 Mai 2020) war das erste europäische Co-fund-Forschungsprojekt seiner Art auf dem Gebiet der Strahlenschutzforschung. CONCERT regte zu multidisziplinären Forschungsarbeiten sowie translationalen Vorhaben an, die auf gesellschaftliche Strahlenschutzbedürfnisse ausgerichtet waren. Die Förderung gemeinsamer nationaler und europäischer Forschung sowie weiterer kofinanzierter Integrationsaktivitäten ermöglichte es, Gesundheitsrisiken und mögliche Auswirkungen auf die Umwelt genauer zu untersuchen, zu verstehen und besser zu quantifizieren sowie die Strategien zum Strahlenschutz zu optimieren.

8.2 RadoNorm (2020-2025) - Europäisches Radon-Forschungsprojekt

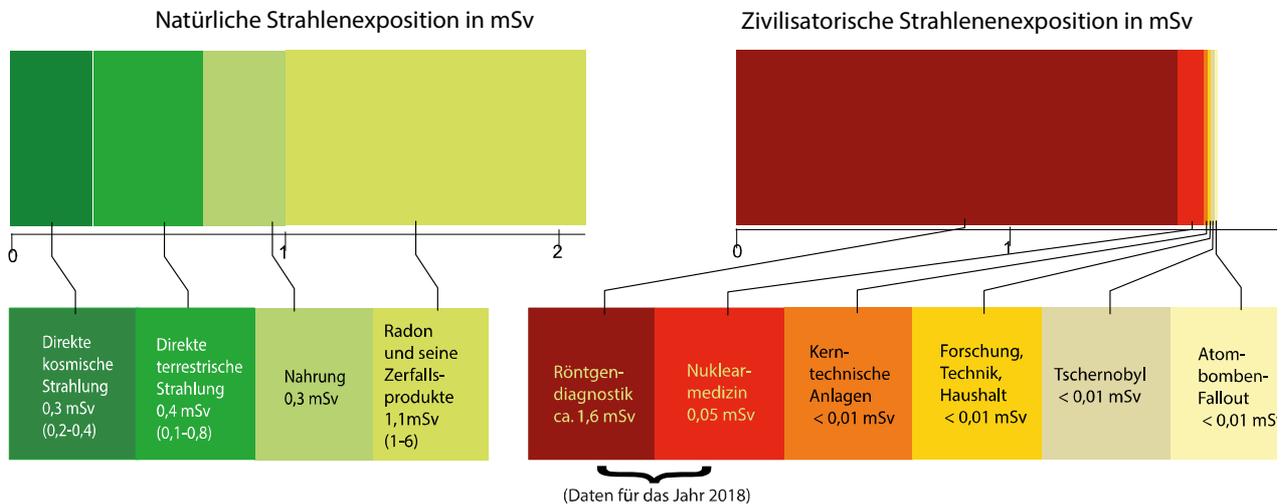
Das multidisziplinäre EU Projekt RadoNorm "Towards effective radiation protection based on improved scientific evidence and social considerations - focus on Radon and on NORM" wurde konzipiert um Unsicherheiten in allen Schritten des Strahlenrisiko-Managements für Radon und NORM ("Naturally Occurring Radioactive Materials") signifikant zu reduzieren. Das Projekt mit einem Fördervolumen von 18 Millionen Euro über 5 Jahre ist bewusst multidisziplinär ausgerichtet und umfasst Betrachtungen zur Exposition und der sich daraus ergebenden Dosisberechnung, die Identifizierung biologischer Effekte und Bewertung des daraus resultierenden Gesundheitsrisikos, Risikomanagement, Schulung, Konsultation von und die Kommunikation mit Interessengruppen. Der wissenschaftliche Ansatz ist somit bewusst diversifiziert und bezieht sowohl Grundlagenforschung als auch angewandte Forschung, technologische Entwicklungsarbeit sowie die Entwicklung von neuen Verfahren einschließlich der aktiven Einbeziehung der Bevölkerung, jeweils in Abhängigkeit von der aktuell behandelten Frage, ein.

Damit unterstützt das RadoNorm-Projekt (Startdatum 1. September 2020 - Enddatum 31. August 2025) die Mitgliedstaaten der Europäischen Union sowie assoziierte Länder und die Europäische Kommission bei ihren Bemühungen, grundlegende Sicherheitsstandards zum Schutz vor Radon in Europa für den europäischen Strahlenschutz zu initiieren und umzusetzen.

Das BfS koordiniert das Projekt und ist in fast allen Arbeitspaketen vertreten. Das Projekt wird ebenfalls im Rahmen des Europäischen Forschungsprogramms Horizont 2020 umgesetzt und ist als "Research and Innovation Action (RIA)" klassifiziert. Als Förderprogramm zielt RadoNorm darauf ab, EU-weit eine wissens- und innovationsgestützte Gesellschaft und eine wettbewerbsfähige Wirtschaft aufzubauen. Die Nachhaltigkeit dieser Entwicklung wird durch gezielte Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen sowie durch Bereitstellung geeigneter Infrastrukturen in RadoNorm gewährleistet. RadoNorm umfasst 57 Partner aus 22 EU-Mitgliedstaaten und assoziierten Ländern. Darüber hinaus erfolgt eine Zusammenarbeit mit Gruppen in den USA und Kanada.

Abbildung I.2-1

Effektive Jahresdosis einer Person durch ionisierende Strahlung in mSv im Jahr 2020, gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands (Wertebereich in Klammern)



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 können auch über die Nahrungskette und das Wasser letztlich in den menschlichen Organismus gelangen und somit auch zur inneren Strahlenexposition beitragen.

Innere Strahlenexposition

Aus der Inkorporation natürlicher Radionuklide durch Ingestion von Lebensmitteln und Inhalation luftgetragener natürlicher Radionuklide resultiert eine innere Strahlenexposition. Die Inhalation des Edelgases Radon-222 aus der Uran-238-Zerfallsreihe und seiner an Aerosole gebundenen Folgeprodukte liefert den Hauptbeitrag zur natürlichen Strahlenexposition (Abbildung I. 2-1). 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 I. 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 Bergbauggebiete in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt sowie Gebiete im Bayerischen Wald, Schwarzwald, Odenwald, Harz und im Rheinischen Schiefergebirge.

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.

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 I. 2-1).

2.2 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien, Industrieprodukten und im Bergbau

Wegen des hohen Dosisbeitrags 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 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 masse-spezifischen Aktivitätsmessungen in den Baustoffen ist in den Jahresberichten des BMUV über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“¹¹ 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 Exposition 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 Ergebnisse der dort bestehenden Überwachungsprogramme bezogen auf Ableitungen und dadurch verursachte Strahlenexpositionen informiert der Abschnitt III.4.

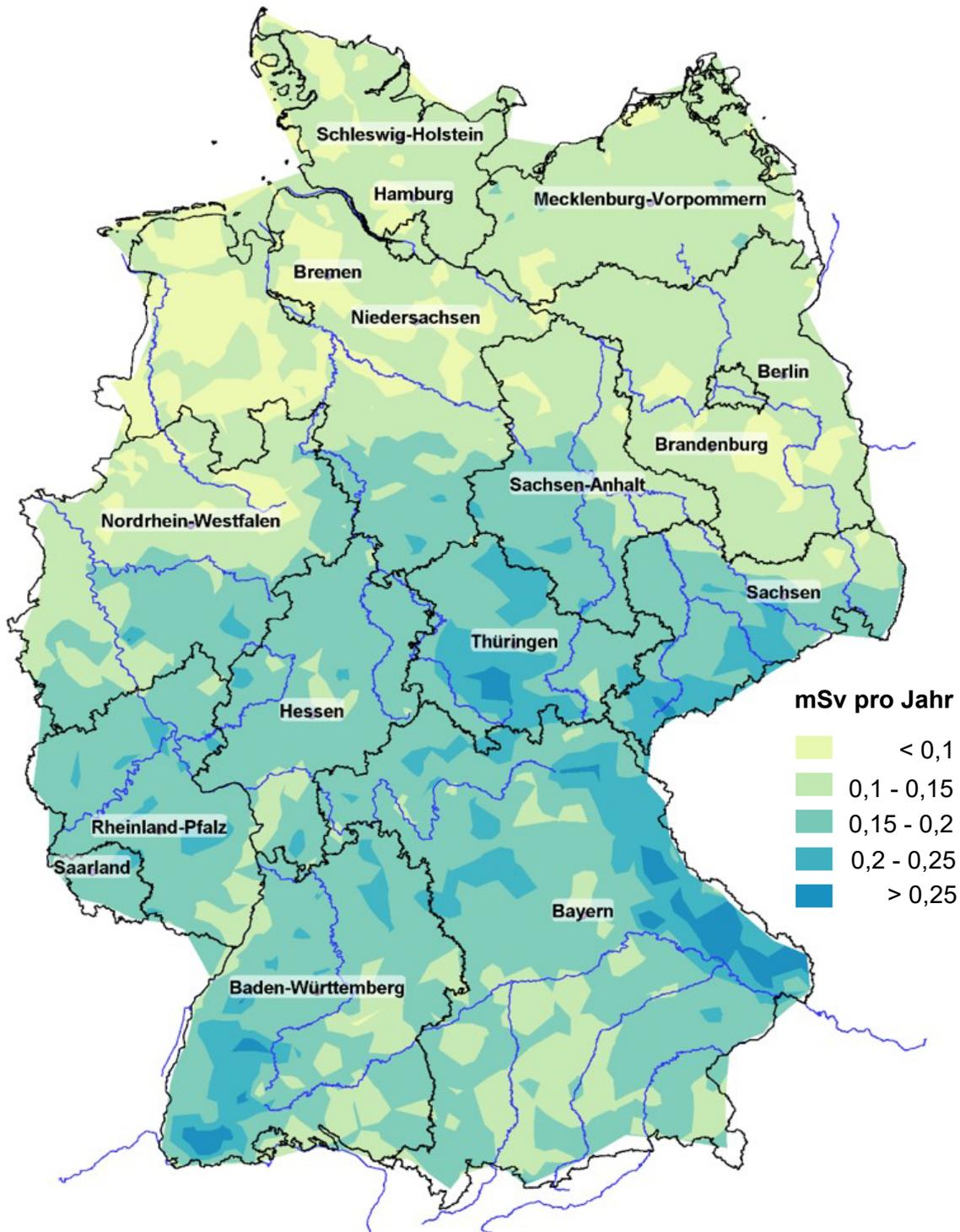
2.3 Lebensmittel und Trinkwasser

Die innere Strahlenexposition durch Ingestion von Lebensmitteln 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 Ka-

¹¹ www.bfs.de/DE/mediathek/berichte/umweltradioaktivitaet/umweltradioaktivitaet.html

Abbildung II.2-2

**Externe Strahlenexposition im Freien im Jahr 2020 in Deutschland
beim Aufenthalt von täglich 5 Stunden
(abgeleitet aus der Gamma-Ortsdosisleistung in Bodennähe)**



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

lium-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 Lebensmitteln. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2008¹² 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 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 Abschlussbericht¹³.

Verbraucherinnen und Verbraucher profitieren von einer verbesserten Qualitätssicherung hinsichtlich radioaktiver Stoffe im Trinkwasser. Mit der geänderten Trinkwasserverordnung vom 18. November 2015, die auf die Umsetzung der Richtlinie 2013/51/Euratom in nationales Recht zurückgeht, sind Inhaber von Wasserversorgungsanlagen in Abhängigkeit von ihrer Versorgungsgröße verpflichtet, Erstuntersuchungen des Trinkwassers auf Radionuklide natürlichen Ursprungs durchzuführen. Um ein einheitliches Verständnis und eine Erleichterung des Vollzugs dieser Regelungen zu gewährleisten, wurde der bereits 2012 erstmalig erschienene „Trinkwasser-Leitfaden“ überarbeitet¹⁴. Seit Ende 2019 liegen bei Wasserversorgungsunternehmen umfassende Daten zu radioaktiven Stoffen im Trinkwasser aus rund 15.000 Wasserversorgungsanlagen vor, die bis zum Herbst 2022 bundesweit zusammengeführt und validiert sowie um weitere Informationen ergänzt werden sollen. Mit den Daten zu den natürlichen Radionukliden im Trinkwasser kann die daraus entstehende Strahlenexposition der Bevölkerung besser bewertet werden.

2.4 Radon in Gebäuden

Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben wurden Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft und in Gebäuden durchgeführt. Der Jahresmittelwert der Radonaktivitätskonzentration 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. Untersuchungen aus dem Jahr 2009 zeigten 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. Das Lüftungsverhalten der Bewohner spielt ebenfalls eine Rolle.

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 gesetzlich vorgeschrieben (§ 123 StrlSchG). 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.

¹² 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

¹³ 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, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-20100319945

¹⁴ Leitfaden zur Untersuchung und Bewertung von radioaktiven Stoffen im Trinkwasser bei der Umsetzung der Trinkwasserverordnung: Empfehlung von BMUB, BMG, BfS, UBA und den zuständigen Landesbehörden sowie DVGW und BDEW, unter nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017020114224

Das Strahlenschutzgesetz regelt den Schutz vor Radon in den §§ 121 bis 132. Auf Basis verschiedener Kriterien, die u. a. in § 153 der Strahlenschutzverordnung geregelt sind, entscheidet jedes Bundesland für sich, welche Regionen in seinem Hoheitsgebiet Radon-Vorsorgegebiete sind. Alle Länder, die Radon-Vorsorgegebiete festlegen, mussten ihre Entscheidung bis Ende Dezember 2020 in ihren jeweiligen Amtsblättern veröffentlichen. Das bedeutet, dass in diesen Gebieten der Referenzwert von 300 Becquerel pro Kubikmeter in einer „beträchtlichen Zahl von Gebäuden mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen“, so das Strahlenschutzgesetz, überschritten wird. In diesen so genannten Radon-Vorsorgegebieten gelten unterschiedliche Regelungen zum Schutz vor Radon – je nachdem, ob es sich um ein Wohngebäude oder einen Arbeitsplatz handelt. An Arbeitsplätzen gilt eine Messpflicht in Erd- und Untergeschossen. Für private Neubauten besteht für Bauherren die Pflicht, durch bauliche Maßnahmen weitgehend zu verhindern, dass Radon in das Gebäude eindringen kann. Welche baulichen Maßnahmen das sein können, ist in der Strahlenschutzverordnung festgelegt. In diesem Zusammenhang wurden umfangreiche Messprogramme von Bund und Ländern initiiert. Die Ergebnisse sowie ausführlicheres Datenmaterial - auch in Form von Tabellen - sind den Jahresberichten des BMUV über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ (www.bfs.de/DE/mediathek/berichte/umweltradioaktivitaet/umweltradioaktivitaet.html) zu entnehmen.

3. Bewertung der Komponenten der natürlichen Strahlenexposition

3.1 Bewertung der äußeren und inneren 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 I. 2-1 zeigt die Beiträge einzelner Komponenten der Strahlenexposition zur mittleren jährlichen effektiven Dosis 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 2008¹² 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 Bewertung der Exposition durch Baumaterialien

Die von den Baustoffen ausgehende Gammastrahlung führt zu einer jährlichen effektiven Dosis von 0,3 mSv.

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, in Einzelfällen überschritten werden. Bei wechselnden Rohstoffen oder Zusätzen von Rückständen mit erhöhten Radionuklidgehalten sind Veränderungen der durchschnittlichen Exposition von 0,3 mSv/a nach oben und unten möglich.

Die durchgeführten Untersuchungen haben weiterhin gezeigt, dass der baustoffbedingte Anteil an der Radonkonzentration in Innenräumen grundsätzlich unter 20 Bq/m^3 liegt. 20 Bq/m^3 würden zu einer Dosis von 0,4 mSv pro Jahr führen. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass - wie national und international in der Vergangenheit beobachtet - in Einzelfällen Materialien eingesetzt werden können, die zu einer erhöhten Radoninnenraumkonzentration führen.

3.3 Bewertung der Exposition durch 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 EU-Bauprodukttrichtlinie (durch in-Kraft-treten der EU-Bauproduktverordnung am 01. Juli 2013 abgelöst) 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/m^3 Radonkonzentration, d. h. sechs Fälle pro einer Million Betroffener für lebenslange Nichtraucher bzw. $15 \cdot 10^{-5}$ pro Bq/m^3 für Raucher (150 pro Million). 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 dementsprechend $67 \text{ Bq}/\text{m}^3$ bzw. $6,7 \text{ Bq}/\text{m}^3$ für kontinuierliche Raucher (1 Schachtel pro Tag) und $1 670 \text{ Bq}/\text{m}^3$ bzw. $167 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 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 BMUV über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zu entnehmen.

Die bilanzierten Jahreswerte der Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser der Kernkraftwerke, der Forschungseinrichtungen sowie der Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe, der Forschungsreaktoren, des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben und der Schachanlage Asse II für das Jahr 2020 sind dort in tabellarischer Form getrennt nach Fortluft und Abwasser angegeben. Forschungseinrichtungen befinden sich in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht, Berlin, Garching und Erlangen. Der Standort Erlangen der Framatome GmbH hat 1989 (damals Siemens AG, Forschungszentrum Erlangen-Süd, FZE) die Genehmigung zum Umgang mit Kernbrennstoffen erhalten. Da der Standort im Vergleich zu anderen Forschungszentren ähnliche Ableitungen aufweist, wird er ab diesem Berichtsjahr in die Berichterstattung aufgenommen. In den Aktivitätsableitungen der Forschungszentren sind die Emissionen der dort betriebenen Leistungs- und Forschungsreaktoren enthalten. Aus den für 2020 ermittelten Aktivitätsableitungswerten geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten und mit Ausnahme der Ableitungen von Tritium deutlich unterschritten wurden (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).

Die aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen berechneten Werte der Exposition 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 BMUV zu „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“). Über die jährlichen Emissionsraten kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Datenbank der Europäischen Kommission für radioaktive Ableitungen (RADD, europa.eu/radd). Die jährlichen Emissionen der Schweizer Anlagen werden im Strahlenschutzbericht des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats ENSI veröffentlicht (www.ensi.ch/de/dokumente/document-category/strahlenschutzberichte/).

Die Berechnung der erhaltenen Exposition der Bevölkerung erfolgte gemäß § 101 Absatz 1 StrlSchV für das Jahr 2020 erstmals nach den geänderten Berechnungsvorschriften der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten). Bedingt durch die geänderten Berechnungsmodelle ist ein unmittelbarer Vergleich der berechneten Expositionen mit den Vorjahreswerten nur eingeschränkt möglich.

Für die Berechnungen über den Luftpfad für das Jahr 2020 werden Bodenanreicherungen von Radionukliden aus Belastungen von Vorjahren nicht berücksichtigt.

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

Beim Endlager Morsleben und der Schachanlage Asse II wurden für die Fortluft das Partikelmodell ARTM (Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell) 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

Abbildung III.1-1

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2020
Schwebstoffe und Jod-131**

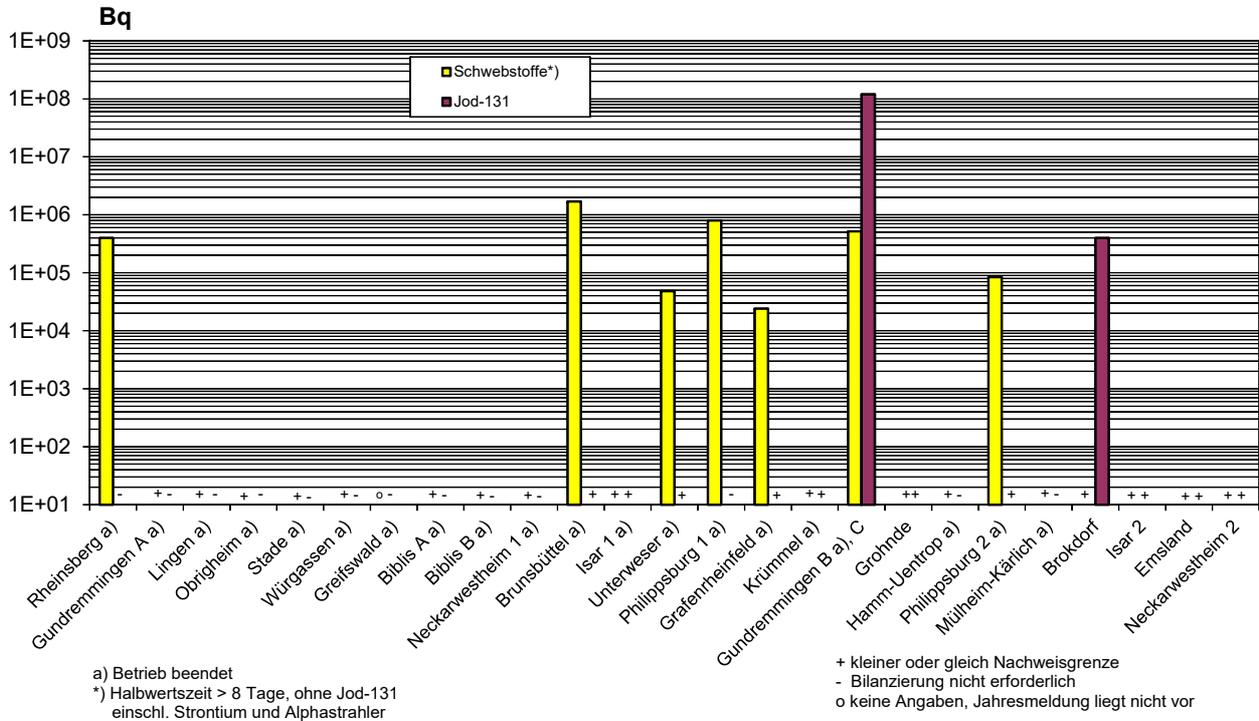


Abbildung III.1-2

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2020
(C-14)O₂, Tritium und Edelgase**

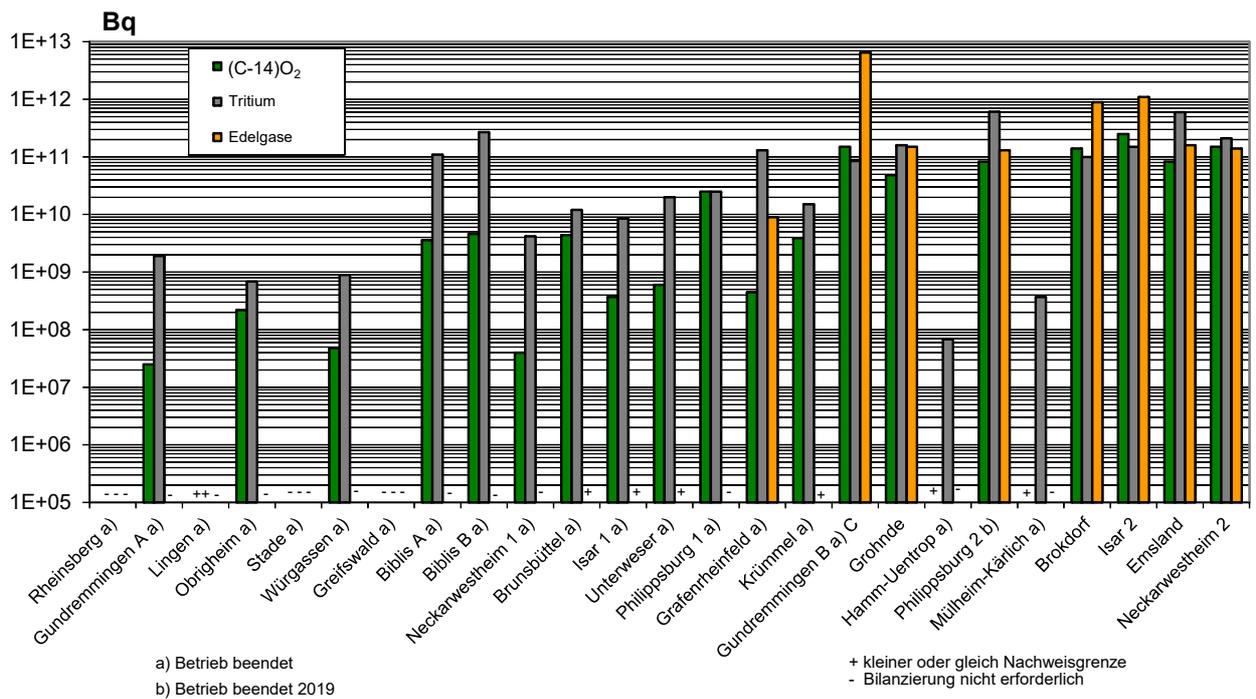


Abbildung III.1-3

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2020
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**

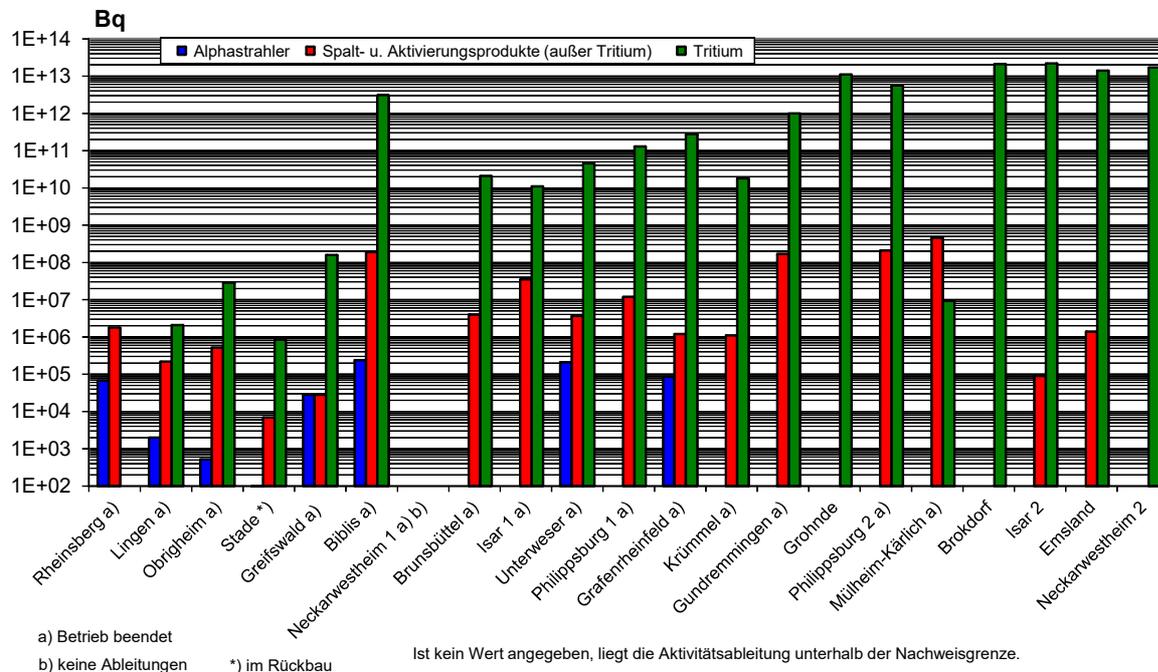
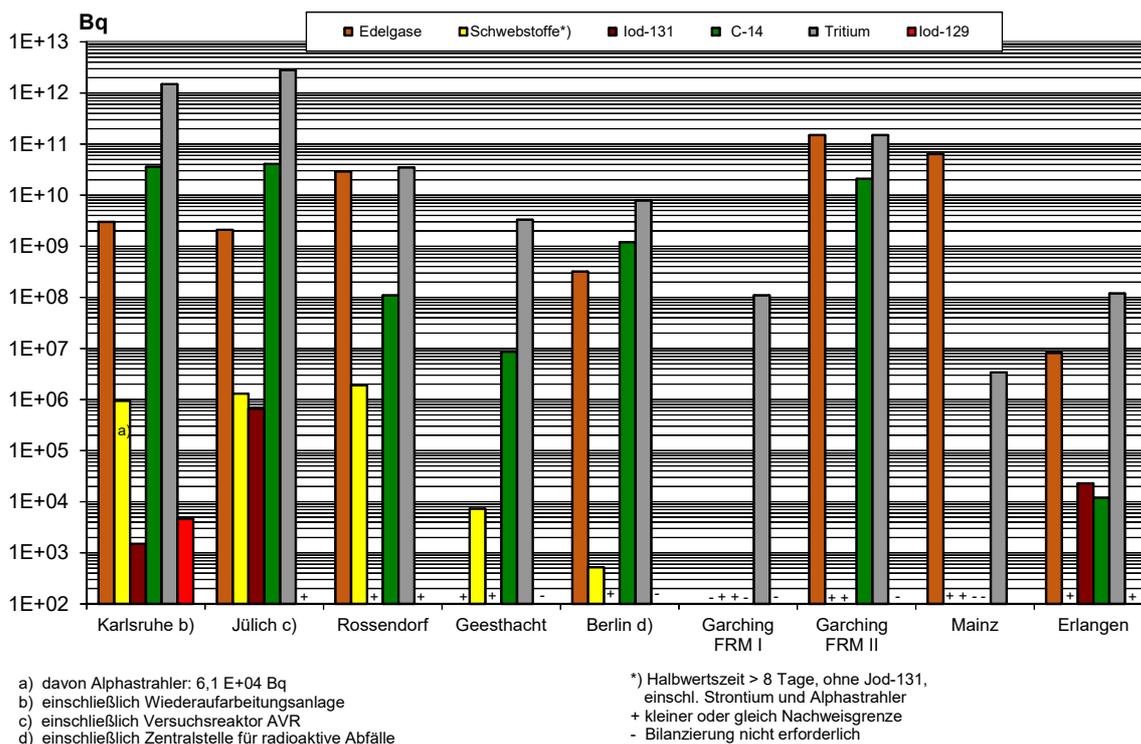


Abbildung III.1-4

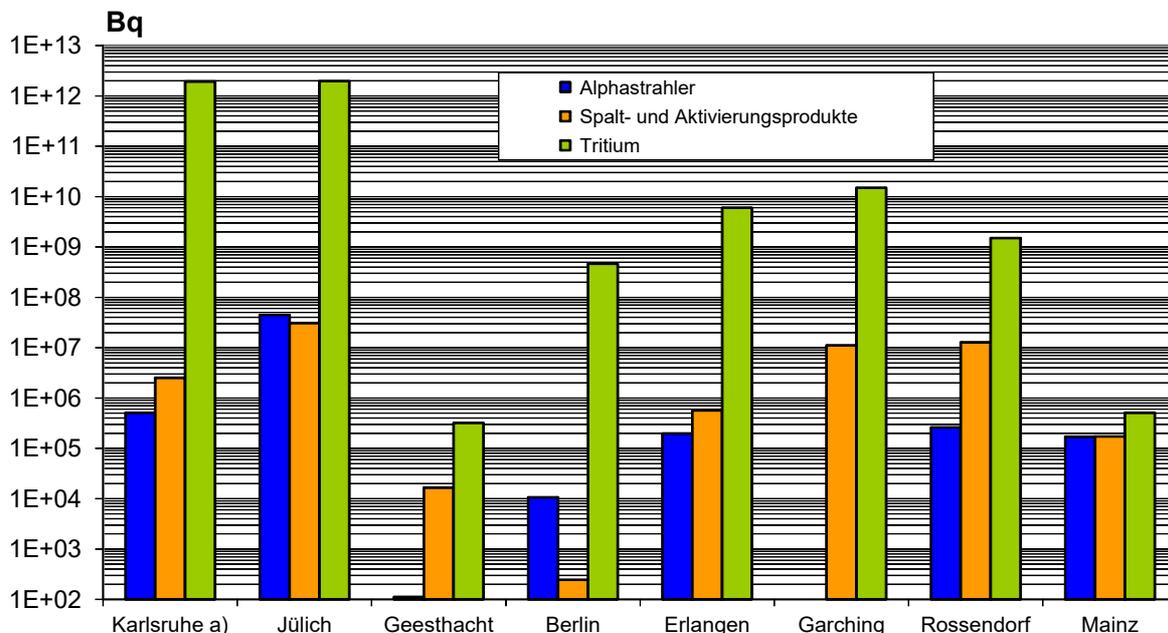
**Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2020
Schwebstoffe, Jod-131 und Jod-129, C-14, Tritium und Edelgase**



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 2020 beträgt an den in Abbildung III. 1-2 aufgeführten Standorten etwa $2,0 \cdot 10^{12}$ Bq.

Abbildung III.1-5

**Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2020
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium**



a) einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage

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

1.2 Berechnete obere Werte der Exposition

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 Schachanlage Asse stellen möglichst realistische aber gleichzeitig obere Werte dar, da sie gemäß der AVV Tätigkeiten zu § 101 Absatz 1 Satz 3 StrlSchV für eine repräsentative Person an möglichst ungünstigen Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die repräsentative Person ist eine fiktive Person, für die in der Strahlenschutzverordnung (Anlage 11, Teil A bis C) die zu berücksichtigenden Expositionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen mit dem Ziel festgelegt sind, dass bei deren Anwendung die Exposition des Menschen möglichst realistisch berechnet, jedoch gleichzeitig nicht unterschätzt wird.

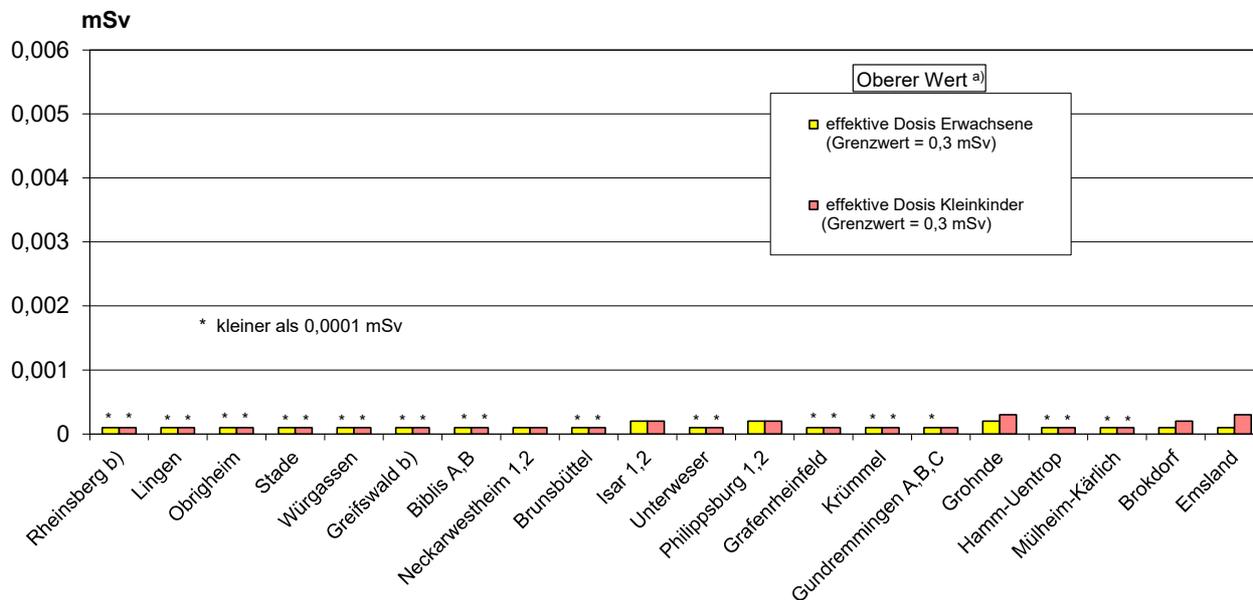
Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der repräsentativen Person zu erwarten ist. Es wird die effektive Dosis ermittelt. Nach der Strahlenschutzverordnung darf die effektive Dosis hierbei höchstens 300 µSv pro Jahr betragen. Für die Zwecke der Berichterstattung werden hier die effektiven Dosen nur für Kleinkinder und Erwachsene angegeben.

Fortluft

Abbildung III. 1-6 enthält die Ergebnisse aus der Berechnung der Exposition der Bevölkerung im Jahr 2020 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft. Als größter berechneter Wert der effektiven Dosis für Erwachsene ergibt sich 0,2 µSv (unter 1 % des zulässigen Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) beim Standort Philippsburg sowie für Kleinkinder 0,3 µSv (unter 1 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) beim Standort Grohnde. Diese maximalen Werte sind gegenüber dem Vorjahr zum Teil etwas angestiegen.

Abbildung III.1-6

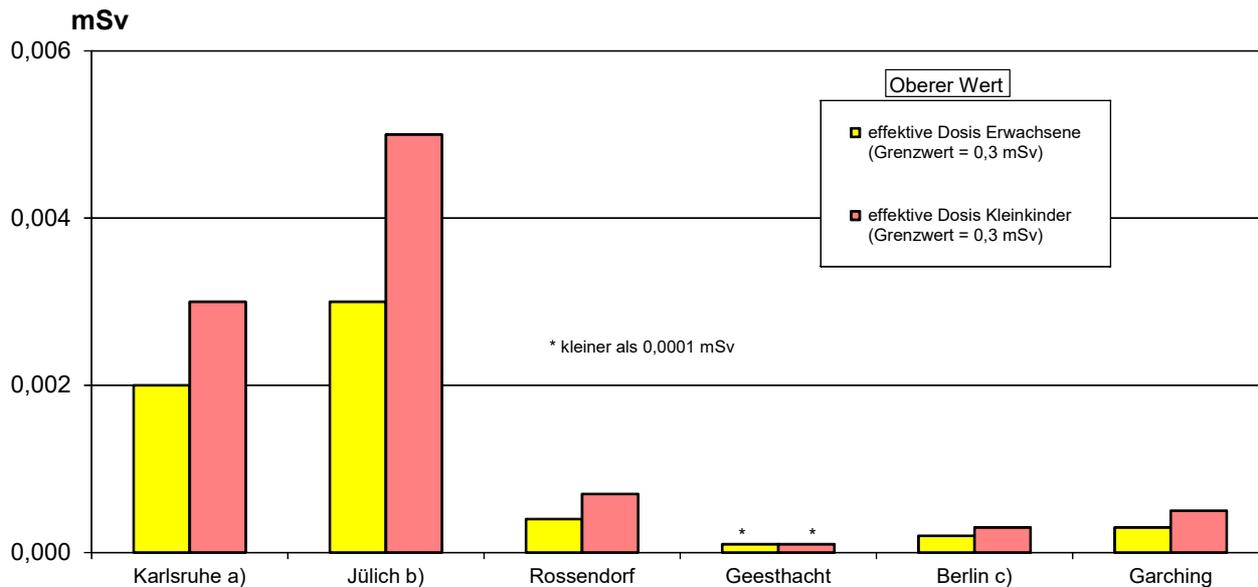
Exposition im Jahr 2020 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft



a) berechnet für eine repräsentative Person 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

Exposition im Jahr 2020 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft



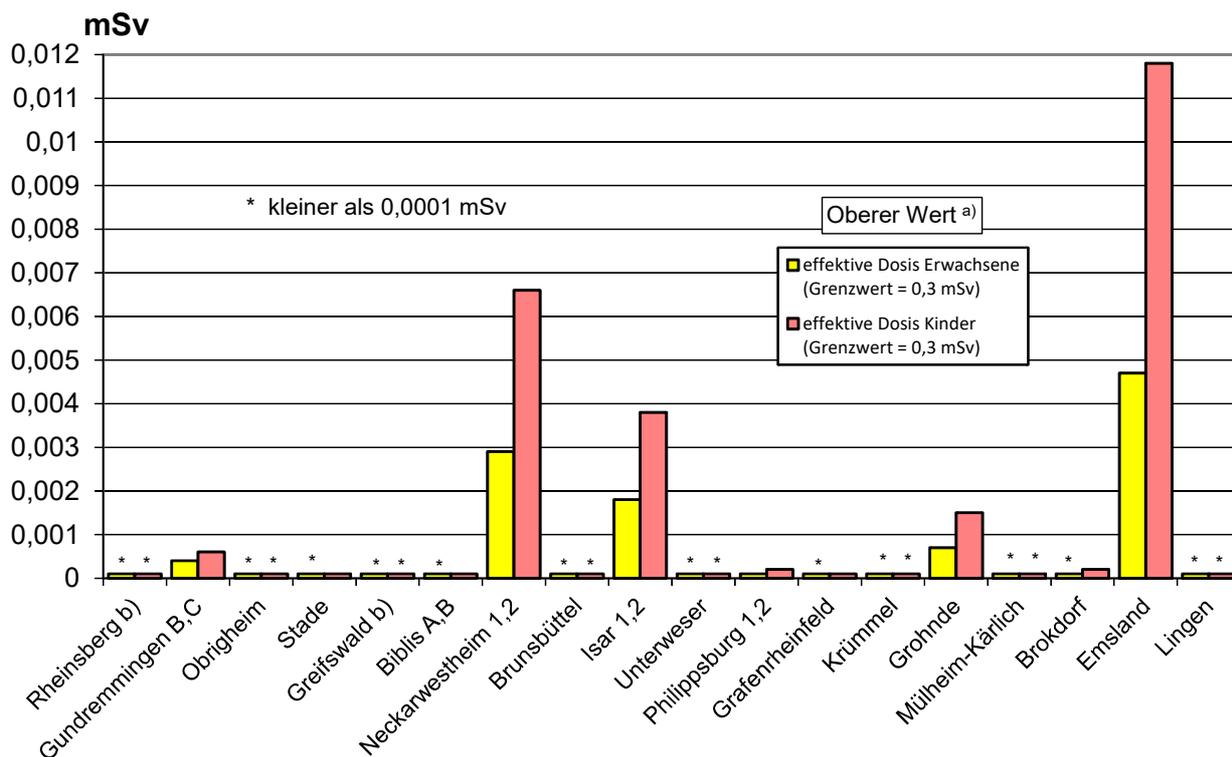
Die Werte für die Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rosendorf, Geesthacht und Berlin sind den entsprechenden Jahresberichten 2019 entnommen.

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

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 2020 als höchsten Wert 3 µSv (1 % des Grenzwertes) für Erwachsene beim Forschungszentrum Jülich sowie 5 µSv (unter 2 % des Grenzwertes) für Kleinkinder aus. Diese maximalen Werte sind gegenüber dem Vorjahr zum Teil gestiegen.

Abbildung III.1-8

Exposition im Jahr 2020 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser



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

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 Kleinkinder durch die Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft jeweils unter 0,1 µSv.

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. Der größte berechnete Wert der effektiven Dosis beträgt für Kleinkinder 11,8 µSv (3,9 % des Grenzwertes) und für Erwachsene 4,7 µSv (1,6 % des Grenzwertes), jeweils am Standort des Kernkraftwerkes Emsland. Die berechneten Expositionen liegen auf sehr niedrigem Niveau deutlich unter dem Grenzwert von 300 µSv. Der Anstieg der maximalen Exposition im Vergleich zum Vorjahr ist vorrangig auf die geänderten Berechnungsvorschriften zurückzuführen und nicht auf höhere Ableitungen.

Für die Strahlenbelastung über das Abwasser aus Forschungszentren ergeben sich im Jahr 2020 in Jülich obere Werte von 3,5 µSv für Kleinkinder und 1,6 µSv für Erwachsene. 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 $0,1 \mu\text{Sv}$. 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 2020 jeweils unter $0,1 \mu\text{Sv}$.

Im Unterlauf der Flüsse wirken mehrere Emittenten zusammen, so dass sich die Expositionen aus den einzelnen Anlagen summieren. Die effektive Jahresdosis für Kleinkinder betrug im Mündungsgebiet des Neckars maximal $0,3 \mu\text{Sv}$, für den Main wurden Werte von $0,4 \mu\text{Sv}$ und für die Weser von $0,1 \mu\text{Sv}$ berechnet; am Rhein liegen die berechneten effektiven Jahresdosen unter $0,1 \mu\text{Sv}$, an der Ems bei $0,3 \mu\text{Sv}$ und an der Donau bei $0,7 \mu\text{Sv}$. Die ermittelten effektiven Jahresdosen für Erwachsene sind jeweils niedriger. Der Grenzwert von $300 \mu\text{Sv}$ wird sicher eingehalten.

Tabelle III.2-1

Ortsdosis* durch Direktstrahlung an den zentralen Zwischenlagern im Jahr 2020

Zwischenlager	Gamma-Ortsdosis* mSv/a	Neutronen-Ortsdosis* mSv/a
Transportbehälterlager Ahaus	0,44 (MP9)	<0,05 (alle MP, I.HJ) <0,05 alle MP, II.HJ
Zentrales Zwischenlager Nord (Rubenow)	0,40 (MP15, I.HJ) k.A., II.HJ	0,07 (MP17, I.HJ) k.A., II.HJ
Transportbehälterlager Gorleben	0,63 (MP8)	0,32 (MP13, 14)†

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

† Messwert der unabhängigen Messstelle (NLWKN) im Bereich der ungünstigsten Einwirkungsstelle des 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, k.A. = keine Angabe

2. Sonstige kerntechnische Anlagen

2.1 Zentrale und dezentrale Zwischenlager

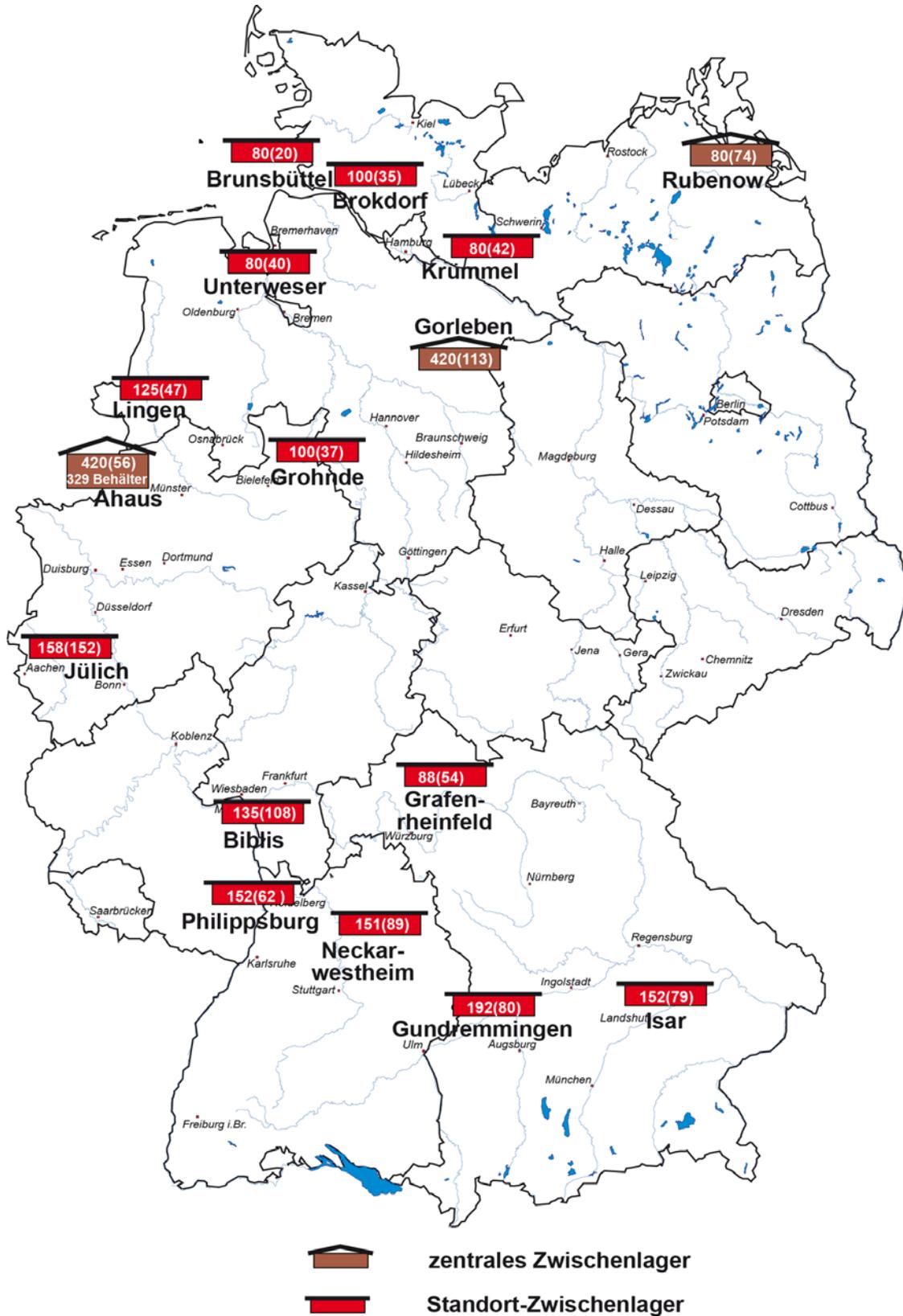
Bei den in Betrieb befindlichen zentralen Zwischenlagern für bestrahlte Brennelemente und hochradioaktive Abfälle (HAW-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken wie dem Transportbehälterlager (TBL) Ahaus, dem TBL Gorleben sowie dem Zwischenlager Nord (Rubenow bei Greifswald) treten im Normalbetrieb keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf.

Tabelle III.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 Kernkraftwerkstandorten treten im Normalbetrieb ebenfalls keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf. Daher ist die hieraus resultierende Exposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Messbar ist je nach Lagerbelegung lediglich die Dosis bzw. Dosisleistung der Gamma- und Neutronenstrahlung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. Sie wird zusammen mit der Direktstrahlung der entsprechenden Kernkraftwerksanlage erfasst. Abbildung III. 2-1 zeigt eine Übersicht über die in Betrieb befindlichen Zwischenlager, die Anzahl der Stellplätze und die Belegung im Jahr 2020.

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 Exposition der Bevölkerung berücksichtigt.

Abbildung III.2-1

Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente in Deutschland im Jahr 2020 mit Anzahl der Stellplätze (Belegung in Klammern, Stand 31. Dezember 2020)



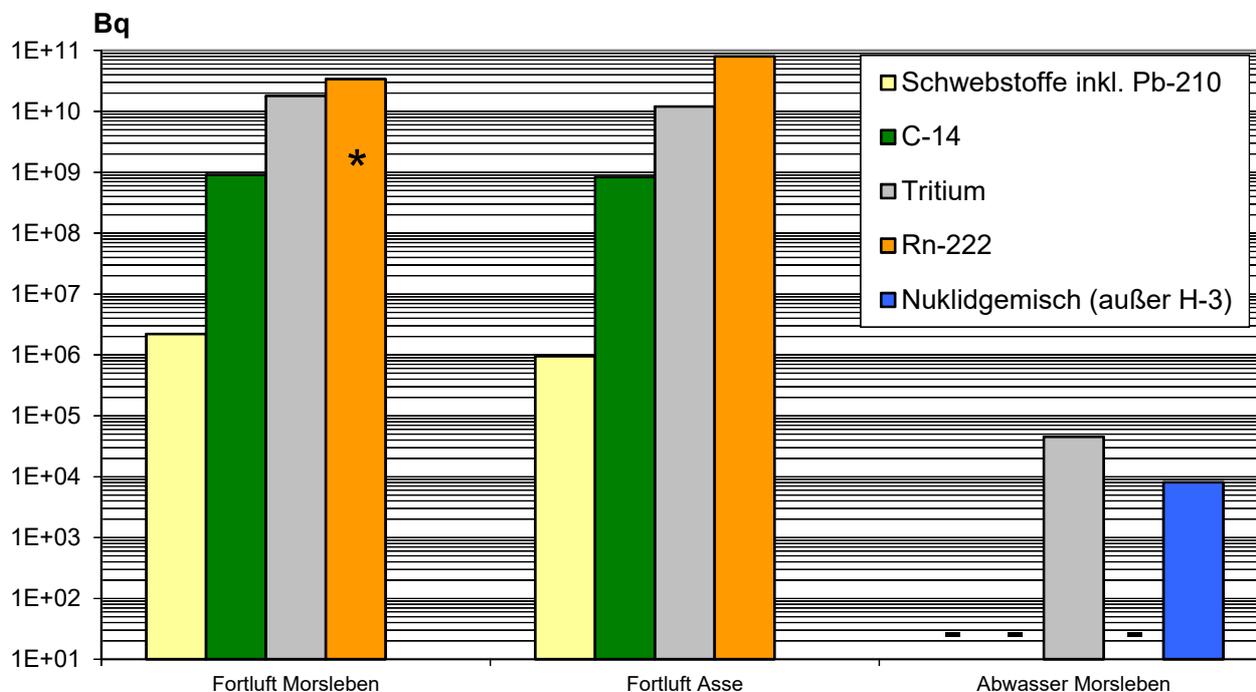
2.2 Endlager

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 2020 0,7 μSv , für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 1 μSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 2 μSv ; dies sind 0,2 %, 0,4 % bzw. 0,6 % des Grenzwertes nach der StrlSchV von 0,3 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 leicht gesunken. Bei der Berechnung der Exposition durch Radon wird ein Gleichgewichtsfaktor (GGF) von 1,0 angewendet. Der GGF ist ein Maß für das Verhältnis zwischen Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten. Die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem **Abwasser** resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis liegen auch im Berichtsjahr 2020 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 Schachtanlage Asse im Jahr 2020



* aus den Zerfallsprodukten errechnete, gleichgewichtsäquivalente Radon-222-Aktivitätskonzentration

- Bilanzierung nicht erforderlich

Schachtanlage Asse II

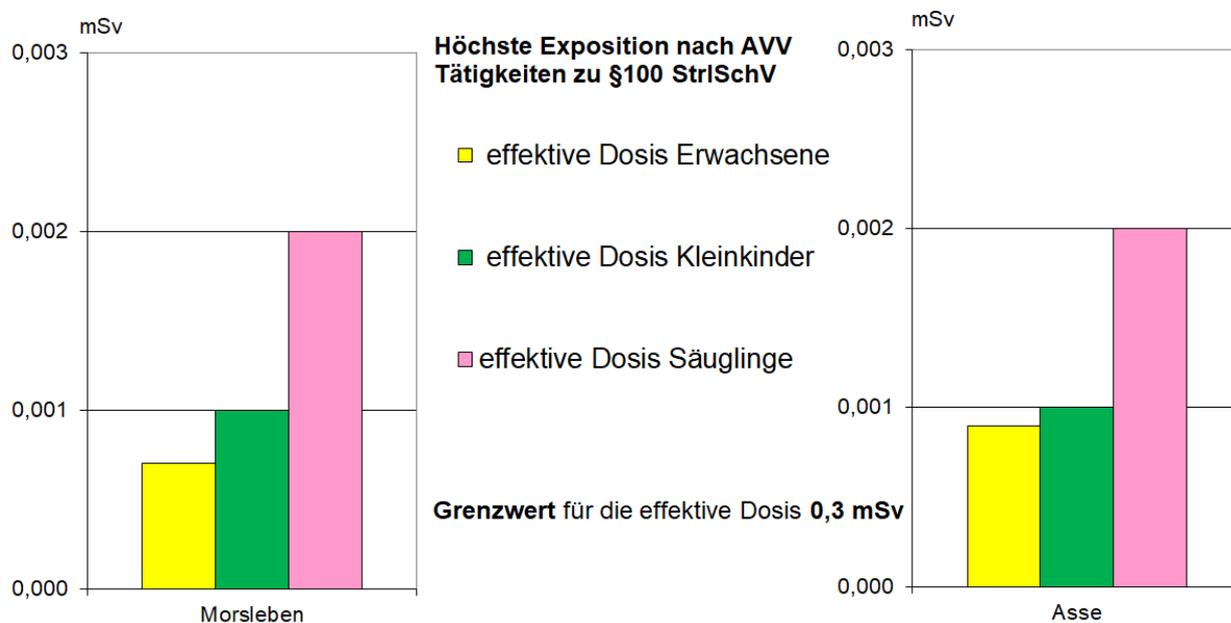
Seit 1. Januar 2009 wird die Schachtanlage Asse II verfahrensrechtlich wie ein Endlager für radioaktive Abfälle behandelt. In Abbildung III. 2-2 sind die im Jahr 2020 mit der Fortluft aus der Schachtanlage Asse II abgeleiteten radioaktiven Stoffe dargestellt.

Für die Schachtanlage Asse II wurde (wie ab 2020 an allen Standorten) das Lagrange-Partikelmodell ARTM angewendet. Bei dieser realistischeren Ausbreitungsrechnung mit ARTM wird eine deutlich größere effektive Kaminüberhöhung simuliert und die konservative Berücksichtigung der Orografie im Gauß-Modell entfällt. Es erfolgten keine Ableitungen über das Abwasser.

Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis einschließlich der Inhalationsdosis durch Radonfolgeprodukte beträgt im Jahr 2020 für Erwachsene 0,9 μSv , für Kleinkinder

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 2020



(Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 1 μ Sv und für Säuglinge 2 μ Sv. (ca. 0,3 %, ca. 0,3 % bzw. 0,7 % des Grenzwertes nach der StrlSchV von 0,3 mSv). Die berechneten Dosiswerte sind gegenüber dem Vorjahr ähnlich ausgefallen.

3. Zusammenfassende Bewertung für kerntechnische Anlagen

Die für 2020 aus den Jahresaktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe nach der AVV Tätigkeiten berechneten Werte der Exposition haben die in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Sie liegen im Bereich der entsprechenden Werte des Vorjahres und betragen bei der effektiven Dosis weniger als 3 % des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Exposition durch Aktivitätsableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen deutlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Exposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis einer Person der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch im Jahr 2020 deutlich unter 20 μ Sv pro Jahr. Die aktuellen Werte für die Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen in tabellarischer Form sind den ausführlichen Jahresberichten des BMUV 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 Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI-Bergbau) beruht. Detailinformationen über die Sanierungstätigkeit und die Ergebnisse der Umweltüberwachung geben der Bericht der zuständigen Landesbehörde/Messstelle und die jährlichen Umweltberichte der Wismut GmbH (www.wismut.de).

Tabellarische Übersichten über die gemessenen Werte finden sich in den Jahresberichten des BMUV zu „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“.

Emissionen

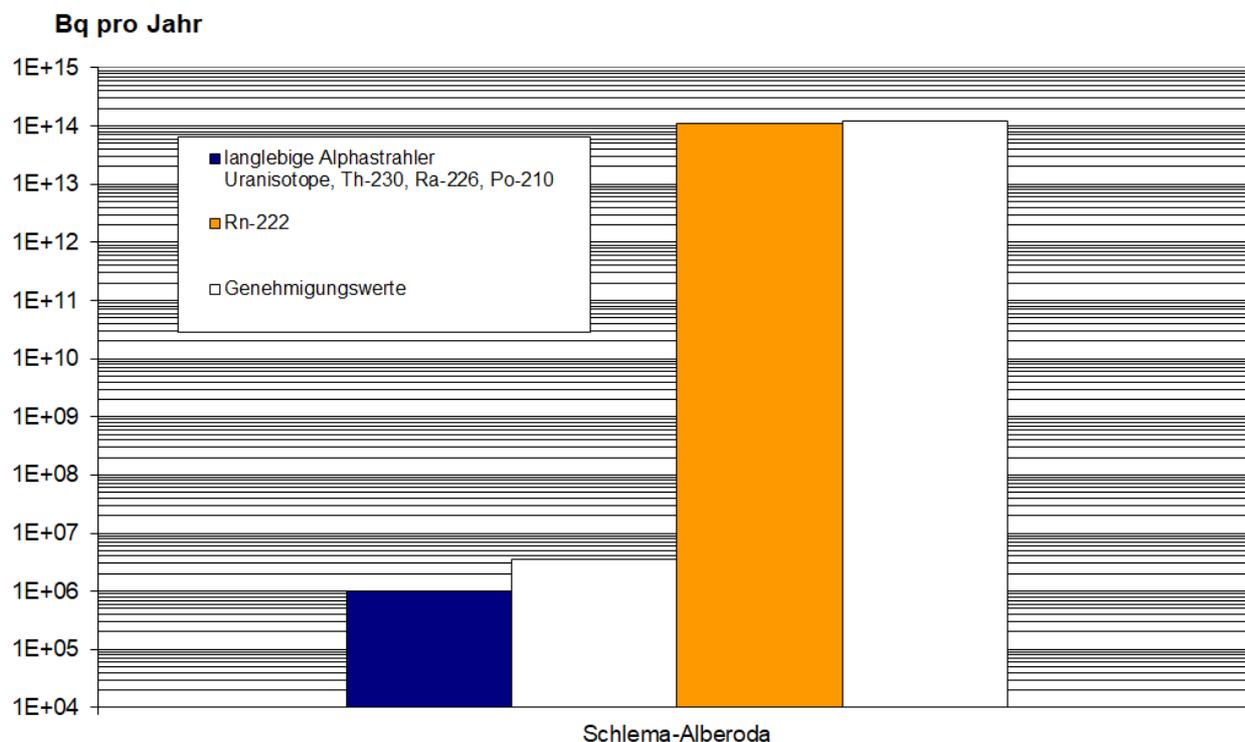
In Abbildung III. 4-1 ist die Gesamtentwicklung für die Jahre 2019 und 2020 des Standorts Schlema/Alberoda der Wismut-Sanierung aufgeschlüsselt. Es wurden die aus den Betrieb insgesamt in die Atmosphäre abgeleiteten Mengen radioaktiver Stoffe zusammengestellt. In Schlema/Alberoda liegen die Jahresableitungen von Rn-222 und langlebigen Alpha-Strahlern auf dem Niveau der Vorjahreswerte. Die mittlere Radonkonzentration der Abwetter hat sich gegenüber dem Vorjahreswert um etwa 3 % erhöht. Dadurch hat sich auch die Jahresableitung an Radon von 109 TBq auf 112 TBq geringfügig vergrößert. In Dresden-Gittersee konnte die aktive Bewetterung eingestellt werden, so dass lediglich noch geringfügige Rn-222-Freisetzungen mit jahreszeitlich bedingten Schwankungen mit der natürlichen Bewetterung erfolgen. Deren Überwachung geschieht im Rahmen der Immissionsmessungen in der Umgebung.

Die berechnete Jahresableitung an langlebigen Alphastrahlern ist dagegen im Vergleich zum Vorjahr gesunken. Dies steht im Zusammenhang mit der Festlegung der REI Bergbau, dass Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze bei der Bilanzierung unberücksichtigt bleiben. Die Anzahl der Monate, bei der die Konzentration langlebiger Alphastrahler unter der geforderten Nachweisgrenze (1 mBq/m^3) des Messverfahrens lag und die deshalb bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt wurden, hat sich von vier Monaten im Jahr 2019 auf sieben Monate im Jahr 2020 erhöht. Die bilanzierte Jahresableitung an langlebigen Alphastrahlern sank entsprechend von 2,7 MBq im Vorjahr auf jetzt 1,0 MBq.

In Dresden-Gittersee erfolgten 2020 keine Ableitungen mehr und waren wegen zu geringer Konzentrationen bereits 2018 nicht mehr bilanzierbar. Die gesamten Ableitungen von Rn-222 und langlebigen Alphastrahlern werden inzwischen nur noch vom Standort Schlema/Alberoda verursacht. Die daraus resultierende jährliche Strahlenexposition kann hier im Berichtsjahr bis zu 0,5 mSv betragen, was den geltenden Grenzwert von 1 mSv/a für die Bevölkerung sicher unterschreitet.

Abbildung III.4-1

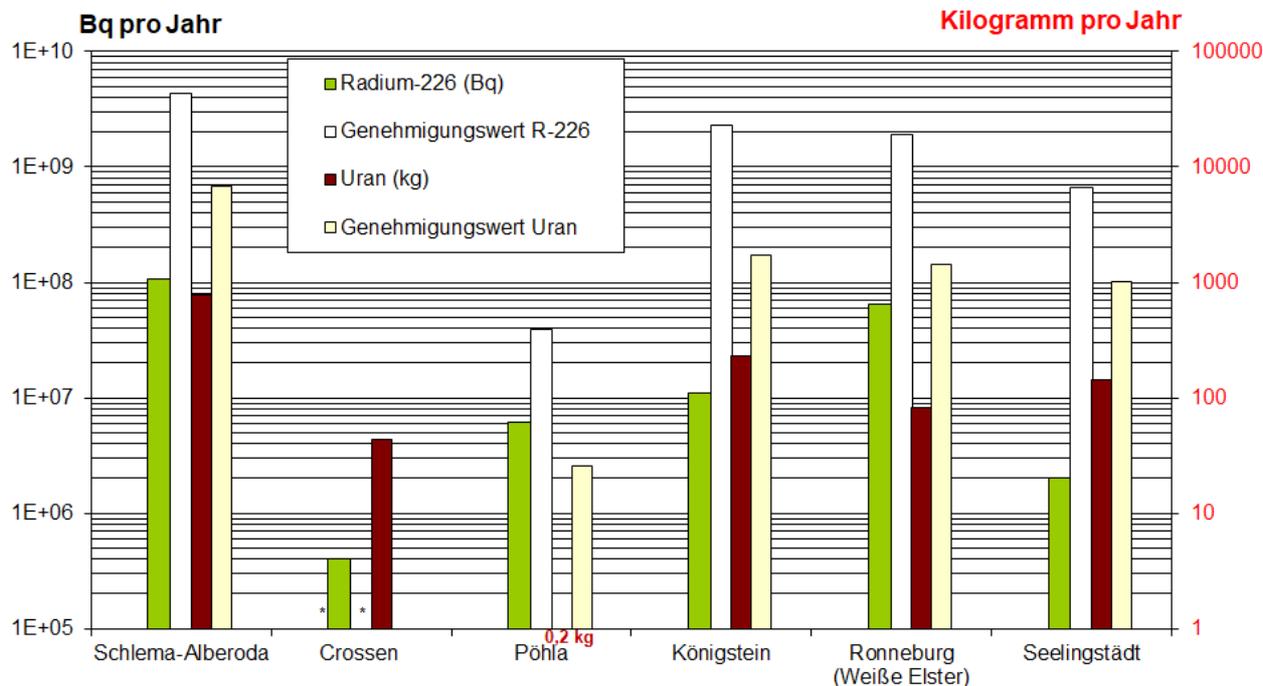
Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Fortluft in die Atmosphäre aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2020



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 2020 gegenüber dem Vorjahr leicht gesunken und setzte sich aus den Niederschlagswässern sowie den hoch belasteten Wässern aus der Flutung, Porenwässern aus den verbliebenen industriellen Absetzan-

Abbildung III.4-2

Flüssige Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2020



* keine Genehmigungswerte, Maximalkonzentrationen für Uran und Radium wurden eingehalten

lagen sowie den Sickerwässern zusammen. Die Reduzierung der Abwassermengen an allen Vorflutern ist witterungs- sowie sanierungsbedingt.

Die Freisetzungen von Uran und Ra-226 entsprechen in ihrer Gesamtmenge etwa denen des Jahres 2019. Die leicht verringerte Abwassermenge im Jahr 2020 in den Vorfluter Weiße Elster in Thüringen führt zu einer verringerten Freisetzung von Uran sowie einer etwa gleich bleibenden Freisetzung von Ra-226 im Vergleich zum Vorjahr. Die Abwassermengen in die Elbe und die Zwickauer Mulde sind 2020 im Vergleich zum Vorjahr deutlich gesunken, damit einhergehend verminderte sich auch die Radioaktivitätsfreisetzung teilweise deutlich. Alle Ableitungen liegen deutlich unter den Genehmigungswerten. Insgesamt belegen diese Werte die sichere Betriebsweise der weiter optimierten und teils erneuerten größeren Wasserbehandlungsanlagen.

Aus den Ableitungen in die betroffenen Gewässer resultiert an keiner Stelle eine nennenswerte Strahlenexposition. Sie kann bei Unterstellung realistischer Nutzungsszenarien im Einzelfall für die kritische Personengruppe bis zu 0,33 mSv/a betragen, so dass der geltende Grenzwert von 1 mSv/a für die Bevölkerung in jedem Fall 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 Grundlagenebericht des BMUV zu „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“, Abschnitt G I 2.

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 Kontrollsystem geregelt, das auch einen genehmigungsfreien Umgang vorsieht, z. B. nach einer Bauartzulassung des Gerätes oder bei Unterschreiten gesetzlich festgelegter Aktivitätswerte. Auf Grund dieser vielschichtigen gesetzlichen Sicherheitsvorkehrungen ist gewährleistet, dass der Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Umgang mit radioaktiven Industrierzeugnissen kleiner als 0,01 mSv pro Jahr ist.¹⁵

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

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

6.2 Hochradioaktive Quellen (HRQ)

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 BMUV zu „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“.

Bis zum Ende des Jahres 2020 wurden insgesamt 732 Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten in das Register für hochradioaktive Strahlenquellen aufgenommen. 82 Bundes- und Landesbehörden wurde ein Zugang zum HRQ-Register erteilt.

In der Datenbank der hochradioaktiven Strahlenquellen wurden bis Ende 2020 246 000 Meldungen zu 57 300 registrierten Strahlenquellen über deren Erhalt und Abgabe aufgenommen. Von diesen 57 300 registrierten Strahlenquellen waren nur knapp 30 % „hochradioaktive Strahlenquellen“ im Sinn der Strahlenschutzverordnung, da sich ein Großteil dieser Strahlenquellen zum Berichtszeitpunkt 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 und Hochspannungsgleichrichter, bei deren Betrieb ungewollt Röntgenstrahlung entsteht, die selbst nicht genutzt wird. Sie unterliegen einer Genehmigungspflicht, sofern sie nicht nach § 8 StrlSchV genehmigungsfrei betrieben werden dürfen. Zu den Störstrahlern gehören auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten wie z. B. in Fernsehgeräten älterer Bauart. Die Höchstwerte der Ortsdosisleistung von bauartzugelassenen Störstrahlern sind in § 17 Nummer 1 StrlSchV auf 1 µSv/h in 0,1 m Abstand festgelegt.

6.4 Konsumgüter und sonstige Anwendungen

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. Es regelt den genehmigungsbedürftigen Zusatz von radioaktiven Stoffen und die genehmigungsbedürftige Aktivierung bei der Herstellung von bestimmten Industrierzeugnissen bzw. Konsumgütern und die Rückführung von diesen Produkten nach Beendigung des Gebrauchs.

¹⁵ mit Tabelle ausführlich erläutert im Bericht für das Jahr 1977, Bundestagsdrucksache 8/3119, Bonn 1979

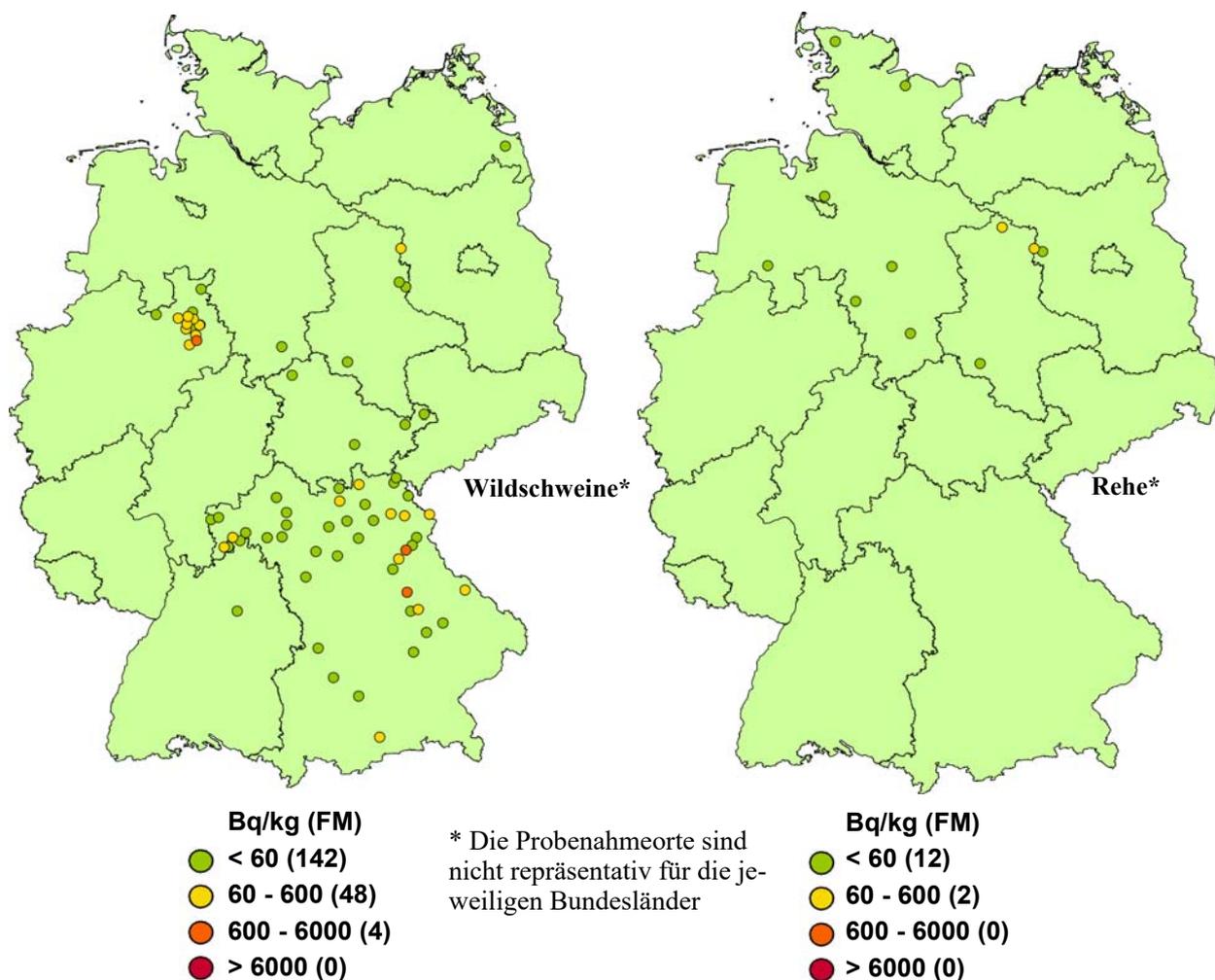
7. Fall-out durch Kernkraftwerksunfälle und durch Kernwaffenversuche

7.1 Tschernobyl

Die mittlere Exposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 2020 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. 45 % 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 2020
(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 während des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsiums am Boden geführt haben, um bis zu einer Größenordnung höher sein.

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch radioaktives Cäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig belastet. In einem umfangreichen Messprogramm nach dem Strahlenschutzgesetz im Rahmen des Integrierten Mess- und Informationssystems (IMIS) werden jährlich mehrere tausend Le-

bensmittelproben auf ihren Radioaktivitätsgehalt untersucht¹⁶. 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 802 Bq/kg mit Cs-137 belastet, Wildpilze (Maronenröhrlinge) bis zu 948 Bq/kg und Renken bis zu 18 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 BMUV über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“.

7.2 Fukushima

2020 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 zusammengefasst¹⁷. Nähere Erläuterungen enthält der Grundlagenbericht des BMUV über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ im Kapitel II.

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. Überwachung beruflicher Expositionen

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

1. Erfasste Daten

Berufliche Expositionen sind Expositionen, die vor allem bei der Ausübung von Tätigkeiten gemäß § 4 Absatz 1 StrlSchG anfallen. Dies betrifft alle geplanten Tätigkeiten, die im Zusammenhang mit dem Umgang mit Strahlungsquellen stehen. Hierzu zählen z. B. Expositionen, die beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder mit Bestrahlungsanlagen auftreten, aber auch die Exposition des fliegenden Personals durch kosmische Strahlung.

Berufliche Expositionen können jedoch nicht nur in geplanten, sondern auch in bestehenden Expositionssituationen auftreten. Hier sind beispielsweise die Arbeitsplätze mit erhöhter Exposition durch Radon oder durch radioaktive Altlasten zu nennen. Expositionen von Einsatzkräften bei Notfalleinsätzen oder anderen Gefahrenlagen zählen ebenfalls zu den beruflichen Expositionen und werden entsprechend im SSR erfasst.

Im Jahr 2020 wurden im SSR Daten über berufliche Expositionen von ca. 420 000 Beschäftigten erfasst, die folgenden Sektoren zuzuordnen sind: Medizin, Kerntechnik, allgemeine Industrie, Forschung und Lehre, Luftfahrt sowie Radon- und NORM-Arbeitsplätze (NORM steht für "naturally occurring radioactive materials").

2. Gesamtauswertung der beruflichen Exposition nach Sektoren

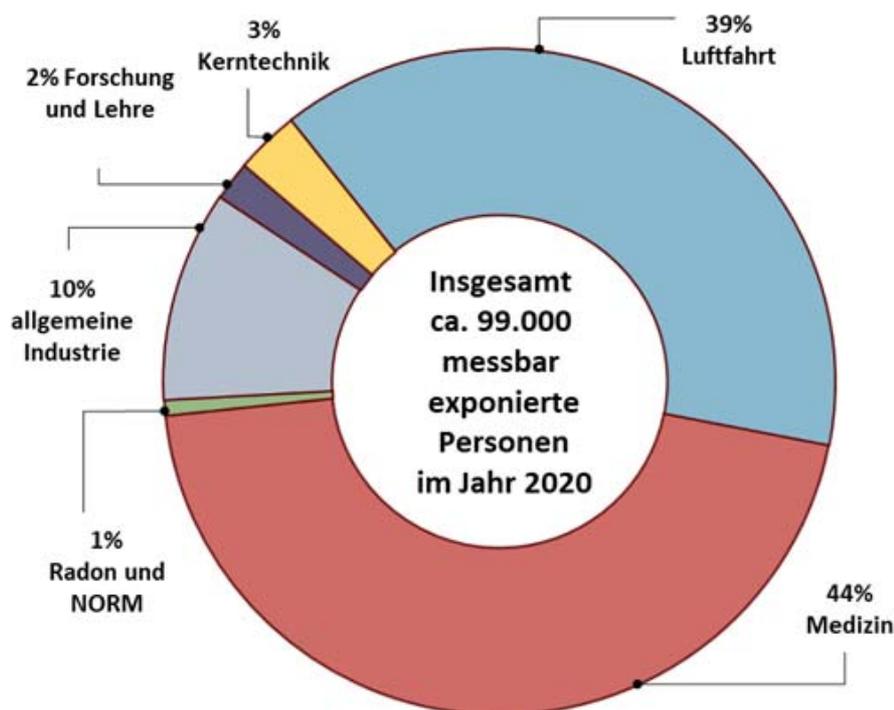
2.1 Beruflich (messbar) exponierte Personen in Deutschland

Im Jahr 2020 umfasste die Überwachung beruflicher Expositionen in Deutschland insgesamt ca. 420 000 Personen aus den Bereichen Medizin, Kerntechnik, allgemeine Industrie, Forschung und Lehre, Luftfahrt sowie Radon- und NORM-Arbeitsplätze.

¹⁶ 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

¹⁷ 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.2-1

Anteil der vom Strahlenschutzregister messbar überwachten exponierten Personen

Mit 75% stellt der medizinische Berufszweig den mit Abstand größten Anteil der im SSR überwachten Personen. Zweitgrößter Sektor ist neben der Luftfahrt (9%) der Bereich der allgemeinen Industrie (9%). Die Bereiche Forschung und Lehre, sowie Kerntechnik machten im Jahr 2020 jeweils 4% aller beruflich überwachten Personen aus. Die kleinste Gruppe bilden die Radon- und NORM-Arbeitsplätze (0,2%). Hier wurden weniger als 1 000 Individuen im Jahr 2020 im SSR registriert.

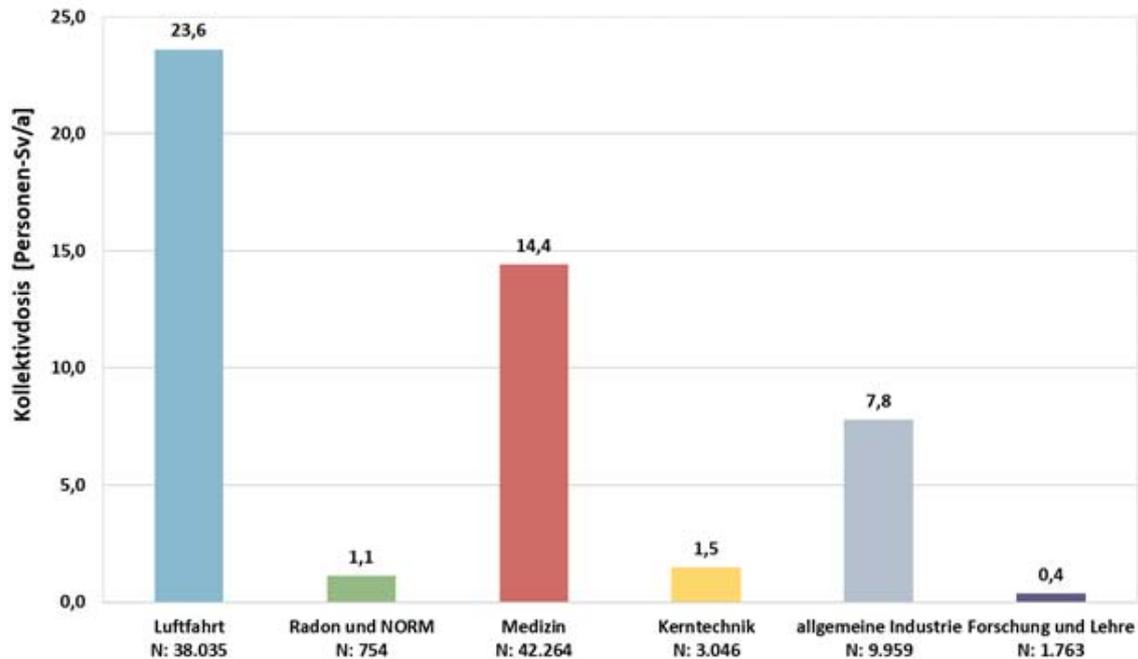
Nicht alle überwachten Personen wurden auch tatsächlich, das heißt zumindest „messbar exponiert“. In Deutschland werden nur bei etwa einem Viertel der überwachten Personen innerhalb eines Kalenderjahres Dosiswerte über der Nachweisgrenze ermittelt. Im Jahr 2020 wurden von den insgesamt etwa 420 000 überwachten Personen ca. 99 000 Personen im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit messbar exponiert. Von den ca. 320 000 überwachten Personen im Bereich der Medizin wurden lediglich etwa 42 000 Personen messbar exponiert. Damit stellen die Beschäftigten in der Medizin mit 44% gefolgt vom Flugpersonal mit 39% die beiden größten Sektoren dar, wenn allein die messbaren Expositionswerte betrachtet werden

2.2 Die Kollektivdosis

Eine wichtige Kenngröße für den Strahlenschutz bildet die sogenannte Jahreskollektivdosis. Dies ist die Summe der individuellen effektiven Dosiswerte aller Personen des jeweiligen Sektors in einem Kalenderjahr. Im folgenden Balkendiagramm (Abbildung IV. 2-2) ist die Kollektivdosis für verschiedene Sektoren in Personen-Sv im Jahr 2020 dargestellt. Der Bereich der Luftfahrt trägt mit 23,6 Personen-Sv (für ca. 38 000 Personen) ca. die Hälfte des im Jahr 2020 erfassten Gesamtwerts von 48,8 Personen-Sv bei. Dabei ist bemerkenswert, dass dieser Anteil im Vorjahr noch bei zwei Drittel des Gesamtwerts lag, während sich die Kollektivdosen der übrigen Sektoren gegenüber dem Vorjahr kaum verändert haben. Dieser drastische Rückgang der Kollektivdosis beim Flugpersonal ist durch die COVID-19-Pandemie zu erklären, die insgesamt einen deutlichen Einbruch des Flugverkehrs ausgelöst hat.

Abbildung IV.2-2

**Kollektivdosis für verschiedene Sektoren im Jahr 2020,
N ist die Anzahl an Personen im jeweiligen Sektor**



2.3 Zeitlicher Verlauf der mittleren effektiven Jahresdosis

Einen Eindruck über die zeitliche Entwicklung der mittleren effektiven Jahresdosiswerte der messbar exponierten Personen über die letzten zehn Jahre gibt Abbildung IV. 2-3. Für die Sektoren allgemeine Industrie, Kerntechnik, Medizin sowie Forschung und Lehre ging die mittlere effektive Jahresdosis seit 2010 zum Teil deutlich zurück, was auf die über die Jahre zunehmend optimierten Strahlenschutzmaßnahmen zurückgeführt werden kann. Für den Bereich Medizin sank der mittlere Jahresdosiswert leicht von 0,4 mSv im Jahr 2010 auf 0,3 mSv im Jahr 2020, was einem Rückgang von 25% entspricht. Ein deutlicher Rückgang war im Bereich der Forschung und Lehre um 50% von 0,4 mSv (2010) auf 0,2 mSv (2020) zu verzeichnen. Ebenfalls deutlich sind die zunehmend verbesserten Strahlenschutzmaßnahmen im Bereich der allgemeinen Industrie festzustellen, in dem der mittlere Jahresdosiswert in den zehn betrachteten Jahren von 1,4 mSv auf 0,8 mSv um 43% gesunken ist. Beträchtlich fällt dieser Rückgang für Beschäftigte in der Kerntechnik aus. Hier ist der kontinuierliche Rückgang von 1,1 mSv auf 0,5 mSv (entspricht 54%), abgesehen von verbesserten Strahlenschutzmaßnahmen, vor allem auf die in Deutschland seit 2011 eingeläutete Phase des Rückbaus und der Stilllegung zurückzuführen.

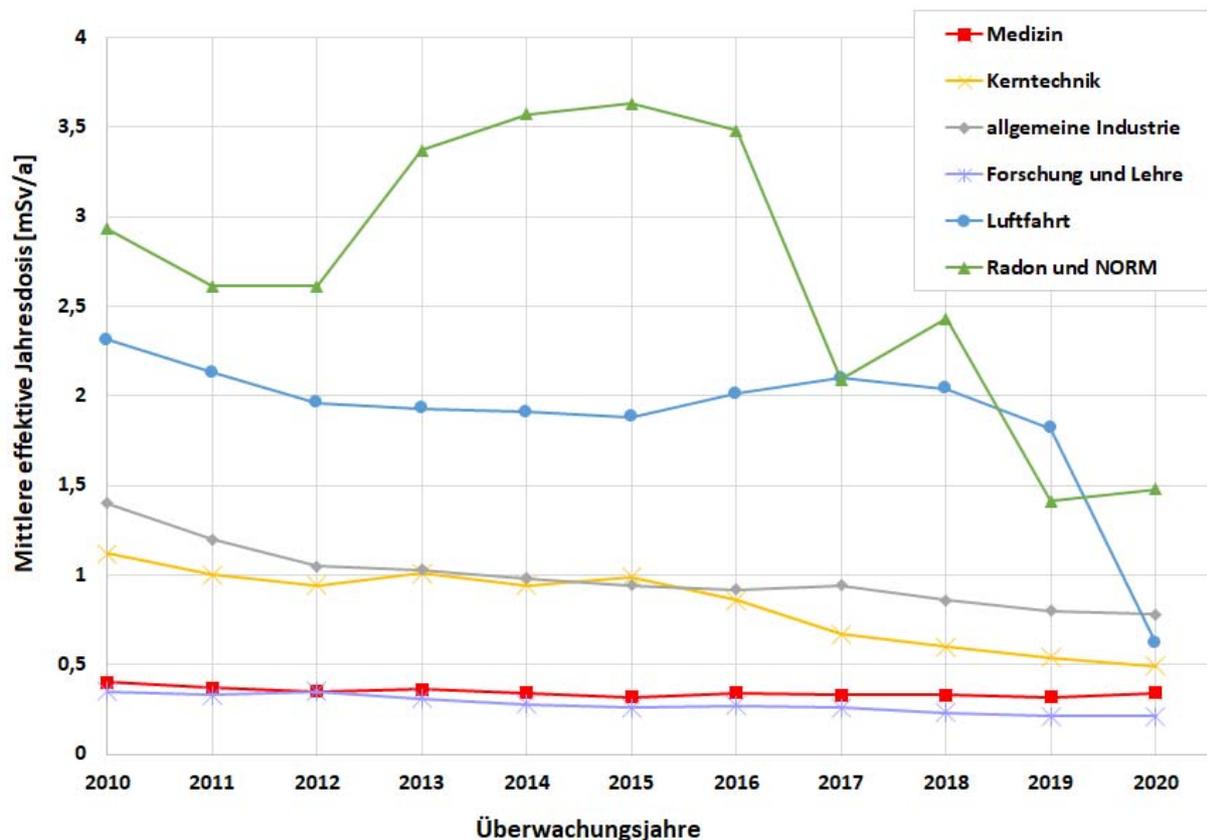
Der zeitliche Verlauf bei Beschäftigten an Radon- und NORM-Arbeitsplätzen sowie in der Luftfahrt unterliegt besonderen Bedingungen. Die Exposition durch Radon und NORM ist auf Grund kleiner Fallzahlen (jährlich zwischen 300-900 Exponierte) bisher einem zufallsbedingten Muster unterworfen.

Die Strahlenexposition des fliegenden Personals ist durch den 11-jährigen Zyklus zu- und abnehmender Sonnenaktivität bestimmt, welche die Intensität der Höhenstrahlung beeinflusst: In Jahren starker Sonnenaktivität sind die mittleren Jahresdosiswerte des fliegenden Personals geringer als in Jahren schwächerer Sonnenaktivität, da die Erde durch das Magnetfeld der Sonne und den Sonnenwind stärker vor hochenergetischen kosmischen Teilchenströmen geschützt wird. Nach einem Maximum der Jahresdosiswerte im Jahr 2009 (2,4 mSv) fiel diese kontinuierlich über die Jahre und erreichte 2014 ihr Minimum (1,9 mSv).

Der Zeitpunkt des darauffolgenden Minimums der Sonnenaktivität lag im Jahr 2019 (1,8 mSv). Der Verlauf der mittleren Jahresdosis für fliegendes Personal verhält sich annähernd gegenläufig. Dass im Jahr 2019 das eigentlich zu erwartende Maximum des Dosisverlaufs nicht zu beobachten war, hängt sicherlich damit zusammenhängt, dass zur Mitte des Jahres 2019 für die meisten Beschäftigten neue Dosiskonversionsfaktoren für die Berechnung der Flugdosis eingeführt wurden. Eine Berechnung der Flugdosis mit diesen neuen Dosiskonversionsfaktoren bewirkt

Abbildung IV.2-3

Zeitlicher Verlauf der mittleren effektiven Jahresdosis der messbar exponierten Personen nach Berufsgruppen von 2010 bis 2020



eine Reduktion des Wertes für die effektive Dosis um bis zu 30%. Da die Flugdosis für einen Großteil des Personals mit den neuen Dosiskonversionsfaktoren berechnet wurde, fiel der Wert für die mittlere effektive Dosis im Jahr 2019 vergleichsweise niedrig aus.

Der periodische Verlauf der effektiven Jahresdosis des fliegenden Personals wurde im Jahr 2020 durch die COVID-19-Pandemie unterbrochen, und lag auf einem Rekordtief von 0,6 mSv.

3. Weitere Auswertungen aus dem Strahlenschutzregister (SSR)

3.1 Anzahl der Grenzwertüberschreitungen

Im Jahr 2020 kam es zu insgesamt sieben im Strahlenschutzregister identifizierten Grenzwertüberschreitungen. Dies beinhaltet drei Überschreitungen des Grenzwertes für die effektive Jahresdosis für Erwachsene von 20 mSv in den Bereichen Medizin (1) und allgemeine Industrie (2) sowie vier Überschreitungen des Jahresgrenzwertes für die Organ-Äquivalentdosis der Hände (500 mSv) in den Bereichen Medizin (2) und allgemeine Industrie (2). Grenzwertüberschreitungen werden an die zuständigen Aufsichtsbehörden zur weiteren Abklärung gemeldet. Angesichts der großen Anzahl von ca. 420 000 im SSR überwachten Personen, sind sieben Grenzwertüberschreitungen als sehr gering zu bewerten. Es ist jedoch der Anspruch und die Aufgabe des Strahlenschutzes, auch diese geringe Zahl weiter zu senken und bestenfalls künftig vollends zu vermeiden.

Im Jahr 2020 kam es nach Auswertungen des SSR zu drei Überschreitungen des beruflichen Jahresgrenzwertes der effektiven Dosis für Erwachsene von 20 mSv (Medizin: 2, Radon: 1) und zu einer Überschreitung des Jahresgrenzwertes der effektiven Dosis von 1 mSv für Personen unter 18 Jahren (Radon: 1). Der Jahresgrenzwert der Organ-Äquivalentdosis der Hand von 500 mSv wurde viermal (Medizin: 2, Industrie: 2) und der Monatsgrenzwert der Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter von 2 mSv wurde 28-mal (Medizin: 22, Industrie: 5, Forschung und

Lehre: 1) überschritten. In Bezug auf den Grenzwert der Berufslebensdosis von 400 mSv wurde im Jahr 2020 eine Überschreitung festgestellt (Kerntechnik: 1).

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

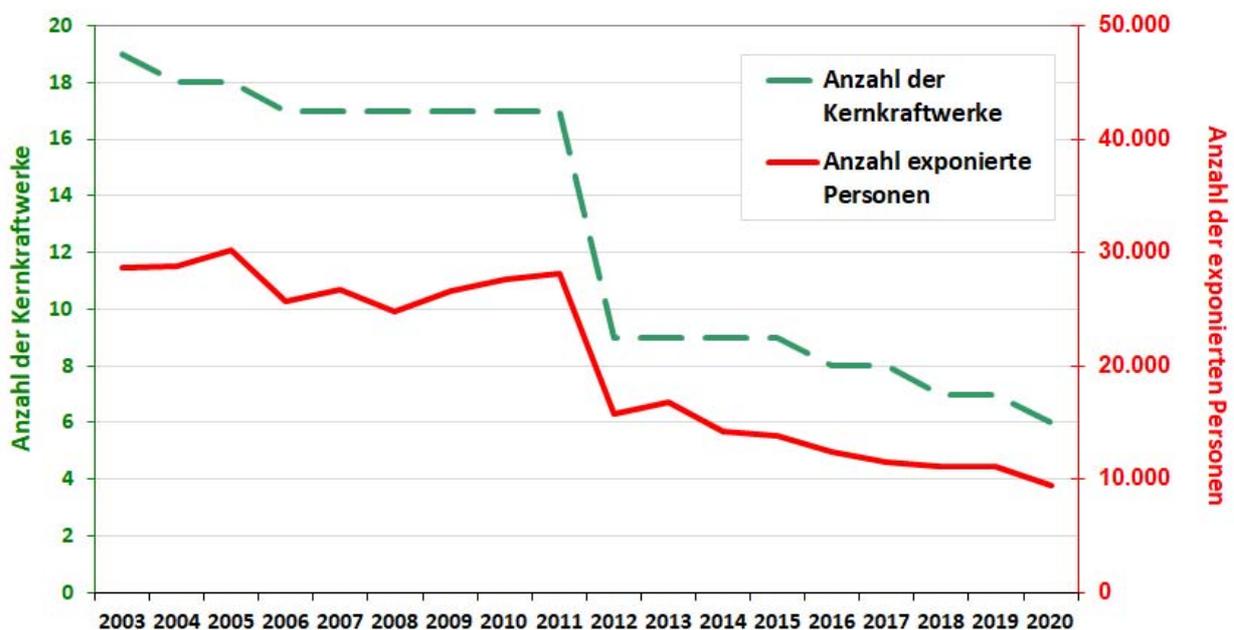
3.2 Übersicht über beruflich exponierte Personen in kerntechnischen Anlagen

Abbildung IV. 3-1 zeigt den Zeitverlauf der Anzahl der Kernkraftwerke in Deutschland sowie die Gesamtanzahl des dort eingesetzten Personals (Eigen- und Fremdpersonal). Im Jahr 2020 waren insgesamt 9000 beruflich exponierte Personen in kerntechnischen Anlagen tätig. Insgesamt sind die Werte des Gesamtpersonals über die letzten Jahre hinweg stark rückläufig. Ursache hierfür ist die ebenfalls rückläufige Anzahl an Kernkraftwerken. So wurden die Kernkraftwerke Biblis A und B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 und Krümmel im Jahr 2011, Grafenrheinfeld im Jahr 2015, Gundremmingen B im Jahr 2017 sowie Philippsburg 2 Ende 2019 abgeschaltet.

Abbildung IV. 3-2 zeigt die zeitliche Entwicklung der Kollektivdosis aller in kerntechnischen Anlagen beschäftigten Personen (Eigen- und Fremdpersonal) sowie die elektrische Energieerzeugung aller im Betrieb befindlichen Kernkraftwerke in Terrawattstunden (TWh). Sowohl die Kollektivdosis als auch die Energieerzeugung sind in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen, was letztlich mit der Abschaltung der oben erwähnten Kernkraftwerke zusammenhängt.

Abbildung IV.3-1

Anzahl der Kernkraftwerke zur Stromerzeugung und Anzahl beruflich exponierter Personen in Kernkraftwerken

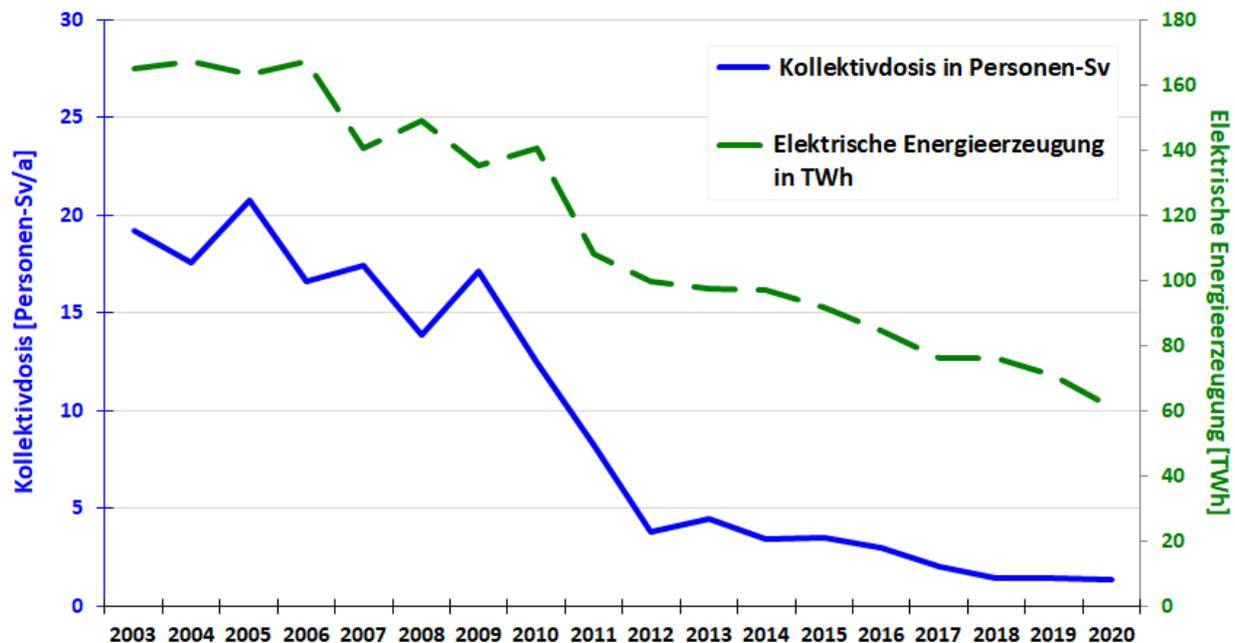


4. Inkorporationsüberwachung beruflich exponierter Personen

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 1 116 Personen im Jahr 2020 (Vorjahr: 571) überwacht, die Kollektivdosis durch Inkorporation betrug

Abbildung IV.3-2

Kollektivdosis in Personen-Sv und erzeugte Energie in TWh in Leistungsreaktoren



0,01 Personen-Sv. Die höchste Jahrespersonendosis infolge von Inkorporation lag bei 3,5 mSv. Von den 1 116 Überwachten hatten lediglich 37 Personen Dosiswerte oberhalb der Nachweisgrenze.

5. Bedeutsame Vorkommnisse

Durch die strengen Vorschriften im Strahlenschutzrecht sind meldepflichtige besondere Vorkommnisse mit Personenbeteiligung beim Umgang mit ionisierender Strahlung und radioaktiven Stoffen selten. Derartige Vorkommnisse werden dem BfS gemeldet und in den Jahresberichten „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMUV in Kapitel V.4 „Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung - Bedeutsame Vorkommnisse“ zusammengefasst.

Ein Großteil der für das Jahr 2020 nach § 108 StrSchV 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.

Vorkommnisse, die im medizinischen Anwendungsbereich aufgetreten sind, werden seit dem Jahr 2019 im Melde- und Informationssystem für bedeutsame Vorkommnisse bei Strahlenanwendungen in der Medizin (www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/bevomed/bevomed_node.html) erfasst. Die Meldung eines bedeutsamen Vorkommnisses erfolgt dabei elektronisch durch die zuständige Behörde an die zentrale Stelle im BfS mit Hilfe des webbasierten Systems BeVoMed (bevomed.bfs.de). Die zentrale Stelle im BfS wertet die gemeldeten bedeutsamen Vorkommnisse in der Medizin regelmäßig systematisch wissenschaftlich aus. Eine Darstellung dieser Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Empfehlungen für den Strahlenschutz findet sich in Kapitel IV 4 des Jahresberichtes „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMUV.

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.

Eine ausführliche Einführung in das Thema „Medizinische Strahlenexposition“ findet sich im Grundlagenbericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMUV (Kapitel IV, Grundlagen zur Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen). Nach § 125 Absatz 3 StrlSchV ermittelt das BfS mindestens alle zwei Jahre die medizinische Exposition der Bevölkerung und ausgewählter Bevölkerungsgruppen.

1. Röntgendiagnostik

Im Folgenden beinhaltet der Begriff „Untersuchung“ – gemäß internationaler Standards¹⁸ – 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 Abschnitt „Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen“ des Grundlagenberichts „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMUV verwiesen. Die Daten in diesem Bericht beziehen sich auf die Jahre 2007 bis 2018. Es wird darauf hingewiesen, dass Abweichungen zu Ergebnissen vorliegen, die in älteren Berichten präsentiert wurden.

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

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

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

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

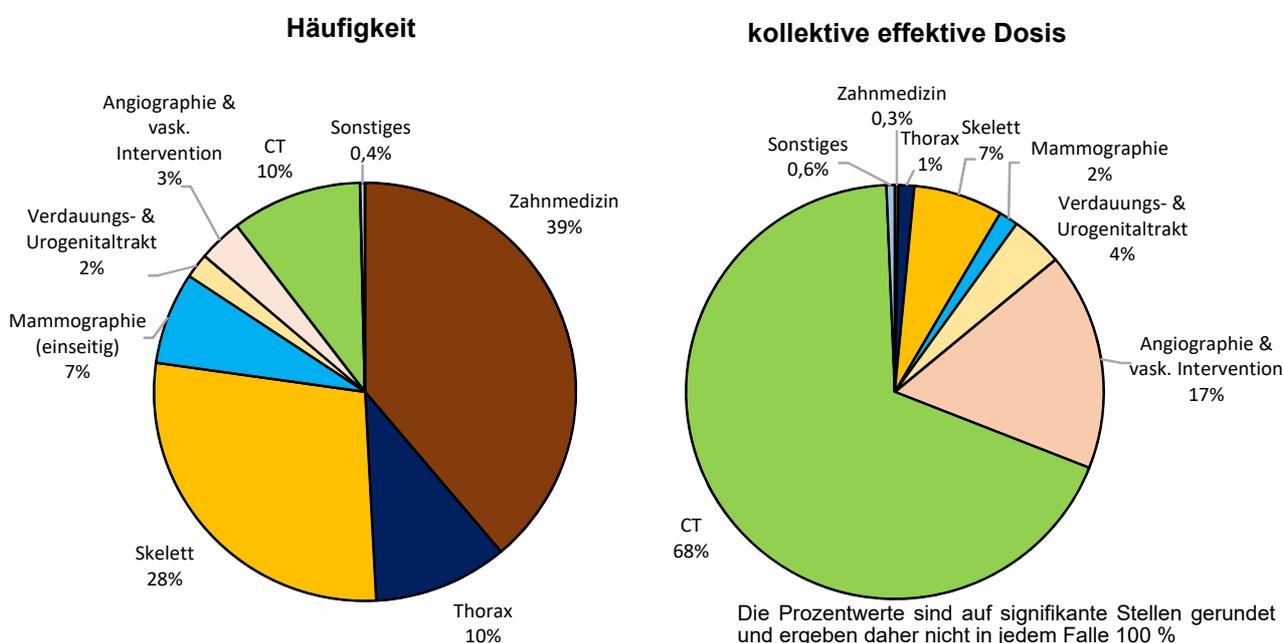
¹⁸ European Commission, Radiation Protection No.180, Part 1: Medical Radiation Exposure of the European Population; Directorate-General for Energy (Directorate D, Unit D 3) 2014, https://energy.ec.europa.eu/system/files/2015-02/RP180web_0.pdf

die überwiegende Mehrheit aller konventionellen Röntgenaufnahmen ambulant durchgeführt werden, finden etwa die Hälfte der CT-Untersuchungen im stationären Bereich statt. Ein noch deutlicherer Anstieg ist auch bei der Magnetresonanztomographie (MRT) zu verzeichnen, einem Schichtbildverfahren, das keine ionisierende Strahlung verwendet. 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.

Im Jahr 2018 wurden etwa 40 % aller Röntgenanwendungen im zahnmedizinischen Bereich durchgeführt. Daneben entfällt der größte Teil aller Röntgenanwendungen auf konventionelle Untersuchungen des Skeletts (Schädel, Schultergürtel, Wirbelsäule, Beckengürtel, Extremitäten). Röntgenaufnahmen des Thorax (Brustkorb) und Computertomographien tragen jeweils zu ca. 10 % zur Gesamthäufigkeit bei (siehe Abbildung V. 1-1).

Abbildung V.1-1

Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für verschiedene Untersuchungen in der Röntgendiagnostik 2018 in Deutschland



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

Erwartungsgemäß ist der relative Anteil konventioneller Röntgenuntersuchungen an der kollektiven effektiven Dosis eher gering. Die CT und die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich interventioneller Maßnahmen) tragen dagegen zwar weniger als 15 % zu der Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2018 jedoch etwa 80 % (siehe Abbildung V. 1-1).

Röntgenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening)

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung und die häufigste Krebstodesursache bei Frauen. Im Jahr 2018 wurde laut Robert Koch-Institut („Krebs in Deutschland für 2017/2018, S. 86 , www.krebsdaten.de, abgerufen am 24. Januar 2022) bei etwa 69 900 Frauen eine Brustkrebsdiagnose gestellt (mittleres Erkrankungsalter: 64 Jahre; Pro-

gnose für 2022: rund 66 800 Fälle). Die 5-Jahres-Prävalenz für Brustkrebs, also die Zahl der lebenden Frauen, bei denen innerhalb der vorherigen fünf Jahre diese Erkrankung neu diagnostiziert wurde, ist - verglichen mit den restlichen Krebserkrankungen - relativ hoch (ca. 304 100 Fälle Ende 2018). Nach Angaben des Robert Koch-Instituts verstarben im Jahr 2019 insgesamt 18 500 Frauen an den Folgen einer Brustkrebserkrankung. Wird Brustkrebs frühzeitig erkannt, kann dies den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenschancen 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 ist die letzte der insgesamt 95 SE in Betrieb gegangen. Zielgruppe des MSP sind alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren. Die Screening-Mammographie-Untersuchung wird alle 2 Jahre angeboten. Anspruchsberechtigt sind etwa 11 Millionen Frauen. Die Teilnehmerquote lag laut „Jahresbericht Evaluation 2019“, S. 13 bei 50 %¹⁹.

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 BMUV in Kooperation mit dem BfS erste konkrete Schritte zur Evaluation der Brustkrebsmortalität in die Wege geleitet. An der Finanzierung des seit Juli 2012 laufenden komplexen Vorhabens beteiligen sich das BMUV, das BMG sowie die Träger des Mammographie-Screening-Programms. Die Geldgeber sowie das BfS, das Robert Koch-Institut, ein Vertreter der obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) und die Patientenvertretung bilden ein so genanntes Steuerungsgremium. Die Aufgaben des Steuerungsgremiums sind u. a. die Schaffung der organisatorischen und finanziellen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Abwicklung der Vorhaben zur Mortalitätsevaluation sowie die Festlegung der Konzeption und des Inhalts der Mortalitätsevaluation des deutschen Mammographie-Screening-Programms. Das Steuerungsgremium wird hinsichtlich der Konzeption und Gestaltung der Inhalte des Forschungsvorhabens sowie der Projektbegleitung von einem Wissenschaftlichen Beirat unterstützt. Die administrative Abwicklung der Mortalitätsevaluation erfolgt seitens des BMUV im Rahmen eines 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, Programmreport 2018, S. 143, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019102319808 und Programmreport 2019, S. 155, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424).

¹⁹ Jahresbericht Evaluation 2019. Deutsches Mammographie-Screening-Programm. Kooperationsgemeinschaft Mammographie, Berlin, November 2021, (https://www.mammo-programm.de/download/downloads/berichte/neu_KOOPMAMMO_Jahresbericht_Eval_2019_20211112_web-Einzelseite_2.pdf)

2. Nuklearmedizinische Diagnostik

Eine ausführliche Einführung in die Thematik findet sich im Grundlagenbericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMUV (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 Krankenversicherung (PKV) bestimmt. Ebenso wie bei der Abschätzung zur Häufigkeit von Röntgenmaßnahmen gehen in nachfolgende Schätzwerte für 2016 bis 2018 Datensätze der PKV ein, die auf Grund einer deutlich größeren Stichprobe und validerer Methoden der Hochrechnung als zuverlässiger angesehen werden als die Daten, die dem BfS für die Jahre bis 2015 von der PKV zur Verfügung gestellt wurden. Auch für nuklearmedizinische Anwendungen ist die Anzahl für 2016 bis 2018 im Vergleich zu der Erhebung für die Jahre vor 2016 geringer. Für den stationären Bereich stehen wiederum Daten des statistischen Bundesamtes zur Verfügung (Statistiken der Operationen- und Prozedurenschlüssel OPS). In die Abschätzung fließen zudem die Resultate aktueller Literatur ein.^{20, 21}

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 sowie der Abschlussbericht eines Forschungsvorhabens²². 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 Dreijahres-Zeitraum 2016 bis 2018. Pro Jahr wurden in diesem Zeitintervall in Deutschland im Mittel ca. 2,1 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von etwa 25 Untersuchungen pro 1 000 Einwohner entspricht. Abbildung V. 2-1 gibt die Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für einzelne Untersuchungskategorien für das Jahr 2018 wieder. Am häufigsten wurden Szintigraphien bzw. Einzelphotonen-Emissionscomputertomographien (SPECT- Untersuchungen) der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt, gefolgt von Myokard(Herz)-Untersuchungen. Hier ist zu beachten, dass die nuklearmedizinischen Untersuchungen des Herzens in Ruhe und unter körperlicher Belastung jeweils separat gezählt wurden, auch wenn diese meistens im Rahmen einer Untersuchung hintereinander (während eines Tages oder über zwei Tage) stattfinden. Untersuchungen der Schilddrüse und des Skeletts nahmen im betrachteten Dreijahreszeitraum stetig ab, die des Herzens hingegen zu. Die Beobachtungen zu den relativen Anteilen und den Trends sind mit den Ergebnissen eines aktuellen Forschungsvorhabens gut vereinbar.

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

Es wurde eine über den Zeitraum 2016 bis 2018 gemittelte effektive Dosis von rund 0,05 mSv pro Einwohner und Jahr abgeschätzt. Rund zwei Drittel der kollektiven effektiven Dosis werden durch die Skelett-, die Myokard(Herz)- und die Schilddrüsenszintigraphie verursacht (Abbildung V. 2-1).

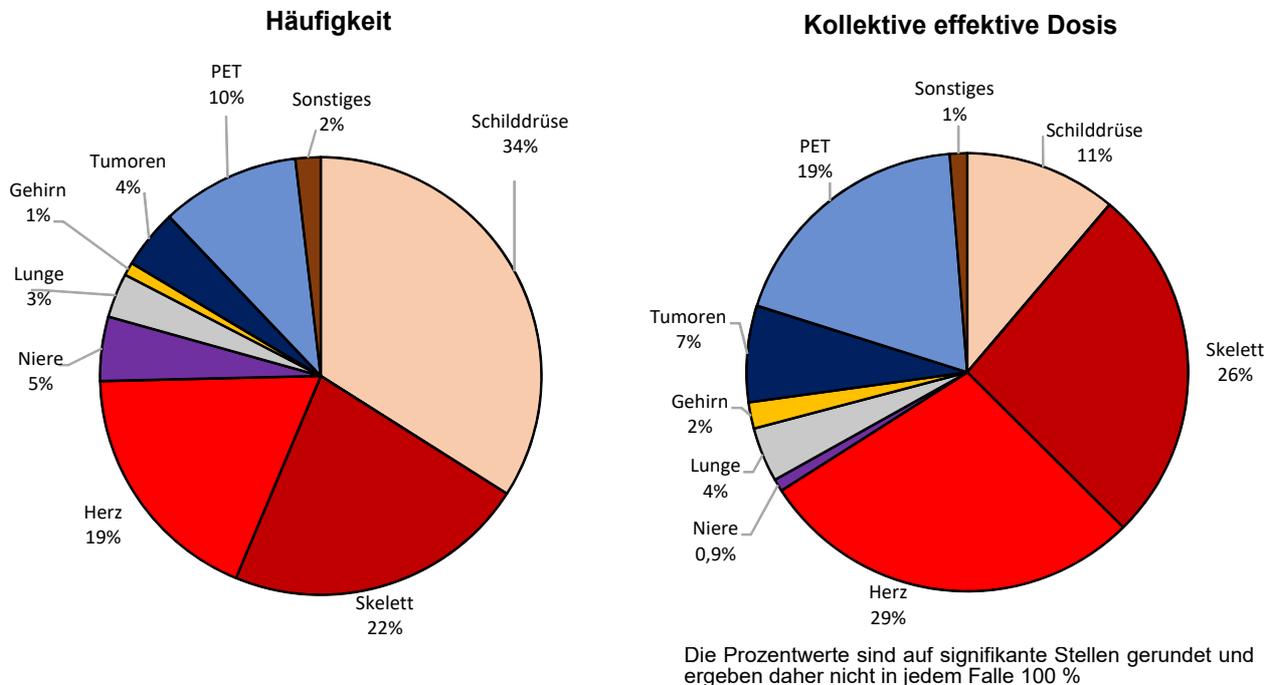
²⁰ Kotzerke J, Oehme L, Grosse J, Hellwig D, Arbeitsausschuss PET der DGN: Positronenemissionstomographie 2013 in Deutschland - Ergebnisse der Erhebung und Standortbestimmung. Nuklearmedizin 54: 53-59, 2015

²¹ Lindner O, Burchert W, Schäfer W, Hacker M: Myocardial perfusion SPECT 2015 in Germany. Results of the 7th survey. Nuklearmedizin 56: 31-38, 2017

²² Borowski M, Pirl L.: Erhebung von Häufigkeit und Dosis nuklearmedizinischer Untersuchungsverfahren - Vorhaben 3617S42443. Hrsg. Bundesamt für Strahlenschutz 2020. Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz; 164/20, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020091722831>

Abbildung V.2-1

Beiträge zur Gesamthäufigkeit und zur kollektiven effektiven Dosis für verschiedene Untersuchungen in der nuklearmedizinischen Diagnostik 2018 in Deutschland



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. Nach aktueller Abschätzung beträgt der Dosisanteil durch die PET ca. ein Fünftel für das Jahr 2018. Die Abschätzung der PET-Häufigkeiten erfolgt auf Basis von Daten aus der Literatur²⁰, da die übliche Methode nach Abrechnungsdaten als unzuverlässig angesehen wird.

Letztere wäre sowohl mit der Literatur^{20, 22} nicht vereinbar, sondern würde zu einer erheblichen Unterschätzung führen. PET/CT-Untersuchungen ersetzen immer mehr isolierte PET-Untersuchungen²². Im stationären Bereich wurden 2018 bereits ca. 85 % aller PET-Untersuchungen mittels eines PET/CT-Systems durchgeführt. Etwa 95 % aller Ganzkörperuntersuchungen und ca. 40 % aller Hirnuntersuchungen finden nach dieser Studie mittels PET/CT statt. Der Dosisbeitrag durch die CT ist bei Abbildung V. 2-1 nicht berücksichtigt. Bei Berücksichtigung der CT läge der Dosisbeitrag der PET und PET/CT schätzungsweise um etwa die Hälfte höher, und es ergäbe sich eine mittlere effektive Dosis pro Einwohner von 0,07 mSv.

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

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 „al-

ternativer“ 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 BMUV-Jahresberichten ausführlich behandelt.

Tabelle V.4-1

Verteilung der bedeutsamen Vorkommnisse, zu denen eine Abschlussmeldung vorliegt, auf die medizinischen Fachgebiete

Medizinisches Fachgebiet	Anzahl der Vorkommnisse
Röntgendiagnostik (einschließlich Röntgendurchleuchtung)	35
Interventionen (zu diagnostischen oder therapeutischen Zwecken)	13
Therapie mit ionisierender Strahlung und umschlossenen radioaktiven Stoffen	47
Nuklearmedizin (Diagnostik und Therapie)	7

4. Bedeutsame Vorkommnisse in der Medizin nach Anlage 14 StrlSchV

Das BfS wertet als zentrale Stelle gemäß § 111 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchV Informationen über bedeutsame Vorkommnisse in der Medizin insbesondere im Hinblick auf die Übertragbarkeit und Bedeutsamkeit der Erkenntnisse auf andere Anwendungen und andere Anwender aus. Gemäß § 111 Absatz 1 Nummer 6 StrlSchV führt das BfS eine regelmäßige systematische wissenschaftliche Aufarbeitung der durchgeführten Auswertungen durch und veröffentlicht die Ergebnisse einschließlich der daraus abgeleiteten Empfehlungen in Form eines Jahresberichts. Darüber hinaus werden Erkenntnisse, die auch für andere Anwendungen und andere Anwender relevant sind, kurzfristig auf der Homepage des BfS in anonymisierter Form in einem Passwort-geschützten Bereich veröffentlicht.

Für das Jahr 2020 lagen der zentralen Stelle Mitte Juli 2021 Informationen zu 130 Erstmeldungen vor. Zu 113 Erstmeldungen lagen Abschlussmeldungen vor, die ausgewertet wurden. Bei elf Abschlussmeldungen wurde durch die zuständige Behörde und / oder das BfS festgestellt, dass es sich um kein Vorkommnis bei der Anwendung am Menschen handelte, oder dass das berichtete Vorkommnis nicht bedeutsam war. Die Meldungen zu Vorkommnissen bezogen sich ausschließlich auf medizinische Expositionen. Zu Expositionen von untersuchten Personen bei nichtmedizinischen Anwendungen erfolgten keine Meldungen. Tabelle V.4-1 zeigt die Verteilung der bedeutsamen Vorkommnisse mit Abschlussmeldung.

Die mit Abstand meisten Meldungen sind aus dem Bereich der Strahlentherapie zu verzeichnen. Diese betrafen zu ca. 30 % Bestrahlungsplanverwechslungen. Hier kann nur eine kritische Analyse der Prozessabläufe entlang der gesamten Behandlungskette zu einer Senkung der Fehlerrate führen (siehe dazu auch die Empfehlungen von BfS, DEGRO, DGMP und DGN zur Risikoanalyse bei therapeutischen Strahlenanwendungen²³). Die meisten Meldungen in der Strahlentherapie betrafen Personenverwechslungen (40 %). Obwohl von strahlentherapeutisch behandelten Patienten vor Therapiebeginn in der Regel Portraitfotos erstellt werden, kamen derartige Verwechslungen trotzdem vor. Zusätzliche Maßnahmen, wie z. B. Patientenarmbänder oder Handscanner, können hier die Fehlerquote reduzieren.

Lediglich ein Drittel aller Abschlussmeldungen betrafen die Röntgendiagnostik. So erfolgten im Jahr 2020 nur zwanzig Meldungen aus dem Bereich Computertomographie. In Anbetracht der ca. 13 Millionen CT-Untersuchungen, die pro Jahr in Deutschland durchgeführt werden, erscheint diese Anzahl sehr gering.

²³ Bundesamt für Strahlenschutz, www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BFS/DE/fachinfo/ion/empfehlungen-risikoanalyse.html (abgerufen am 22.04.2020)

VI. Nichtionisierende Strahlung

Eine Einführung in die Definition verschiedener Komponenten nichtionisierender Strahlung findet sich in den Jahresberichten des BMUV über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“. Das BfS 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 2020“ unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257>.

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 vorrangig neue Technikentwicklungen, die begleitende Forschung zum Strahlenschutz beim Stromnetzausbau und das gleichzeitige Einwirken elektromagnetischer Felder von mehreren Quellen. Technische Weiterentwicklungen sind vor allem bei der drahtlosen Kommunikations- und Energieübertragungstechnik, mit Hauptaugenmerk auf den neuen Mobilfunkstandard 5 G, aber auch der Sicherheitstechnik und der Elektrizitätsversorgung zu beobachten. Die Elektromobilität wirft neue Fragen auf, aber auch Anwendungen elektromagnetischer Felder zu medizinischen oder kosmetischen Zwecken sind stark im Kommen.

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 μT für magnetische Flussdichten der 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.

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.

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 BfS leistet mit dem Forschungsprogramm zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ einen wichtigen Beitrag zur Klärung der offenen Fragen in diesen Themenbereichen.

Offene Fragen bei bestehenden Grenzwerten

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 ursächlicher 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.

Exposition der Allgemeinbevölkerung

Die Grenzwerte der 26. BImSchV schützen vor allen nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken statischer und niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder, die von Stromleitungen ausgehen. Es gibt jedoch wissenschaftliche Hinweise auf mögliche gesundheitliche Wirkungen unterhalb der bestehenden Grenzwerte und weitere offene Fragen, die im Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ geklärt werden müssen.

So kann der in mehreren Studien beobachtete statistische Zusammenhang von Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern und Leukämien im Kindesalter derzeit nicht zufriedenstellend erklärt werden. Auch Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Expositionen gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern und dem Auftreten von degenerativen Erkrankungen des Nervensystems (z. B. Amyotrophe Lateralsklerose/ALS, Alzheimer-Demenz) können derzeit nicht abschließend beurteilt werden. Bei den HGÜ-Freileitungen sind es vor allem Fragen zu einer erhöhten Wahrnehmung beziehungsweise Wahrnehmbarkeit elektrischer Felder und zu einer möglicherweise verstärkten Korona-Ionen-Wirkung, die mit dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand nicht zufriedenstellend beantwortet werden können.

Begleitendes Forschungsprogramm des BfS

Um bestehende wissenschaftliche Unsicherheiten in der Risikobewertung zu verringern und offene Fragen beantworten zu können, führt das BfS ein begleitendes Forschungsprogramm zum „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ durch. Das Forschungsprogramm umfasst 39 Projekte aus 10 Themenfeldern. Die Beschreibung des Forschungsprogramms sowie den aktuellen Stand der Forschungsvorhaben können auf der Seite des BfS eingesehen werden:

http://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/bfs-forschungsprogramm/stromnetzausbau/netzausbau_node.html.

Einige dieser Forschungsvorhaben wurden bereits im Rahmen des Ressortforschungsplans begonnen bzw. sind beendet:

- Erfassung der Magnetfeldexposition der allgemeinen Bevölkerung (siehe Programmreport 2019, Seite 231 ff, (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424>))

- Untersuchung der Machbarkeit und Vorbereitung einer gepoolten Analyse zum Zusammenhang von Amyotropher Lateralsklerose (ALS) und Magnetfeldexposition, Universität Mainz. Abschlussbericht unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020011721003>
- Leukämie im Kindesalter - Einfluss des Immunsystems auf die Entstehung der Erkrankung (experimentelle Studie an einem geeigneten Tiermodell) (siehe Programmreport 2019, S 228 ff, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424>)
- Evaluierung der Botschaften und Texte des BfS aus dem Bereich des Stromnetzausbaus. Abschlussbericht unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020090922621>
- Umfragen zur Ermittlung der Besorgnis in der Bevölkerung 1. Welchen Stellenwert haben Magnetfelder in der öffentlichen Wahrnehmung des Stromnetzausbaus? Eine deutschlandweite Befragung. Abschlussbericht unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2019121120809>
- Überprüfung von Darstellungsformaten für Messergebnisse niederfrequenter Felder und deren Bedeutung für die Risikokommunikation. Abschlussbericht unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020060822215>
- Bewertende Literaturstudie zum Auftreten, zur Ausbreitung und zu gesundheitlichen Auswirkungen von ionisierten Schadstoffpartikeln in der Umgebung von Starkstromleitungen (siehe Programmreport 2019 S. 234 ff, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424>)

Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF)

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Mobilfunk oder Fernsehen verwendet werden. Der wesentliche Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung, da in wissenschaftlichen Untersuchungen erst bei einer dauerhaften Erhöhung der Körpertemperatur um 1°C gesundheitlich relevante Beeinträchtigungen beobachtet wurden.

Gesundheitliche Beeinträchtigungen infolge nichtthermischer Wirkungen im Bereich niedriger Intensitäten hochfrequenter Felder konnten bisher - trotz intensiver jahrzehntelanger Forschung - wissenschaftlich nicht nachgewiesen werden.

Wissenschaftliche Unsicherheiten verbleiben jedoch hinsichtlich der Frage zu möglichen Langzeitriskien für intensive Handynutzung von mehr als 15 Jahren durch Kinder und Erwachsene. Diese Unsicherheiten in der Risikobewertung führten dazu, dass 2011 die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) auch hochfrequente elektromagnetische Felder in die Gruppe 2b („möglicherweise krebserregend“) eingestuft hat. Im Hinblick auf die bei 5G zukünftig zur Verwendung kommenden hohen Frequenzen im Millimeterwellenbereich liegen vergleichsweise wenige Studien zu möglichen negativen Gesundheitseffekten vor. Da die Absorption dieser Felder sehr nahe an der Körperoberfläche stattfindet (die Eindringtiefe der Felder beträgt ab 20 GHz 1 mm und weniger) sind direkte Wirkungen auf innere Organe aber nicht zu erwarten. Mögliche Auswirkungen würden - wenn überhaupt - hauptsächlich Haut und Augen betreffen. Hierzu hat das BfS weitere Forschung initiiert.

Forschung zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern

Folgende Forschungsvorhaben wurden begonnen bzw. sind beendet:

- Detaillierte vergleichende Analyse der Alters- und Geschlechtsabhängigkeit des Einflusses hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Endgeräten auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit (siehe Programmreport 2019 S. 240 ff, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424>)
- Nutzung von Mobiltelefonen und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979 (siehe Programmreport 2019 S. 248 ff, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424>)
- Berücksichtigung aktueller Mobilfunkantennentechnik bei der HF-EMF-Expositionsbestimmung (siehe Programmreport 2019 S. 260, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424>)
- Machbarkeitsstudie eines auf Smartphone-Apps beruhenden Hochfrequenz-Messnetzwerkes zur Abschätzung der Exposition der Bevölkerung mit elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks (siehe Programmreport 2019 S. 261, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424>)
- Wirkungen auf Zellen der Körperoberfläche bei Expositionen mit Zenti- und Millimeterwellen (5G-Frequenzen) (siehe Programmreport 2019 S. 262, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424>)

Frequenzübergreifende Forschungsvorhaben (Hoch- und Niederfrequenz)

- Bewertende Literaturstudie zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf oxidative Prozesse bei Menschen sowie in Tier- und Laborstudien (siehe Programmreport 2019 S.237 ff, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020100623424>)
- Internationaler Workshop zum Einfluss elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder auf die belebte Umwelt. Abschlussbericht unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2020050821802>

Selbstverpflichtung Mobilfunkbetreiber

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 BMUV initiierte Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) anteilig mit 8,5 Millionen Euro zu unterstützen. Es wurden insgesamt 54 Forschungsvorhaben zu den Teilbereichen Biologie, Dosimetrie, Epidemiologie und zur Risikokommunikation durchgeführt. Diese Forschungsvorhaben sind alle abgeschlossen (siehe 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.

Berichte über Forschungsvorhaben, die über die freiwillige Selbstverpflichtung mitfinanziert wurden, sind auf doris.bfs.de abrufbar.

Im April 2020 erfolgte eine Fortschreibung der freiwilligen Selbstverpflichtung mit dem Schwerpunkt Kleinzellen. Kleinzellen werden mit dem Rollout von 5G voraussichtlich zahlenmäßig zunehmen. Durch die Erweiterung verpflichten sich die Mobilfunkbetreiber, auch bei Kleinzellen dasselbe Schutzniveau einzuhalten, das für Basisstationen größerer Leistung durch die 26. BImSchV gesichert ist, auch wenn die 26. BImSchV für kleinere Basisstationen mit einer Sendeleistung von weniger als 10 Watt äquivalente isotrope Strahlungsleistung (EIRP) nicht gilt.

Überprüfung der freiwilligen Selbstverpflichtung mittels Gutachten

Durch unabhängige Gutachten wird seit 2002 in regelmäßigen Abständen überprüft, ob die Zusagen der Selbstverpflichtung eingehalten werden. Die Gutachten prüfen verschiedene Möglichkeiten, die Kommunen und die Öffentlichkeit besser mit Informationen zum Netzausbau und zu Mobiltelefonen zu versorgen. Die Ergebnisse des Gutachtens 2019, das im Juni 2020 veröffentlicht wurde, sind unter <https://difu.de/publikationen/2020/mobilfunk-gutachten-2019> einsehbar.

Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

Das Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF) wurde im Februar 2020 als Teil des BfS gegründet. Standort des Kompetenzzentrums ist Cottbus. Das KEMF bündelt die im BfS vorhandene Expertise zu statischen und niederfrequenten elektrischen und magnetischen sowie zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und wird die Forschung und Kommunikation auf diesem Gebiet intensivieren. Zu den Aufgaben des KEMF zählen zielgruppenspezifische Information, Kommunikation und Vernetzung ebenso wie die Bewertung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes sowie Initiierung von Forschung bei wissenschaftlichen Unsicherheiten. Das KEMF führt außerdem das Forschungsprogramm „Strahlenschutz beim Stromnetzausbau“ fort.

Kommunikation

Mit der Gründung des KEMF soll insbesondere die Kommunikation vor Ort gestärkt werden. Hierfür sind mehrere Formate in Planung, darunter der Einsatz von Infomobilen sowie ein Schulungsangebot für Multiplikatoren, wie bspw. Mediziner und Medizinerinnen, Lehrer und Lehrerinnen sowie lokale Behördenmitarbeiter und Behördenmitarbeiterinnen. Informationsbedarf besteht in der Bevölkerung vor allem im Hinblick auf die Einführung von 5G. Hier besteht teils eine große Verunsicherung und in vielen Gemeinden wird der Bau von Mobilfunkmasten von einem Teil der Bewohnerinnen und Bewohner abgelehnt. Weiterer Informationsbedarf in der Bevölkerung besteht in vom Stromnetzausbau betroffenen Gebieten. Der Ausbau wird von der Bevölkerung vor Ort teilweise

deutlich kritisiert, teils aus Gründen der Optik aber auch bezüglich noch offener Fragen zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen.

Forschung

Das KEMF führt die Forschung im Bereich statischer und niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder sowie hochfrequenter elektromagnetischer Felder fort und intensiviert diese (siehe hierzu die vorhergehenden Abschnitte). Die Ergebnisse dieser Forschungsvorhaben, die Verfolgung und Bewertung externer nationaler und internationaler Studien sowie die Berücksichtigung von Übersichtsarbeiten ausgewiesener Expertengremien und Organisationen bilden die Grundlage für die Risikobewertung des BMUV und des KEMF. Die Erkenntnisse aus den wissenschaftlichen Untersuchungen über mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch HF und NF werden zielgruppengerecht und bevölkerungsnah vermittelt.

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 Protokolle der Sitzungen und die aktuelle Mitgliederliste sind unter www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/runder-tisch/runder-tisch_node.html einzusehen. Seit 2020 ist die Geschäftsstelle des RTEMF im KEMF geleitet/organisiert.

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 http://www.bfs.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BfS/DE/SARsuche_Formular.html. Die Liste umfasst insgesamt 3 793 klassische Mobiltelefone, Smartphones und Tablets, wobei für 3 448 Geräte ein SAR-Wert für den Anwendungsfall „Betrieb am Ohr“ und für 1 871 Geräte für den Anwendungsfall „Betrieb am Körper“ vorliegt. 39 % der aktuell erhältlichen klassischen Mobiltelefone, Smartphones und Tablets weisen 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. 2020 waren mehrere Modelle eines Herstellers mit dem Blauen Engel ausgezeichnet.

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

- Babyüberwachungsgeräte,
- Haushaltslampen,
- Router,

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

2. Optische Strahlung

Eine ausführliche Einführung in das Thema „Optische Strahlung“ findet sich im Grundlagenbericht „Umweltra dioaktivität und Strahlenbelastung“ des BMUV.

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 im Jahr 2019 an elf repräsentativen Standorten in Deutschland kontinuierlich die bodennahe, solare UV-Strahlung spektral aufgelöst gemessen.

Um alle Bürger und Bürgerinnen verlässlich über die aktuelle solare UV-Belastung zu informieren, erweitert das BfS sein UV-Messnetz. Für den Ausbau nutzt das BfS die Infrastruktur seines Ortsdosisleistungs (ODL) -Messnetzes (www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/luft-boden/odl/odl.html) und ergänzt passende ODL-Sonden mit kompakten Breitbandradiometern. Im Jahr 2020 nahmen drei Breitbandradiometer-Stationen den aktiven Messbetrieb im solaren UV-Messnetz auf: Wasserkuppe bei Fulda (Rhön), Wasserlosen bei Schweinfurt und Weiburg in Mittelfranken.

Die Messdaten aller Stationen werden in der BfS-Messnetzzentrale in Neuherberg/Oberschleißheim gesammelt, dokumentiert, gesundheitlich bewertet und regelmäßig als UV-Index (UVI) 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) veröffentlicht.

In den Sommermonaten werden zusätzlich 3-Tages-Prognosen der UVI-Werte vom BfS im Internet unter www.bfs.de/uv-prognose veröffentlicht und per Newsletter (www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-newsletter/uv-newsletter_node.html) an Abonnenten verschickt. In den Wintermonaten von Oktober bis März werden 3-Monats-Prognosen veröffentlicht. Zusätzlich werden über Twitter (twitter.com/strahlenschutz) Warnmeldungen bei ungewöhnlich hohen UVI-Werten herausgegeben.

Im April 2020 wurden sprunghaft angestiegene, überdurchschnittlich hohe Tagesspitzenwerte des UV-Index an allen UV-Messstationen gemessen. Ursache hierfür war ein Rekordverlust des stratosphärischen Ozons über der Arktis, der sich auf Grund eines außergewöhnlich stabilen stratosphärischen Polarwirbels über der Arktis im Winter 2019/2020 ausbilden konnte. Mit Aufbrechen des Polarwirbels verteilten sich diese Ozonverluste im April über die Nordhalbkugel und führten bundesweit zu Niedrigozonereignissen (low ozone events) mit außergewöhnlich niedrigem stratosphärischen Ozon und entsprechend hohen Messwerten der erythemwirksamen UV-Bestrahlungsstärke. Ähnliche, aber im Vergleich zu dem im Jahr 2020 etwas kleiner ausgefallene Ozonlöcher wurden 1997 und 2011 über der Arktis beobachtet²⁴. Eine Studie unter Federführung des Alfred-Wegener-Instituts zeigt, dass ohne deutliche Reduktionen der Treibhausgas-Emissionen die Effekte zunehmen, die zur Entstehung des Arktischen Ozonlochs geführt haben²⁵, und in den kommenden Jahren auf Grund des Klimawandels weiter mit großen Ozonlöchern über der Arktis zu rechnen ist. Je nachdem, wie diese ozonarmen Luftmassen mit dem aufbrechenden Polarwirbel weitertransportiert werden, könnte dies bedeuten, dass über Deutschland vermehrt sprunghaft ansteigende und überdurchschnittlich hohe Werte der erythemwirksamen UV-Bestrahlungsstärke in den Monaten März, April und Mai auftreten können. Zusätzlich wurde auf Grund einer deutschlandweit überdurchschnittlichen Anzahl an Sonnenscheinstunden im April 2020 eine deutlich erhöhte erythemwirksame UV-Monatsdosis erfasst.

Die Messungen in den anschließenden Sommermonaten ergaben, dass im Jahr 2020 die höchsten ermittelten Tagesspitzenwerte des UV-Index in Nord- und Mitteldeutschland im Juni und Juli bei UV-Index-Werten von 7 bis

²⁴ Rao J, Garfinkel CI (2020) Arctic Ozone Loss in March 2020 and its Seasonal Prediction in CFSv2: A Comparative Study With the 1997 and 2011 Cases. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 125: e2020JD033524

²⁵ von der Gathen P, Kivi R, Wohltmann I *et al.* Climate change favours large seasonal loss of Arctic ozone. *Nat Commun* 12, 3886 (2021).

9 lagen. Im gleichen Zeitraum wurden in Süddeutschland UV-Index-Werte von 8 bis 10 und im alpinen Hochgebirgsraum UV-Index-Werte von 9 bis 12 gemessen. Dabei lag an neun Tagen im Juni, Juli und August der UV-Index-Tagesspitzenwert im alpinen Hochgebirgsraum bei 11 und an drei Tagen im Juni und Juli bei 12. Die hohen UV-Index-Werte in den Sommermonaten korrelieren mit außergewöhnlich niedrigen Werten des Gesamt ozons (Stratosphäre und Troposphäre) über der Nordhalbkugel, deren Ursache eventuell auf eine starke Corona-Pandemie-bedingte Emissionsreduktion von Stickoxiden zurückgeführt werden könnte²⁶.

2.2 Forschung

Mikroskalige Modellierung von UV-Belastung

Um verhältnispräventive Maßnahmen wie Schaffung von Schattenoasen sinnvoll zu planen, sind Werkzeuge zu schaffen, mit denen sich übermäßige UV-Belastungen an einem bestimmten kleinräumigen (mikroskaligen) Ort wie Außenbereiche von Kindergärten, Schulhöfe oder Stadtparks abschätzen lassen. Für großräumige Anlagen existieren bereits Computerprogramme, die eine derartige Abschätzung grob zulassen. Im mikroskaligen Raum herrschen Bedingungen, die im Vergleich zu makroskaligen Modellierungen dazu zwingen, zahlreiche weitere bzw. vermehrt detailliert zu berücksichtigende Parameter zur Darstellung der UV-Expositionen einzuschließen. Dies stellt erhebliche Ansprüche an die Datenverarbeitung. Das BfS hat darum 2019 eine Machbarkeitsstudie in Auftrag gegeben, die aufzeigen soll, ob und wenn ja wie die Modellierung von UV-Exposition im mikroskaligen Raum derart vereinfacht werden kann, dass ohne Abstriche an der Qualität der Aussage die mikroskalige Modellierung der UV-Belastung in bestehende GIS-basierte Modellierungsprogramme zur Visualisierung der Hitzebelastung in städtischen Umgebungen integriert werden kann. Ergebnisse wurden Corona-bedingt verzögert im Programmreport 2020 veröffentlicht („Strahlenschutzforschung Programmreport 2020“ unter nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2021121530257):

- Machbarkeitsstudie zur mikroskaligen Modellierung von UV-Belastungen in urbanen Umgebungen für verschiedene Bevölkerungsgruppen zur Hautkrebsprävention - 3619S72490

Umfrage: Verhältnispräventive Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen bei Kindertagesstätten und Schulen

Die Rate der UV-bedingten Hautkrebsneuerkrankungen steigt weiterhin. Die mit dem Klimawandel einhergehenden Wetterveränderungen und Extremwetterereignisse haben nach derzeitigen Prognosen das Potenzial, auch dieses Problem noch zu verschärfen. Ärzteschaft und Institutionen des Strahlenschutzes drängen darum auf eine wirkungsvolle Prävention UV-bedingter Erkrankungen (s. Grundsatzpapier des UV-Schutz-Bündnisses, www.bfs.de/uv-grundsatzpapier) durch deutschlandweite Etablierung weiterer verhältnispräventiver Maßnahmen. Im Rahmen der „Nationalen Versorgungskonferenz Hautkrebs“ (NVKH, <https://nvkh.de>) wurde unter anderem das Versorgungsziel „Schattenspendende Maßnahmen zum Schutz vor hohen UV-Belastungen im Freien sind deutschlandweit in den Lebenswelten der Menschen vorhanden“ formuliert. Um dieses Versorgungsziel zu erreichen, ist zunächst der Ist-Zustand zu erfassen. Das BfS hat darum 2019 ein Forschungsvorhaben initiiert, mit dessen Hilfe bereits vorhandene UV-reduzierende Maßnahmen wie schattenspendende Strukturen bundesweit erfasst und katalogisiert werden sollen. Ergebnisse werden Corona-bedingt verzögert im Programmreport 2021 veröffentlicht.

- Repräsentative Umfrage zur deutschlandweiten Erfassung verhältnispräventiver Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen bei Kindertagesstätten und Schulen - 3619S72401

Missbrauch starker optischer Strahlungsquellen - Blendattacken und Augenschäden

Die missbräuchliche Verwendung starker optischer Strahlungsquellen wie Laserpointer oder Lasertaschenlampen stellt ein Risiko für die Allgemeinbevölkerung dar. Bei Blendattacken auf Flugzeug- oder Fahrzeugführerinnen und -führer sind nicht nur die direkt angegriffenen Personen betroffen, sondern durch die erhöhte Unfallgefahr bei Beeinträchtigung des Sehvermögens auch andere Verkehrsteilnehmer, Passagiere von Flugzeugen, Bussen oder Zügen sowie Anwohnerinnen und Anwohner und Passantinnen und Passanten. Dieses Thema soll verstärkt bearbeitet werden. 2020 wurde das Projekt „Blendattacken und Augenschäden durch Laser und andere starke optische Strahlungsquellen“ (3620S72410) vergeben. Im Rahmen dieses Projekts sollen Attacken mit starken optischen Strahlungsquellen in Deutschland quantifiziert, die mit diesen Attacken verbundenen Risiken eingeschätzt und die

²⁶ Steinbrecht W, Kubistin D, Plass-Dülmer C, Davies J, Tarasick DW, Gathen P, et al. (2021). COVID-19 crisis reduces free tropospheric ozone across the Northern Hemisphere. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091987.

rechtliche Situation analysiert werden. Zudem sollen mögliche Ansätze zur Minimierung der Risiken aufgezeigt werden. Das Projekt läuft bis zum 31.08.2021.

Das Fachgespräch „Gefährdungen durch Laserpointer und ähnliche optische Strahlungsquellen“ fand im November 2020 statt. Es diente dem Austausch mit Expertinnen und Experten vor allem zu den Themen:

- Augenschäden und Blendung durch Lasergeräte oder ähnliche optische Strahlungsquellen
- Relevante Strahlungsquellen
- Sicherheit von Laserprodukten in Verbraucherhand
- Erfahrungen aus der Praxis
- Rechtliche Regelungen und Strategien zur Risikominimierung
- Forschungsbedarf

Auf dem Fachgespräch wurde deutlich, dass unterschieden werden sollte zwischen Augenschäden (Retinaschäden), beispielsweise beim Spiel mit Laserpointern, einerseits und absichtlichen Blendattacken auf Piloten oder Fahrzeugführer andererseits. In ersterem Fall liegt der Fokus auf Augenschäden bei Kindern. Beispiele hierfür wurden von Ophthalmologinnen und Ophthalmologen dargestellt. Zielgruppe für die Risikokommunikation wären insbesondere Eltern und Betreuungspersonen. Im zweiten Fall muss vermieden werden, Nachahmungstäter zu motivieren. Der Fokus dürfte hier eher auf gesetzlichen Regelungen, Produktsicherheit und Marktkontrolle liegen. Das Thema wird weiter verfolgt.

2.3 Hautkrebspräventionsmaßnahmen

2011 initiierte das BfS das UV-Schutz-Bündnis, um die Prävention UV-bedingter Erkrankungen, insbesondere des Hautkrebses, zu stärken. Mittlerweile ist das UV-Schutz-Bündnis eine Kooperation von 27 Arbeitsgemeinschaften, Behörden, Fachgesellschaften, gemeinnützigen Organisationen, Instituten, Stiftungen, Verbänden und Vereinen aus den Bereichen Wissenschaft, Strahlenschutz, Arbeitsschutz, Medizin, Prävention, Gesundheitsförderung und Gesundheitsversorgung, die sich seit Jahren für gelebten UV-Schutz einsetzen (www.bfs.de/uv-schutz-buendnis.de). Die Koordinierungsstelle des Bündnisses liegt beim BfS.

2017 veröffentlichte das UV-Schutz-Bündnis das Grundsatzpapier „Vorbeugung gesundheitlicher Schäden durch die Sonne - Verhältnisprävention in der Stadt und auf dem Land“ (siehe www.bfs.de/uv-grundsatzpapier), das inzwischen auch in Bezug auf die Aktivitäten Deutschlands zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels beachtet und zitiert wird. 2018 wurde vom UV-Schutz-Bündnis nach Vorgaben des Kooperationsverbundes „gesundheitsziele.de“ eine Kriterienanalyse²⁷ zum Thema „Reduzierung der Mortalität und Morbidität UV-bedingter Erkrankungen“ erarbeitet. Diese wurde 2019 dem Evaluationsbeirat, dem Steuerungskreis und dem Ausschuss des Kooperationsverbundes „gesundheitsziele.de“ präsentiert. Von allen drei Gremien wurde dieses Thema als ein wichtiges Teilziel der Gesundheitsziele „gesund aufwachsen“, „gesund älter werden“ und eventuell auch „Rund um die Geburt“ gesehen. Bei einer erneuten Überarbeitung dieser Gesundheitsziele soll darum eine entsprechende Ergänzung in Betracht gezogen werden. Eine gemeinsame Veröffentlichung der Kriterienanalyse durch den Kooperationsverbund und das UV-Schutz-Bündnis im Bundesgesundheitsblatt wurde beschlossen. Sie erfolgt voraussichtlich 2021.

2020 wurde weiter daran gearbeitet, im Grundsatzpapier konkret genannte Maßnahmen umzusetzen. So wurde vom BfS die Erweiterung des UV-Messnetzes (s. Absatz 2.1 Solares UV-Monitoring) vorangetrieben. 2020 wurde vom BfS die Überarbeitung der UV-Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe I begonnen. Auf Grund der mit Corona einhergehenden, forcierten Digitalisierung an Schulen soll ein niederschwelliges, digitales Angebot für die 5. und 6. Klassen aller Schultypen erstellt werden, das aus einem Erklärvideo und einem Arbeitsblatt inklusive Hilfestellung zur Bearbeitung des Arbeitsblattes und einer Lehrerhandreichung mit weiterführenden Informationen und Web-Links weiterer Unterrichtsangebote bestehen wird. Die Arbeiten werden 2021 abgeschlossen sein. Durch die Bündnispartner „Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention (ADP)“ und „Deutsche Krebshilfe (DKH)“ in Zusammenarbeit mit weiteren Akteuren wurde 2020 ein Grundkatalog für Lehr- und Ausbildungspläne erarbeitet. Darauf basierend wurden auch 2020 unterschiedliche Materialien zur Ergänzung von Lehr- und Ausbildungsplänen entsprechender Berufe (s. Grundsatzpapier) wie Lernvideos oder Material für „Spielerisches / Kreative“ Lernen erstellt.

Die mit dem Klimawandel einhergehenden Wetterveränderungen und Extremwetterereignisse haben nach derzeitigen Prognosen das Potenzial, auch das Problem des Anstiegs der UV-bedingten Hautkrebsneuerkrankungen

²⁷ www.gesundheitsziele.de/cms/medium/798/Kriterienkatalog_final_121024.pdf

noch zu verschärfen. Das BfS ist Partner im Behördennetzwerk „Klimawandel und Anpassung“, das als Netzwerk von Bundesbehörden und -institutionen die Arbeiten zur Umsetzung der „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) unterstützt. Die Klimawirkung „UV-bedingte Gesundheitsschädigungen (insbesondere Hautkrebs)“ wurde in das Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“ der Klimawirkungsrisikoanalyse 2021 (KWRA 2021) neu aufgenommen. Das BfS arbeitete 2020 Texte zur Beschreibung dieser Klimawirkung aus. Des Weiteren ist das BfS im Bund-Länder-Dialog „Gesundheit im Klimawandel“ vertreten, der vom Bundesministerium für Gesundheit (BMG) und vom BMUV organisiert ist. Das Thema „Klimawandel und UV-Strahlung“ wurde 2020 auch für die zu aktualisierende S3-Leitlinie „Prävention von Hautkrebs“²⁸ in einem eigenen Kapitel aufbereitet. Die Veröffentlichung der aktualisierten S3-Leitlinie wird 2021 erwartet.

2.4 Rechtliche Regelungen

Solarien

Das Benutzungsverbot von Solarien durch Minderjährige (geregelt seit August 2009 im „Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen“ (NiSG)) gilt nunmehr seit elf Jahren, die gemäß NiSG erlassene „Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher Ultravioletter Strahlung“ (UV-Schutz-Verordnung, UVSV) seit acht Jahren. Die Kontrolle der Einhaltung der rechtlichen Vorgaben obliegt den Bundesländern.

Laut der Berichte der Bundesländer zeigen auch die 2020 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.

Im Rahmen der Deutschen Großstudie „Nationales Krebshilfe-Monitoring zur Solariennutzung“ (National Cancer Aid Monitoring of Tanning Bed Use, NCAM)²⁹ wurde gezeigt, dass zwar die Nutzung von Solarien rückläufig ist, gleichzeitig die Nutzung von Solarien durch Minderjährige trotz gesetzlichen Verbots von 1,6 % auf 4,6 % alarmierend gestiegen ist. Bei allen Umfragen war die Attraktivität ein wichtiger Grund für die Nutzung von Solarien. Über den gesamten Befragungszeitraum hinweg gab es einen Anstieg der medizinischen Gründe für den Gebrauch. Darüber hinaus zeigte das Monitoring einen Rückgang des Risikobewusstseins in Bezug auf die Nutzung von Solarien und UV-Strahlung. Auf Grund des abnehmenden Risikobewusstseins ist es notwendig, Präventions- und Aufklärungskampagnen durchzuführen, die sich speziell an die Gruppe der Solariennutzer richten.

Das BMUV und das BfS haben sich auch 2020 im Rahmen Ihrer Aufgabenbereiche für die Umsetzung der rechtlichen Regelungen zur Reduzierung der UV-Belastung für Nutzerinnen und Nutzer von Solarien eingesetzt. Darüber hinaus unterstützten BMUV und BfS 2020 auch das von der Deutschen Krebshilfe und der Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention e. V. (ADP) organisierte und durchgeführte „Interventionsprogramm Solarien“.

Verordnung „Nichtionisierende Strahlung“

Mit der Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSV) werden insbesondere Anforderungen an den Betrieb und an die Fachkunde professioneller Anwender und Anwenderinnen nichtionisierender Strahlung zu kosmetischen und sonstigen nichtmedizinischen Zwecken rechtlich verbindlich geregelt. Im Bereich der optischen Strahlung stehen Anwendungen wie die Tattooentfernung mit Lasergeräten und die dauerhafte Haarentfernung (Epilation) mit Lasern oder IPL-Geräten im Vordergrund. Die NiSV trat am 31. Dezember 2020 in weiten Teilen in Kraft. Die Anforderung zum Nachweis der Fachkunde für Anwendungen, die nicht unter Arztvorbehalt stehen, ist am 31. Dezember 2021 in Kraft getreten³⁰. Allerdings zeichnet sich bereits 2020 ab, dass die Etablierung geeigneter Schulungsangebote und der Erwerb der Fachkundenachweise unter anderem bedingt durch die COVID-19-Pandemie bis Ende 2021 nicht realisierbar sein dürfte. Mitarbeiterinnen des BfS nahmen 2020 an Sitzungen der Länderarbeitsgruppe AG-NiSG teil.

²⁸ <https://www.leitlinienprogramm-onkologie.de/leitlinien/hautkrebs-praevention/>

²⁹ Diehl K, Görig T, Greinert R, Breitbart EW, Schneider S (2019) Trends in tanning bed use, motivation, and risk awareness in Germany: findings from four waves of the national cancer aid monitoring (NCAM). *Int J Environ Res Public Health* 16(20):3913 - 3923. <https://doi.org/10.3390/ijerph16203913>

³⁰ Das Inkrafttreten der hier gegenständlichen Regelungen wurde 2021 mit der Verordnung zur Änderung der Verordnung zur weiteren Modernisierung des Strahlenschutzrechts - Friständerung zur Milderung der Folgen der epidemischen Lage. Auf Grund des Coronavirus (BGBl. I S. 4646) auf den 31. Dezember 2022 verschoben.

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
BMUV.	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
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
EIRP.	equivalent isotropically radiated power (äquivalente isotrope Strahlungsleistung)
EMF.	Elektromagnetische Felder
Euratom.	Europäische Atomgemeinschaft
FM.	Feuchtmasse
GGF.	Gleichgewichtsfaktor
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)
ICRP.	International Commission on Radiological Protection (Internationale Strahlenschutzkommission)
IMIS.	Integriertes Mess- und Informationssystem
KEMF.	Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder
mSv.	Millisievert
MRT.	Magnetresonanztomographie (Kernspintomographie)
NF.	niederfrequente elektrische und magnetische Strahlung
NIR.	non ionizing radiation (nichtionisierende Strahlung)
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 28. April 2020 (BGBl. I S. 960)
nSv.	Nanosievert
Personen-Sv.	Personen-Sievert, siehe Kollektivdosis (Erläuterungen Fachausdrücke)
PET.	Positronen-Emissions-Tomographie
ReFoPlan.	Ressortforschungsplan des BMUV (früher Umweltforschungsplan, UFOPLAN) zur Gewinnung von Entscheidungshilfen und sachgerechter Erfüllung der Fachaufgaben
RöV.	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) vom 4. Oktober 2011, zuletzt geändert durch Artikel 6 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010), am 31. Dezember 2018 außer Kraft getreten
SSK.	Strahlenschutzkommission
SSR.	Strahlenschutzregister
StrlSchG.	Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), zuletzt geändert durch die Bekanntmachung vom 3. Januar 2022 (BGBl. I S. 15)
StrlSchV 2001.	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung 2001 - StrlSchV 2001) 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) am 31. Dezember 2018 (Artikel 20 Absatz 1 Satz 2 der Verordnung zur weiteren Modernisierung des Strahlenschutzrechts vom 29. November 2018) außer Kraft getreten.
StrlSchV.	Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), ersetzt die Strahlenschutzverordnung von 2001
StrVG.	Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz - StrVG) 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 (BGBl. I S. 1966)
Sv.	Sievert

TBL.	Transportbehälterlager
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.
UVSV.	Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung (UV-Schutz-Verordnung - UVSV) vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1412), 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 Nummer 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.
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 § 1 Absatz 4 StrlSchV 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)
- 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).

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.

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)
Hochspannungsgleichstromübertragung (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
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).
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

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 $H_p(10)$

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
- SI-Einheiten.** Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI, frz. *Système international d'unités*). 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 (μ Sv) =
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-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 31
Absorption **62**
Abwasser 27–28, 30
Aerosol **62**
Aktivität (Radioaktivität) **62**
Alphastrahler 27–28, 31, **62**
Angiographie 46, **62**
Angiographie 45
Äquivalentdosis **62**
athermische Effekte **62**
Atmosphärisches Radionuklid-Transportmodell
(ARTM) **60**
AVR 27, **60**

B

Baugrund 24
Baumaterialien 20–21, 24
Baustoffe 21
Bayerischer Wald 21, 38
BDBOS **60**
Becquerel **62**
Bergbau 21, 34, 36
Betastrahlung **63**
Betasubmersion **63**
biologische Effekte **63**
Blut-Hirn-Schranke **63**
BMBF **60**
BMG **60**
Böden 20–21
BOS **60**, **63**
Brachytherapie **63**
Brennelemente 31
Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) 8, 22–23, 37,
47, 50, **60**
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und
nukleare Sicherheit (BMU) 8, 54
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und
Reaktorsicherheit (BMUB) 21, 47, 50

C

Cäsium-137 38
Computertomographie **63**
Computertomographie (CT) 45–46
CONCERT **60**

D

Dekontamination **63**
deterministisch **63**
Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF)

55, **60**

Diagnostische Referenzwerte (DRW) **60**, **63**
Diuretika **63**
Dosimeter **63**
Dosimetrie **63**
Dosis **63**
Dosisfaktor **63**
Druckwasserreaktor 25

E

Edelgase 26–27
effektive Dosis **64**
effektive Jahresdosis 20
elektrische Feldstärke **64**
elektrische Ladung **64**
elektrische Spannung **64**
elektrischer Strom **64**
elektrisches Feld **64**
elektromagnetisches Feld 51
Elektrosensibilität **64**
Elektrosensitivität **64**
elektrostatisches Feld **64**
EMF **60**
Endlager Morsleben 33
Energiedosis **64**
Epidemiologie **64**
Euratom **60**
Euratom-Grundnormen 21

F

Fall-Kontroll-Studie **64**
Fall-out **65**
Fernfeld **65**
FM **60**
Forschungszentrum 25, 27–30
Dresden-Rossendorf 30
Garching 30
Geesthacht 30
Jülich 30
Karlsruhe 30
Fortluft 25–26, 29
Frequenz **65**
Fukushima 39

G

Gamma-Ortsdosisleistung 21–22
Gammastrahlung 20, **65**
Gammasubmersion **65**
Globalstrahlung **65**
Granit 21

H

Hochfrequenz 53 , 65
Hochradioaktive Strahlenquellen 37
Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) 51 ,
60 , 65
Hot spots 65
Hz 60

I

IAEA 60
IARC 60
ICNIRP 61
ICRP 61
IMIS 22 , 39 , 61
Induktion 65
Industrie 21 , 37
Industrieprodukte 21 , 37
Influenz 65
Infrarot-Strahlung 65
Ingestion 66
Inhalation 24 , 66
Inkorporation 20 , 66
Inkorporationsüberwachung 43
Interventionelle Radiologie 66
Ionisierende Strahlung 44
ionisierende Strahlung (Begriff) 66
Isotop 66

J

Jod-129 27
Jod-131 26–27
Jülich 30

K

Kalium-40 20–21
Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe 25 , 30–31
Kernkraftwerk 25–28 , 30
Biblis 26
Brokdorf 26
Brunsbüttel 26
Emsland 26
Greifswald 26
Gundremmingen 26
Isar 26
Krümmel 26
Lingen 26
Neckar 26
Obrigheim 26
Phillipsburg 26
Rheinsberg 26
Stade 26
Unterweser 26
Würgassen 26
Kernwaffenversuche 38–39

Kohlenstoff-14 25–27
Kohortenstudie 66
Kollektivdosis 66
Konsumgüter 37
Kontamination 66
kosmische Strahlung 66
kosmogene Radionuklide 20 , 66

L

Lebensmittel 11 , 20–21 , 23 , 28 , 37–39
Leukämie 66
Linearer Energietransfer 66

M

Machbarkeitsstudie 47 , 66
Magnetfeld 66
magnetische Feldstärke 66
magnetische Flussdichte 66
Mammographie-Screening 46–47
MEAL-Studie 23
Medianwert 67
Medizin 8
Milch 38
MRT 61 , 67
Myokardszintigraphie 67

N

Nachweisgrenze 67
Nahfeldexposition 67
Nahrung 23
Neutronen 20
Neutronendosis 31
nichtionisierende Strahlung 8 , 50 , 67
nicht-thermische Effekte
siehe athermische Effekte
NIR 61
Notfall 9
Nuklearmedizin 67
Nuklearmedizinische Diagnostik 48
Nuklid 67

O

optische Strahlung 56
Organdosis 67
Ortsdosis 67
Ortsdosisleistung 67

P

Personendosimeter 68
Personendosis 43 , 67
Perzentil 68
PET 61 , 68
Pyranometer 68

QQuerschnittsstudie **68****R**

Radioaktive Stoffe

im Haushalt 37

in der Technik 37

Radioaktivität **68**Radiojod **68**

Radium-226 21

Radon 23 –24

in der Bodenluft 23

in Wasser 24

Radon-220 20

Radon-222 24

REI-Bergbau 34

Risiko 51 , **68**Risikokommunikation 54 , **68**Risikowahrnehmung **68**

Röntgendiagnostik 45 , 47

Röntgenverordnung (RöV) **61**

Rubenow 31

Rückstände 36

Runder Tisch Elektromagnetische Felder (RTEMF) 55

S

Sachsen 21

Sachsen-Anhalt 21

Schachanlage Asse 7 , 33

Schwarzwald 21

Schwebstoffe 26 , **68**

Selbstverpflichtung der Mobilfunkbetreiber 54

Sendeleistung **68**SI-Einheiten **68**Sievert **68**Signaltransduktion **69**

Solares UV-Monitoring 56

Solarien 59

Spezifische Absorptionsrate (SAR) 55 , **69**stochastisch **69**

Störstrahler 37

Strahlenbelastung **69**

Strahlenexposition

äußere - siehe externe 24

berufliche 39

externe 20 –22 , 24

im Freien - siehe externe

in der Umgebung kerntechnischer Anlagen 28 , 34

in der Umgebung von Kernkraftwerken 29

innere 20 –21

kosmische 20

medizinische 44 , 49

natürliche 20 , 24

obere Werte 28

terrestrische 20

zivilisatorische 25

Strahlenexposition (Begriff) **69**

Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) 8

Strahlenschutzkommission (SSK) 12 , 55 , **61**

Strahlenschutzverordnung 2001 23 , 28

Stromnetzausbau 52

TTeletherapie **69**

Terrestrische Strahlung 21

terrestrische Strahlung 20 –21 , **69**

Thorium-232 20

Thorium-Zerfallreihe 21

Thüringen 21

Transportbehälterlager 31

Transportbehälterlager (TBL) **62**

Trinkwasser 21 , 23

Tritium 26 –28 , **69**

Tschernobyl 38

U

Umweltforschungsplan (UFOPLAN) 61

Umweltradioaktivität 34

Umweltzeichen „Blauer Engel“ 55

UNSCEAR 23 –24 , **62**

Uran-235 20

Uranbergbau 21

Uran-Radium-Zerfallsreihe 21 , 34 , 36

UV-Index (UVI) **62**UV-Strahlung **62** , **69****W**WBA **62**Wirbelstrom **69**

Wismut GmbH 34

Z

Zentralstelle des Bundes (ZdB) 8

Zwischenlager 31

