



Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz – Ergebnisse 2021

Editorial

Liebe Leserin, lieber Leser

Das Jahr 2021 erforderte pandemiebedingt viel Flexibilität. Die Tätigkeiten unserer Abteilung waren unterschiedlich stark tangiert. Im medizinischen Bereich fanden die Audits zwar manchmal online statt, unser Überwachungsprogramm, das unnötige Expositionen von Patient/-innen und Personal zum Ziel hat, konnten wir jedoch aufrechterhalten. Der Startschuss für die ersten obligatorischen klinischen Audits ist dieses Jahr gefallen: 23 Betriebe für Radiologie, Strahlentherapie, Nuklearmedizin und interventionelle Kardiologie kamen in den Genuss dieses innovativen Peer-Review-Systems. Weitergeführt wurde auch der Aktionsplan Radiss. Dieser sieht insbesondere vor, hochradioaktive Quellen wo möglich durch alternative Technologien zu ersetzen. Der Aktionsplan Radium soll aufgrund der pandemiebedingten Verzögerungen bis 2023 verlängert werden.

2021 lancierte das BAG das Radiation Portal Switzerland (RPS) zur Bearbeitung aller Bewilligungen im Strahlenschutz. Mit diesem neuen Online-Portal haben wir unsere Digitalisierungsstrategie um eine wichtige Etappe vorwärtsgebracht. 2022 werden alle Betriebe Zugang zur Plattform erhalten und ihre Transaktionen mit dem BAG elektronisch abwickeln können.

Um unserer Aufgabe, die Radioaktivität in der Umwelt zu überwachen, wirksam nachzukommen, betreiben wir Messnetze und ein akkreditiertes Labor. Im diesjährigen Interview erklärt Sektionsleiterin Sybille Estier, welche Aufgaben und Herausforderungen damit konkret verbunden sind. Im Berichtsjahr waren keine anormalen Werte zu verzeichnen. 2021 stand zudem auch im Zeichen des bedauerlichen zehnten Jahrestags des Atomunfalls in Fukushima. Die Lehren daraus trugen zu verbesserten Vorsorgemassnahmen für radiologische Notfallsituationen in der Schweiz bei. Es ist wichtig, dieses Dispositiv erneut zu bewerten, diesmal mit Blick auf die Erfahrungen aus der Pandemie.

Im Auftrag des Bundesrates hat das BAG 2021 ein Projekt zur Teilrevision des Strahlenschutzgesetzes initiiert. Die Hauptziele sind, das Verursacherprinzip zu konkretisieren, beispielsweise für die Finanzierung der Verteilung von Jodtabletten an die Bevölkerung, und die notwendigen Bestimmungen zum Datenschutz festzulegen. Nicht betroffen sind hingegen die Grundprinzipien des Strahlenschutz-

systems, auf denen die 2018 revidierten Verordnungen beruhen. Eine öffentliche Konsultation ist für Anfang 2023 vorgesehen.

Im Bereich nichtionisierende Strahlung und Schall wurde 2021 die neue Gesetzgebung weiter umgesetzt, namentlich haben wir eine Richtlinie für die Solarienbetreiber erarbeitet, die ab 2022 zu Alterskontrollen verpflichtet sind (Mindestalter 18 Jahre). Schliesslich haben wir unsere ersten Kontrollen vor Ort bei Veranstaltungen mit Lasershows durchgeführt.

Ab dem 1. Januar 2022 wird die Abteilung Strahlenschutz dem neuen Direktionsbereich Gesundheitsschutz des BAG angegliedert. Dieser umfasst die Abteilungen Biomedizin, Chemikalien und Strahlenschutz und ersetzt den Direktionsbereich Verbraucherschutz. Ich wünsche der neuen Leiterin Andrea Arz de Falco bei dieser Gelegenheit viel Erfolg und danke dem ehemaligen Leiter Roland Charrière, der in Pension gegangen ist, ganz herzlich für seine visionäre, menschliche und engagierte Führung.

Nun wünsche ich Ihnen eine spannende Lektüre.

Sébastien Baechler



Impressum

Konzeption, Redaktion und alle
nicht gezeichneten Texte: BAG
Alle nicht gezeichneten Fotos: BAG

Grafiken & Layout:
Heyday Konzeption und Gestaltung
Copyright: BAG, Mai 2022

Abdruck mit Quellenangabe erwünscht:
«Strahlenschutz BAG; Jahresbericht 2021»

Weitere Informationen und Bezugsquellen:
Bundesamt für Gesundheit BAG,
Direktionsbereich Gesundheitsberufe
und Verbraucherschutz

Abteilung Strahlenschutz
CH-3003 Bern
Tel. +41 (0)58 462 96 14
str@bag.admin.ch
www.bag.admin.ch, www.str-rad.ch

Bestellen Sie unseren kostenlosen
Verbraucherschutz-Newsletter.
[Newsletter Verbraucherschutz](#)

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern
www.bundespublikationen.admin.ch
BBL-Bestellnummer: 311.326.d

ISBN: 978-3-033-07889-5

Inhalt

Editorial	2
Impressum	4
Inhalt	5
Eine zuverlässige Überwachung bedingt ein breites Spektrum an Kompetenzen	6
Strahlenschutz in Medizin und Forschung	11
Aktionsplan zur radiologischen Sicherung und Sicherheit «Radiss»	29
Radiologische Ereignisse	32
Scharfe Augen trotz jahrelanger Arbeit mit Durchleuchtungsgeräten	40
Bessere Lebensqualität bei Krebskranken dank Innovation in der Nuklearmedizin	44
Aktionsplan Radium 2015–2022	51
Start des Aktionsplans Radon 2021–2030	55
NORM: Natürlich radioaktive Materialien	58
Überwachung der Umwelt	61
Intervention in einem radiologischen Notfall	65
Gesundheitsschutz vor nichtionisierender Strahlung und Schall	68
Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung	73
Internationale Zusammenarbeit	80
Rechtsgrundlagen	83
Abteilung Strahlenschutz — Aufgaben und Organisation	85

Eine zuverlässige Überwachung bedingt ein breites Spektrum an Kompetenzen

Vor 35 Jahren erteilte der Bundesrat dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) den Auftrag, die Radioaktivität in der Umwelt zu überwachen. Sybille Estier, Leiterin der Sektion Umweltradioaktivität (URA), erzählt im Gespräch, wie sich diese Überwachung seit Tschernobyl entwickelt hat und worin die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen bestehen. Die wichtigsten Ergebnisse der Umweltüberwachung für das Jahr 2021 sind ab Seite 61 dieses Berichts zu finden.

Sybille Estier, welchen Einfluss hatte die Nuklearkatastrophe von Tschernobyl im Jahr 1986 auf die Überwachung der Umweltradioaktivität in der Schweiz?

Zum Zeitpunkt des Unfalls in Tschernobyl waren die Frühwarnstationen in der Schweiz mit Aerosolsammlern und Geigerzählern ausgestattet. Selbst dieses heute archaisch anmutende System identifizierte damals die eintreffende radioaktive Wolke problemlos und löste lokal einen akustischen Alarm aus.

Nach der Katastrophe von Tschernobyl erlebte die Überwachung der Umweltradioaktivität in der Schweiz einen Schub: Kurz darauf wurde das erste automatische Netz zur Messung der Radioaktivität in der Luft (RADAIR) installiert. Damit konnte bei einem Anstieg der Radioaktivität künstlichen Ursprungs aufgrund einer Bedrohung aus dem Ausland Alarm geschlagen werden. 1987 erfolgte die Revision der Strahlenschutzverordnung und das BAG erhielt den Auftrag zur Überwachung der Umweltradioaktivität, insbesondere mit dem Betrieb eines Messlabors.

Das automatische Netz zur Messung der Radioaktivität in der Luft wurde in den letzten Jahren vollständig erneuert. Weshalb?

Nach der Katastrophe von Fukushima beschloss der Bundesrat, das automatische Messnetz zur Überwachung der Radioaktivität in der Luft

(URAnet aero) zu modernisieren und auf die Überwachung von Flüssen (URAnet aqua) auszuweiten. Die Erfahrungen aus Fukushima haben gezeigt, dass sich selbst in technologisch hochentwickelten Ländern schwere nukleare Störfälle ereignen können. Kontaminiertes Wasser stellt dabei eine grosse Herausforderung dar.

Das URAnet-Messnetz ist vollständig digitalisiert. Es erkennt und misst Radionuklide in der Umgebung und erzeugt einen Alarm, wenn die festgelegten Schwellenwerte überschritten werden. Ausserdem ist es mit dem Netz von MeteoSchweiz verbunden. Dies ermöglicht einen automatisierten Datentransfer zwischen verschiedenen Behörden und eine permanente Veröffentlichung der Messergebnisse auf www.radenviro.ch. Damit wird dem grossen Interesse der Öffentlichkeit und der Medien, das auch bei der Katastrophe von Fukushima zu beobachten war, Rechnung getragen.

Zusätzlich zum automatischen URAnet-Messnetz führt das BAG selbst sehr genaue Messungen zur Radioaktivität in der Luft durch. Können Sie uns dies genauer erklären?

Die Messung der Radioaktivität in Aerosolen in der Luft gehört zu unseren Spezialgebieten. Wir betreiben dafür sechs Stationen mit sogenannten Hochvolumen-Aerosolsammlern (High-Volume-Sampler, HVS). Eine davon befindet sich übrigens auf dem Dach des

ehemaligen BAG-Gebäudes in Liebefeld-Bern. Die Filter der HVS-Stationen wechseln wir wöchentlich und analysieren sie mit einem Gammaskpektrometer in unserem Labor (Abb. 1). Diese hochempfindlichen Messungen ergänzen, gemäss den EU-Empfehlungen, das automatische Messsystem und helfen uns, die Strahlendosis der Schweizer Bevölkerung richtig einzuschätzen. Die Messungen sind so präzise, dass auch kleinste Spuren von Radioaktivität identifiziert werden, wie etwa das Jod-131, das nach der Katastrophe von Fukushima die halbe Welt durchquert hatte.

Welche Ziele hat das neue Projekt MURAIL?

Bei einem Reaktorunfall ist die Überwachung der Radioaktivität in grosser Höhe wichtig, denn dorthin gelangt die Radioaktivität zuerst. Bisher konnte die Radioaktivität von Aerosolen in sehr grosser Höhe mithilfe von Tiger-Flugzeugen der Schweizer Armee analysiert werden, die mit speziell entwickelten Geräten entsprechende Proben sammelten. Die Tiger-Flugzeuge werden nun aber schrittweise aus dem Verkehr gezogen. Damit die Analysen weiterhin zu vertretbaren Kosten verfügbar sind, arbeiten wir im Rahmen des MURAIL-Projekts an einer alternativen Lösung (Messsystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Höhenluft). Vorgesehen ist eine neue HVS-Station auf dem

Jungfrauoch mit einer automatisierten Filteranalyse durch Gammaskpektrometrie direkt vor Ort. 2022 werden wir einen entsprechenden Antrag an den Bundesrat richten.

Welche Analyseergebnisse haben Sie in den letzten Jahren am meisten überrascht?

Wir erlebten 2017 eine ziemlich mysteriöse Situation: Einige Tage lang wurden Spuren von Ruthenium-106 in der Atmosphäre mehrerer europäischer Länder und auch in der Schweiz nachgewiesen. Die Herkunft war unbekannt und es wurde nie offiziell ein Vorfall gemeldet. Internationalen Ermittlungen zufolge soll das Ruthenium-106 aus einer Wiederaufbereitungsanlage für Kernbrennstoffe in Majak im südlichen Ural stammen. Dieser Fall zeigt, wie wichtig es ist, die Umwelt zu überwachen und transparent zu kommunizieren, da Radioaktivität an den Grenzen nicht Halt macht!

Was halten Sie von der aktuellen Tendenz, Labore zu fusionieren oder sogar zu schliessen, insbesondere in der Bundesverwaltung?

Es wäre schwierig, alle in der Schweiz für die Messung der Umweltradioaktivität erforderlichen Kompetenzen in einem einzigen Labor zu vereinen. Wir arbeiten daher eng mit anderen Organisationen zusammen, z. B. mit



Abb. 1
Zyklus der Hoch-Volumen-Aerosolsammler (High Volume Sampler, HVS)

dem Institut für Strahlenphysik des Universitätsspitals Lausanne (CHUV) oder dem Labor Spiez, die beide ein umfangreiches Fachwissen über Strahlenchemie haben. Wir profitieren auch von den Proben, die das Bundesamt für Umwelt aus Flüssen entnimmt, oder von Analysen der Kantone, insbesondere für Lebensmittel. Diese Synergien sind wertvoll, da wir Ressourcen sparen und gleichzeitig ein breites Spektrum an hochwertigen Kompetenzen bereitstellen können.

Weitere Vorteile von mehreren Standorten liegen auf der Hand: Wenn ein Labor kontaminiert wird, kann auf die anderen Standorte zurückgegriffen werden. Zudem können wir bei einem Strahlenunfall ausreichend schnell reagieren. Unsere Abteilung verfügt über ein grosses Reservoir an hochspezialisierten Mitarbeitenden, mit denen wir unsere Messkapazitäten in einem solchen Fall sofort ausbauen könnten.

Wie stellen Sie die Qualität Ihrer Analysen sicher?

Unser Labor ist gemäss ISO-Norm 17025 für die Messung von Radioaktivität in Umweltproben akkreditiert, seit 2021 auch für die Probenahme. Fünf bis zehn Mal pro Jahr nehmen wir an international organisierten Vergleichsmessungen zu verschiedenen Umweltmatrizen teil. Derzeit arbeiten wir auch an der Einführung eines Systems zur kontinuierlichen Qualitätsverbesserung beim Betrieb des Messnetzes URAnet.

Nutzt das BAG das Analyzelabor nur für die Umweltüberwachung oder auch für weitere Aufgaben?

Unser Labor ist unverzichtbar bei den Vollzugs- und Überwachungsaufgaben der gesamten Abteilung Strahlenschutz. Zum Beispiel können wir stichprobenweise die Messergebnisse für die Freigabe kontrollieren, die bewilligungspflichtige Unternehmen durchführen. Ohne das Labor hätten wir den «Aktionsplan Radium» niemals starten können, denn die Diagnose- und Sanierungsverfahren beinhalten auch die Entnahme von Bodenproben oder Wischtests, wenn Kontaminationen festgestellt werden (Seite 51). Seit Sommer 2021 wirken wir auch an der Bewältigung der COVID-19-Krise mit: Wir bereiten im Labor die Speichelproben für die gepoolten PCR-Tests vor, die das BAG seinem Personal täglich zur Verfügung stellt.

Wo liegen die künftigen Herausforderungen?

Gemäss den bisherigen Erfahrungen erfolgten die grössten Fortschritte bei der Überwachung der Umweltradioaktivität als Reaktion auf Katastrophen wie Tschernobyl und Fukushima. Meiner Meinung nach besteht unsere grösste Herausforderung darin, langfristig eine proaktive Überwachung auch dann sicherzustellen, wenn es keine schweren Unfälle gibt.



Sybille Estier schloss 2001 ihr Doktorat in experimenteller Physik ab. Sie ist seit 2002 beim BAG tätig und seit 2007 Leiterin der Sektion Umweltradioaktivität. Seit 2014 ist sie zudem Stellvertreterin des Abteilungsleiters Strahlenschutz. Sybille Estier ist verheiratet und Mutter einer kleinen Tochter.

Strahlenschutz in Medizin und Forschung

Das Prinzip der nach Risiko abgestuften Vorgehensweise im Strahlenschutz entspricht der etablierten Aufsichtspraxis des BAG, die sich im Wesentlichen auf hohe Strahlendosen und Risiken konzentriert. Darauf basierend legt das BAG seine Aufsichtsschwerpunkte in der Medizin für die kommenden Jahre fest. Das Aufsichtsprogramm in der Medizin und die wesentlichen Eckpfeiler werden nachfolgend vorgestellt.

Herausforderungen und Aufsichtsprogramm in der Medizin

Grundsätze der Aufsichtstätigkeit

Als zuständige Strahlenschutzbehörde bewilligt das BAG den Umgang mit radioaktiven Stoffen und Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung und beaufsichtigt deren Anwendungen. Aktuell verwaltet das BAG über 20 000 aktive Bewilligungen in der Medizin. Die Aufsichtsstrategie folgt dem Grundsatz einer nach Risiko abgestuften Vorgehensweise (*graded approach*) gemäss Strahlenschutzverordnung (StSV), Artikel 8. Das BAG prüft stichprobeweise und abgestuft nach Gefährdungspotenzial, ob die Vorschriften eingehalten werden und der Strahlenschutz gewährleistet ist (StSV Art. 187). Der Aufsichtsschwerpunkt liegt auf radiologischen Anwendungen mit hohen Strahlendosen und Risiken für die Patientinnen und Patienten, das Personal sowie die Bevölkerung. Entsprechend beaufsichtigt das BAG die betroffenen medizinischen Betriebe regelmässig vor Ort. Der direkte Kontakt mit den Fachpersonen vor Ort bewirkt einen konkreten und nutzbringenden Strahlenschutz. Die Aufsicht über radiologische Anwendungen mit kleinen Strahlendosen und Risiken, wie sie etwa

in der Zahnmedizin und im Hausarztbereich eingesetzt werden, erfolgt vorwiegend über administrative Massnahmen und nur stichprobeweise mit Inspektionen vor Ort. Das BAG orientiert sich in seiner Aufsichtstätigkeit stark an den Resultaten der regelmässigen Erhebungen zur Bestimmung der Anzahl durchgeführter röntgendiagnostischer und nuklearmedizinischer Untersuchungen sowie der Höhe der damit verbundenen Strahlenbelastungen (www.bag.admin.ch/str-monitoring). Mit seinem Aufsichtsprogramm in der Medizin verfolgt das BAG das Ziel, unnötige bzw. zu hohe Strahlenexpositionen für die Patientinnen und Patienten, das Personal sowie die Bevölkerung zu vermeiden und das Risiko für medizinische Strahlenereignisse zu minimieren. Diese Ziele decken sich auch mit den Stossrichtungen, die der Bundesrat in der Strategie Gesundheit2030 definiert hat.

Herausforderungen

Strahlenschutz der Patientinnen und Patienten

Technologische Innovationen in der Medizin finden äusserst schnell statt. Die immer komplexeren Anwendungen und die Verwendung neuer radioaktiver Tracer führen zu erhöhten Anforderungen an den Strahlenschutz und die Sicherheit der Anlagen. In den letzten Jahren haben bewährte Optimierungsmassnahmen wie

etwa die Anwendung diagnostischer Referenzwerte (DRW) zu einer deutlichen Reduktion der Strahlenbelastung für Patientinnen und Patienten geführt. Bei der Durchführung von Untersuchungen müssen optimierte Protokolle eingesetzt werden, um eine bestimmte klinische Fragestellung mit der kleinstmöglichen Dosis beantworten zu können (die richtige Dosis für die richtige Fragestellung). Immer wichtiger wird auch die Überprüfung der Rechtfertigung von Strahlenanwendungen, um jede unnötige Untersuchung bzw. Behandlung mit ionisierender Strahlung zu vermeiden. Dies trägt gleichzeitig zu einer Kostensenkung im Gesundheitswesen bei. Strahlenschutz ist auch ein wichtiges Thema beim Kindes- und Jugendschutz, weil das potentielle Risiko einer strahleninduzierten Krebserkrankung bei Kindern und Jugendlichen im Vergleich zu Erwachsenen deutlich erhöht ist. Umso wichtiger sind die konsequente Überprüfung der Rechtfertigungspraxis und die Verwendung optimierter, altersabhängiger Untersuchungsprotokolle. Es ist unbestritten, dass der Strahlenschutz zu einer stetigen Verbesserung der Qualität radiologischer Leistungen und der Patientensicherheit beitragen wird und das BAG als Aufsichts- und Bewilligungsbehörde eine wichtige Rolle spielen soll.

Strahlenschutz des Personals

Die Überwachung des beruflich strahlenexponierten Personals erfolgt primär mittels Personendosimetrie. Im Falle von erhöhten Dosen klärt das BAG die Ursachen ab, falls notwendig auch vor Ort, und fordert Optimierungsmassnahmen. Die Herausforderungen liegen bei hohen zu erwartenden Strahlendosen, wie etwa in der interventionellen Radiologie und Kardiologie sowie beim Umgang mit Radionukliden in der Nuklearmedizin. Auch bei durchleuchtungsgestützten Untersuchungen im OP-Bereich soll die Qualität des Strahlenschutzes durch eine Vor-Ort-Aufsicht des BAG weiter verbessert werden. Bezüglich der Strahlenbelastung der Augenlinsen muss die Genauigkeit der Abschätzung mittels Personendosimeter und die Umsetzung der nötigen Schutzmassnahmen optimiert werden.

Strahlenschutz der Bevölkerung

Der Einsatz neuer radioaktiver Tracer in der Nuklearmedizin erfordert zusätzliche Massnahmen: Die Überwachung der Abgabe an die Umwelt und die Abfallbewirtschaftung der ausgeschiedenen Radionuklide entlassener Patienten müssen genau im Auge behalten werden, insbesondere weil die Anzahl der Patienten, die von diesen neuen Therapien profitieren, stetig steigt.

Aufsichtsprogramm: Schwerpunkte für die kommenden Jahre

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, unterhält das BAG ein Aufsichtsprogramm, aus dem sich die Aufsichtsschwerpunkte für die kommenden Jahre ableiten. Themenbezogene Aufsichtsschwerpunkte liegen vor allem bei Anwendungen im hohen und mittleren Dosisbereich. Ein neuer Schwerpunkt ist die Aufsicht über Anlagen für die dreidimensionale Bildgebung im operativen und interventionellen Bereich (sogenannte Cone-Beam-CT-Systeme). Zudem soll auch auf die radiotherapeutischen Betriebe inklusive der Protonen-Therapie ein spezielles Augenmerk gerichtet sein. Die Aufsicht in den OP-Bereichen liegt weiterhin im Fokus und in der Nuklearmedizin werden Strahlenschutz-Audits für das Personal sowie Patientinnen und Patienten bei Betrieben mit PET- und SPECT-CT Anwendungen weitergeführt. Für Anwendungen im niedrigen Dosisbereich in Zahnarzt- und Hausarztpraxen wird das BAG neben einer administrativen Aufsicht auch eine stichprobeweise Aufsicht vor Ort durchführen.

Dazu erfolgt eine regelmässige Präsenz des BAG in den Spitälern und radiologischen Instituten und die Durchführung von ereignisbezogenen Inspektionen.

Die seit 2020 eingeführten obligatorischen klinischen Audits in der Radiotherapie, Nuklearmedizin, Computertomografie und bei interventionellen radiologischen Anwendungen (Kardiologie) werden weitergeführt. Sie haben unter anderem zum Ziel, die Anzahl ungerechtfertigter Untersuchungen und Behandlungen zu minimieren.

Die Aufsichtsschwerpunkte in der Medizin:

- Evaluation des Strahlenschutzes in allen radiotherapeutischen Betrieben
- Evaluation des Strahlenschutzes bei Anwendungen mit Cone-Beam-CT-Systemen
- Evaluation des Strahlenschutzes bei medizinischen Anwendungen mit hoch radioaktiven geschlossenen Strahlenquellen
- Evaluation des Strahlenschutzes in Gruppenpraxen und Ärztenetzwerken
- Überprüfung der Anwendung neuer DRW in der Mammographie
- Prüfung von Qualitätsmanagementprozessen in grossen Spitälern
- Optimierung der Exposition des Personals, insbesondere der Augenlinse, bei interventionellen radiologischen Anwendungen
- Umgang mit radioaktiven Abfällen und Evaluation der Kriterien für die Entlassung von Therapiepatienten in der Nuklearmedizin
- Evaluation des Strahlenschutzes für das Personal sowie Patientinnen und Patienten bei Hybrid-Systemen in der Nuklearmedizin
- Evaluation der Strahlendosis in der Pädiatrie in der Nuklearmedizin
- Überprüfung der Vorbereitung und Qualitätskontrolle von Radiopharmaka
- Minimierung der Extremitätendosen des Personals bei nuklearmedizinischen Anwendungen
- Überprüfung der Umsetzung der Aus- und Fortbildungskonzepte im Strahlenschutz

Highlights der Aufsichtstätigkeiten 2021

PET-Bildqualität und Optimierung der Patientenexposition

Die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) in Verbindung mit der Computertomographie (CT) ist eine etablierte quantitative Bildgebungstechnik, die eine wichtige Rolle in der klinischen Onkologie spielt. Die Anzahl Geräte und Untersuchungen nehmen in der Schweiz laufend zu. Obwohl die Technik der PET-CT-Geräte stetig verbessert wird, gelten PET-CT-Untersuchungen als dosisintensiv. Das BAG als Bewilligungs- und Aufsichtsbehörde sucht deshalb laufend nach Dosisoptimierungen, um die Strahlenbelastung der Patientinnen und Patienten möglichst gering zu halten und trotzdem eine optimale Bildqualität für die Diagnostik zu gewährleisten.

Aus diesem Grund hat das BAG das Luzerner Kantonsspital beauftragt, die Optimierung der Untersuchungsqualität an in der Schweiz betriebenen PET-CT-Geräten zu untersuchen. Vorgesehen sind Untersuchungen mit Körperphantomen an den einzelnen PET-CT-Geräten, um die Bildqualität in Bezug auf die applizierte Aktivität und den Gerätetyp quantitativ und qualitativ zu beurteilen. Ziel dieses Projekts ist die Herausgabe gerätespezifischer Empfehlungen zur Dosisoptimierung unter Berücksichtigung einer adäquaten Bildqualität.

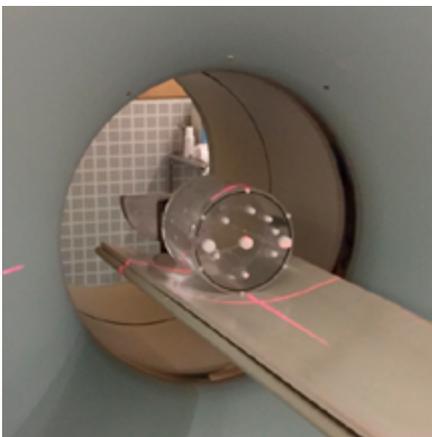


Abb. 2
PET-CT Phantommessung
zur Qualitätssicherung

Aufsichtsbereich Radiopharmazeutika

Am Jahresanfang mussten aufgrund von Änderungen im Heilmittelgesetz alle bisher auf Basis einer befristeten Vertriebsbewilligung (BVB) hergestellten und angewendeten Radiopharmazeutika auf die Herstellung und Anwendung gemäss Anhang 1 der Arzneimittelverordnung (VAM) umgestellt werden. Dazu müssen alle anwendenden Institute, die keinen eigenen radiopharmazeutischen Herstellungsbetrieb haben, einen Lohnherstellungsvertrag mit einem oder mehreren Herstellern abschliessen, um die Verantwortlichkeiten klar zu regeln und die Herstellung zu ermöglichen. Da dies für die meisten Institute und Hersteller eine neue Herausforderung darstellte, war das BAG hier beratend gefordert.

Im Februar 2021 konnte zusätzlich eine Revision des Anhangs 1 VAM in Kraft gesetzt werden, die federführend vom BAG bearbeitet worden war und drei Erweiterungen beinhaltete. Der Bereich der zulassungsbefreiten Anwendung von Radiopharmazeutika wurde damit bedeutend ausgeweitet.

Im Laufe des Jahres wurden ungewöhnlich viele klinische Studien mit Radiopharmazeutika beantragt (insbesondere mit den Isotopen Lutetium-177, Gallium-68 und Fluor-18). Der zunehmende Trend der letzten Jahre setzte sich damit fort. Es handelte sich dabei sowohl um in der Schweiz hergestellte neue Wirkstoffe für den therapeutischen als auch den diagnostischen Einsatz, aber auch um Studien zur Erforschung von neuen Indikationen für die Anwendung von bereits bekannten Radiopharmazeutika. Die Studienanträge kamen dabei sowohl von der Industrie als auch akademischen Institutionen. Das BAG gibt zu den Anträgen jeweils Stellungnahmen zuhanden von Swissmedic ab, beantwortet bei Bedarf aber auch Anfragen der Antragsteller direkt.

Im Bereich der Zulassungen konnten nach eingehender Prüfung und auf Empfehlung der Fachkommission für Radiopharmazeutika zwei Zustimmungen für Technetium-99m-basierte Diagnostika erteilt werden.

Wegleitung für die Qualitätssicherung an CBCT-Systemen

Cone-Beam-Computertomografiesysteme (CBCT-Systeme) erzeugen dreidimensionale (3D) Röntgenbilder. Sie kommen seit einigen Jahren in der Neurochirurgie, der Orthopädie oder der Traumatologie verstärkt zur Anwendung. Neben ihren unterschiedlichen Einsatzbereichen weisen CBCT-Systeme auch erhebliche technische Unterschiede auf. Diese Umstände sind mitverantwortlich, dass einheitliche nationale und internationale Richtlinien zur Qualitätssicherung fehlen. Das BAG hat deshalb zusammen mit dem IRA (Institut de radiophysique, Lausanne) und den Herstellerfirmen Mindestanforderungen für die Qualitätssicherung an CBCT-Systemen definiert. Sie sollen als einheitliche Richtlinie dienen und die unterschiedlichen Systemtypen berücksichtigen. Diese Mindestanforderungen sollen 2022 als Wegleitung publiziert und in Kraft gesetzt werden.

Anpassung der Anforderungen an medizinische Befundmonitore

Die Digitalisierung der radiologischen Bildgebung umfasst die gesamte Bildverarbeitungskette, ausgehend von der Bildentstehung via Bildempfangssystem und die Bildprozessierung bis zur Bildwiedergabe mit der erforderlichen diagnostischen Abbildungsqualität. Eine korrekte Befundung von Röntgenbildern ist dabei abhängig von der Qualität der Monitorsysteme und den lichtspezifischen Umgebungsbedingungen im Raum.

Die Durchführung qualitätssichernder Massnahmen an Bildwiedergabesystemen (sogenannte Befundmonitore) ist bewilligungspflichtig (Art. 9 Bst. g StSV). Die Massnahmen umfassen einerseits die Abnahmeprüfung vor der Übergabe zum Betrieb und andererseits die periodischen Zustandsprüfungen. Das BAG hat die bestehenden Regelungen zu den Minimalanforderungen und zur Durchführung der technischen Prüfungen an diesen Systemen an die technische Entwicklung angepasst und im Berichtsjahr in einer neuen Wegleitung definiert. Sie gilt für Befundmonitore, die seit dem 1. Februar 2021 in Betrieb genommen wurden. Für bestehende Befundmonitore gelten bis zum 31. Dezember 2024 besondere Übergangsregelungen.

Klinische Audits im Strahlenschutz nun in der ganzen Schweiz!

2021 wurden die klinischen Audits im Strahlenschutz schweizweit erfolgreich eingeführt. Sie sind seit 2020 für alle medizinischen Einrichtungen (Spitäler, Kliniken, Institute) vorgeschrieben, die Anlagen für Computertomographie, Radioonkologie oder Nuklearmedizin betreiben oder interventionelle Radiologie anwenden. Die Pandemie hatte die Umsetzung der Audits jedoch verzögert.

Ziel der klinischen Audits im Strahlenschutz ist es, die Qualität der Gesundheitsversorgung zu verbessern und den Schutz des medizinischen Personals sicherzustellen. Umgesetzt werden sie in einem Peer-Review-System. Im Jahr 2021 kamen 23 Betriebe aus der Kardiologie, Nuklearmedizin, Radiologie und Strahlentherapie in den Genuss einer unabhängigen Expertise von 71 externen Auditorinnen und Auditoren.

Jedes Auditteam besteht in der Regel aus einer Ärztin bzw. einem Arzt, einer Medizinphysikerin bzw. einem Medizinphysiker und einer Radiologiefachfrau bzw. einem Radiologiefachmann (MTRA). Am Ende des Audits, das maximal einen Tag dauert, legt das Auditteam der geprüften Abteilung seine Empfehlungen vor.

Die Qualität der Durchführung dieser ersten obligatorischen Audits wird 2022 evaluiert, um sicherzustellen, dass sie einen Mehrwert für das Gesundheitssystem schaffen.

Weiterführende Informationen sind auf der umfassend neu gestalteten Webseite www.klinischeaudits.ch zu finden.

(www.auditclinique.ch, www.auditclinico.ch)

Aufsicht im Wandel

Das BAG führte zwischen 2016 und 2018 den Aufsichtsschwerpunkt «Audits im OP-Bereich» durch. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Strahlenschutz-Organisation in den Spitälern die Strahlenschutzkultur qualitativ beeinflusst. Es zeigten sich in allen Betrieben ähnliche Probleme und Auswirkungen. Das BAG als Aufsichtsbehörde hat für die Beratung der Betriebe einen innovativen Ansatz gewählt.

Informationen und Unterstützung statt Massnahmenkataloge:

Bereits bei der OP-Kampagne schlug die Abteilung Strahlenschutz neue Wege ein: Die Audits liefen nicht im klassischen Sinn als technisches Audit ab – das BAG traf die betroffenen Personengruppen in ihren Arbeitsbereichen und konfrontierte sie direkt mit dem Thema. Dabei hatte jede Berufsgruppe die Möglichkeit, Fragen zu stellen und anwenderbezogene und praxisorientierte Informationen zu erhalten. Den Verantwortlichen brachte man in Gesprächen die Neuerungen der Strahlenschutzverordnung nah, setzte sich mit den internen Gegebenheiten auseinander und unterstützte diese bei der Umsetzung der Massnahmen. Eine Darstellung der internen Organisation in einem Strahlenschutz-Organigramm hilft, die Verantwortlichkeiten und Aufgabenverteilungen transparent zu halten und Ressourcenmangel festzustellen. Weisungen sollen Informationen liefern und eine Einheitlichkeit in den Prozessen garantieren. Sie sollten nicht nur dem Spital und deren Beschäftigten, sondern auch der Behörde als Arbeitsinstrument dienen.

Das Entstehen einer Strahlenschutzkultur kann das BAG allerdings nur bedingt vortreiben:

Diese muss sich bei den Sachverständigen, den Anwenderinnen und Anwendern und dem exponierten Personal entwickeln, die Behörde unterstützt aber vollumfänglich. Weitere Akteure sind die Bewilligungsinhaberinnen und -inhaber, die Strahlenschutzfachstellen oder externe Medizinphysiker und -physikerinnen, die Fachgesellschaften, Ausbildungsstätten und nicht zuletzt die Fachfirmen, die hierbei involviert werden müssen und deren Verantwortung nicht zu unterschätzen ist. Um diesen Prozess zu unterstützen, berät das BAG die Strahlen-

schutz-Verantwortlichen der einzelnen Spitäler vor Ort, um die Organisation und Dokumentation unter Einbezug von deren individuellen klinischen Strukturen zu optimieren. Auch unterstützt es das Personal bei der Optimierung der Best Practice-Anwendungen und verknüpft die Zusammenarbeit der oben genannten Beteiligten.

Ebenfalls zu diesem Zweck organisierte die Abteilung Strahlenschutz 2021 einen Seminartag für die Verkaufs- und Applikationsspezialisten der Firmen, die Röntgengeräte für den operativen und interventionellen Bereich verkaufen oder betreuen. Ziel der Veranstaltung war die einheitliche Information seitens Behörde und aufzuzeigen, wie wichtig eine gezielte und anwenderbezogene Beratung und Betreuung ist.

Wie könnte man Strahlenschutzkultur also definieren?

Es müssen alle beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz, ihrem Verantwortungsbereich und/oder Wirkungsbereich entsprechend, informiert, sensibilisiert und instruiert sein, um in der Praxis den Schutz von Patientinnen und Patienten, Personal sowie Drittpersonen sicherzustellen. Hierbei spielt es keine Rolle, ob es sich um Fachpersonal einer Radiologie oder um externe Personen handelt. Alle Themen sind strukturiert in die klinischen Abläufe integriert und geregelt. Verantwortungen können und werden wahrgenommen und die konstruktive Zusammenarbeit zwischen allen Akteuren funktioniert.

Überwachung strahlenexponierter Personen

2021 waren in der Schweiz total ca. 104'000 Personen beruflich strahlenexponiert. Etwa zwei Drittel davon arbeiten in der Medizin. Die Bereiche mit den höchsten Jahresdosen waren die Nuklearmedizin und die interventionelle Radiologie (Kardiologie). Rund 9'000 Personen waren durch ihre Tätigkeit an Bord von Flugzeugen beruflich strahlenexponiert.

Im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit untersucht das BAG in den Bereichen Medizin und Forschung alle Ganzkörper- und Augenlinsendosen über 2 mSv im Monat, sowie alle Extremitäten-

dosen über 50 mSv. Die meisten erhöhten Werte gab es im Berichtsjahr bei der Augenlinsendosis, wo mehrere Personen, die mit Durchleuchtungsgeräten arbeiteten, den Jahresgrenzwert von 20 mSv überschritten (vgl. Kapitel Radiologische Ereignisse, Seite 33). Eine zuverlässige Bestimmung der Augenlinsendosis stellt nach wie vor eine Herausforderung für die Spitäler dar. Deshalb hat das BAG die Schweizerische Gesellschaft für Strahlenbiologie und Medizinische Physik (SGSMP) gebeten, Empfehlungen zur Augenlinsendosimetrie zu erarbeiten. Der Schlussbericht der dafür gebildeten Arbeitsgruppe wurde im Dezember 2021 auf der Website der SGSMP veröffentlicht und ist auch beim BAG verfügbar (bag.admin.ch/dosimetrie). Die Empfehlungen werden nun in eine Wegleitung einfließen, die das BAG zurzeit erarbeitet (vgl. auch das Kapitel «Scharfe Augen trotz jahrelanger Arbeit mit Durchleuchtungsgeräten», Seite 40).

Das BAG publiziert im Jahresbericht «Dosi- metrie der beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz» ausführlichere Informationen über die akkumulierten Dosen (www.bag.admin.ch/dosimetrie-jb).



Abb. 3
Am 29. November 2021 fand der 4. Nationale Strahlenschutztag zum Thema Nuklearmedizin als Online-Veranstaltung mit über 90 Fachexpertinnen und Fachexperten statt.

4. Nationaler Strahlenschutztag: Thema Nuklearmedizin

Am 29. November 2021 hat der 4. Nationale Strahlenschutztag zum Thema Nuklearmedizin als Online-Veranstaltung mit über 90 Fachexpertinnen und Fachexperten stattgefunden. Die Themenbereiche «*Lessons Learnt*», «*Audits*» und «Neue Therapien» standen im Vordergrund. So wurden aktuelle Herausforderungen bei der Entsorgung von Abfällen aus der Nuklearmedizin aus Sicht einer Kehrrechtverbrennungsanlage und eines Spitals vorgestellt. Zudem wurden uns erste Erfahrungen aus den klinischen Audits aus Sicht eines auditierten Betriebs vermittelt. Am Nachmittag gab es einen Einblick in die Entwicklung neuer Therapien. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer haben so einen Überblick über verschiedene aktuelle Themen erhalten, die über den täglichen Betrieb hinausgehen. Trotz kurzfristiger organisatorischer Anpassungen war der Tag ein grosser Erfolg.

Neues Onlineportal für Bewilligungen im Strahlenschutz intern eingeführt

Das neue Onlineportal «*Radiation Portal Switzerland*» ermöglicht als eGovernment-Tool ein effizientes, kundenfreundliches und automatisiertes Management der rund 26 000 Strahlenschutz-Bewilligungen. Künftig werden sämtliche Transaktionen zwischen BAG und den externen Betrieben elektronisch abgewickelt, so auch der Versand von Bewilligungen.

Seit März 2021 arbeiten das BAG und die Suva mit der Version *RPS 2.0*, insbesondere auch um Fehler zu eruieren und zu beheben. 2022 wird das Onlineportal in der Version *RPS 3.0* den externen Betrieben zur Verfügung stehen. Sie werden über ihren persönlichen Account auf ihre Bewilligungen zugreifen können, um so beispielsweise beim BAG Mutationen bereits bestehender Daten beantragen zu können. Mit der Einführung von *RPS 3.0* sollen auch die heutigen interaktiven PDF-Formulare für Gesuche und Meldungen im Strahlenschutz ins Onlineportal integriert werden. Weitere Informationen zum Onlineportal RPS finden Sie auf unserer Webseite: www.bag.admin.ch/str-formulare

Aus- und Fortbildung im Strahlenschutz

Personen, die Strahlenschutzaufgaben gegenüber anderen Personen wahrnehmen, müssen eine entsprechende Ausbildung und – neu – eine Fortbildung im Strahlenschutz nachweisen. Für die Strahlenschutzausbildungen und -fortbildungen in Medizin, Industrie und Forschung ist das BAG die Anerkennungsbehörde. Das BAG hat im Berichtsjahr rund 200 Gesuche um Anerkennung ausländischer Ausbildungen im Strahlenschutz und acht Gesuche für neue oder revidierte Aus- und Fortbildungen geprüft.

Fortbildung im Strahlenschutz

Angesichts der raschen Entwicklung in der Medizin ist es eine Herausforderung, das Wissen auf dem neuesten Stand zu halten. Mit der 2018 eingeführten obligatorischen Fortbildungspflicht im Strahlenschutz, die mindestens alle fünf Jahre absolviert werden muss, können allfällige Wissenslücken einfacher geschlossen werden. Die Vielfalt der Formen und Möglichkeiten hat dazu geführt, dass das Angebot an Fortbildungen in den letzten vier Jahren zunehmend gewachsen ist. Zurzeit gibt es ein breites Angebot an Fortbildungen, die auf die Bedürfnisse jeden Betriebs oder jeder Person abgestimmt sind. Hier sind einige Beispiele für mögliche Fortbildungen:

- Betriebsinterne praktische Fortbildungen
- Fortbildungskurse in Strahlenschutzschulen
- Konferenz/Seminar mit Strahlenschutzinhalten
- Fortbildung innerhalb der Fachgesellschaft

Im Rahmen dieser Fortbildungspflicht organisierte das BAG im Berichtsjahr den 4. Nationalen Strahlenschutztag in der Nuklearmedizin (vgl. Seite 17). Inzwischen gibt es auch ein Fortbildungsangebot in drei Landessprachen für Personen, die keine Grundausbildung im Strahlenschutz absolviert haben, aber bei ihrer täglichen Arbeit im Operationsbereich ionisierender Strahlung ausgesetzt sind.

Die erste Fünfjahresperiode hat mit dem Inkrafttreten der StSV am 1. Januar 2018 begonnen. Alle Personen, die bis zum 1. Januar 2018 eine Strahlenschutzausbildung nachweisen können, müssen bis zum *1. Januar 2023* eine Fortbildung im Strahlenschutz absolvieren. Weitere Informationen zur Fortbildung finden Sie auf unserer Internetseite [Fortbildung im Strahlenschutz](#). Haben Sie noch weitere Fragen zur Fortbildung? Auf der Seite [Strahlenschutz: Häufig gestellte Fragen \(FAQ\)](#) haben wir Antworten zusammengestellt.

Aufsichtsschwerpunkte Ausbildung

Um die Qualität der Ausbildung laufend zu verbessern, hat das BAG in den letzten Jahren zwei grössere Aufsichtsschwerpunkte durchgeführt.

Online-Umfrage in den Arztpraxen

Wie bereits im letzten Jahresbericht dargestellt, wurden 2019/20 sämtliche Arztpraxen mit einer bewilligten Röntgenanlage aufgefordert, Angaben zum Ausbildungsstand im Röntgen zu geben. Detaillierte Ergebnisse der Umfrage finden Sie auf der Seite [Ausbildungsstand zum Röntgen in Arztpraxen evaluiert \(admin.ch\)](#).

Im Berichtsjahr wurden die Praxen mit unvollständiger Ausbildung im mittleren Dosisbereich (z. B. Abdomen, Wirbelsäule, Becken) erneut kontaktiert, um herauszufinden, wie sie die fehlende Ausbildung nachholen. Die Auswertung läuft noch.

Um die Strahlenschutz-Sachverständigen in den Arztpraxen bei ihrer Arbeit zu unterstützen und mehr Klarheit zu schaffen, hat das BAG eine Wegleitung Aus- und Fortbildung im Strahlenschutz in der Medizin, verfügbar unter [Ärzte und Ärztinnen \(admin.ch\)](#), sowie eine Vorlage für ein Aus- und Fortbildungskonzept für die Radiologie in Arztpraxen, verfügbar unter [www.bag.admin.ch/roentgen-arztpraxen](#), entwickelt. Diese Dokumente enthalten ausführliche Informationen über die erforderliche Aus- und Fortbildung.

Erhebung der Strahlenschutz-Ausbildung von Dipl. Radiologiefachpersonen HF/FH (MTRA)

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Lehre (IML) der Universität Bern fand 2018 eine Befragung statt. Diese zeigte, wie die Schulen die Strahlenschutzthemen in der Ausbildung umsetzen und wie zufrieden die Studierenden und die Ausbildungsverantwortlichen mit der Ausbildung sind. Die Ergebnisse dieser Befragung sind auf unserer Internetseite [Evaluation der Strahlenschutzausbildung \(admin.ch\)](#) zu finden. Das BAG hat die detaillierten Ergebnisse der Erhebung im Jahr 2020 gemeinsam mit den teilnehmenden Schulen besprochen. Im Berichtsjahr hat das BAG mit den betroffenen Schulen Gespräche darüber geführt, wie die wichtigen Kompetenzen in der Ausbildung vertieft werden können, indem einzelne Module angepasst oder zusätzliche Module integriert werden.

Weitere Informationen über die Ausbildung: [Ausbildung im Strahlenschutz \(admin.ch\)](#)

Strahlenschutz am CERN

Die Europäische Organisation für Kernforschung (CERN) hat den Status einer internationalen Organisation. Das CERN ist jedoch bestrebt, dass seine internen Vorschriften im Bereich Sicherheit und Schutz vor ionisierender Strahlung gleichwertige Garantien bieten wie die nationalen Vorschriften der beiden Gastländer Frankreich und Schweiz. Im November 2010 wurde in diesem Sinne eine tripartite Vereinbarung unterzeichnet. Diese sieht regelmässige Treffen auf verschiedenen Stufen zwischen dem CERN und den Strahlenschutzbehörden der Gastländer vor (Autorité de sûreté nucléaire ASN in Frankreich und BAG in der Schweiz).

Rückblick auf zehn Jahre tripartites Abkommen

Im Jahr 2021 schlugen das BAG und die ASN vor, die Umsetzung des tripartiten Abkommens rückblickend zu beurteilen. Die drei Akteure prüften, inwieweit ihre Verpflichtungen erfüllt worden waren. Gemäss dieser Analyse wurden die meisten Bestimmungen des Abkommens dank der konstruktiven Zusammenarbeit umgesetzt. Dazu gehören etwa die Organisation gemeinsamer Inspektionsbesuche durch die ASN und das BAG, die Personendosimetrie beim Personal oder die Erteilung von Bewilligungen für die verschiedenen Arten von radioaktiven Quellen. Andere Bestimmungen wie etwa zum innerbetrieblichen Transport von radioaktiven Stoffen und zu den Modellen für die Bewertung der dosimetrischen Auswirkungen der CERN-Anlagen stehen kurz vor der Umsetzung oder befinden sich in einem fortgeschrittenen Diskussionsstadium. Im Zusammenhang mit der Genehmigung der Sicherheitsdossiers zu den Anlagen des CERN und der internen Strahlenschutzvorschriften durch die Gaststaaten haben die Akteure einen Zeitplan für die wichtigsten Anlagen vereinbart, deren Sicherheitsdossiers noch nicht validiert sind. Das CERN kündigte ausserdem an, im Rahmen eines künftigen Projekts alle internen Bestimmungen im Bereich Strahlenschutz zu überarbeiten. Es wird die ASN und das BAG auf dem Laufenden halten, sobald eine Roadmap dafür vorliegt.

Neuer Beschluss zur gleichmässigen Aufteilung radioaktiver Abfälle

Das tripartite Abkommen legt fest, dass radioaktiver Abfall aus den CERN-Anlagen in den Gaststaaten entsorgt wird. Bisher war vereinbart, dass beide Staaten jeweils die Hälfte der Abfälle entsorgen. Dies basierte auf der Radiotoxizität der Abfälle nach einer Formel, die von allen drei Parteien genehmigt worden war. Das CERN beantragte nun eine Revision des betreffenden Beschlusses aus dem Jahr 2012, um mehr Flexibilität zu erhalten. Insbesondere wollte es die Möglichkeit haben, Abfall auf dem jeweils günstigsten Weg zu entsorgen, auch wenn dies bedeutet, dass auf die strikte gleichmässige Verteilung zwischen den beiden Ländern verzichtet wird. Der neue Beschluss wird auf den Grundsätzen der Nutzung bestehender nationaler Entsorgungswege und der Minimierung von Auswirkungen, Volumen und Kosten der Abfälle beruhen. Nach den derzeitigen Prognosen dürfte die Schweiz längerfristig einen kleineren Anteil zu entsorgen haben, d. h. deutlich weniger als 50 % der radioaktiven Abfälle des CERN bezogen auf die Radiotoxizität (berechnet nach einer überarbeiteten Formel) und bezogen auf das Volumen. Es ist vorgesehen, diesen neuen Beschluss Anfang 2022 in Kraft zu setzen.

Gemeinsame Besuche im CERN

Durchschnittlich absolvieren die Vertreterinnen und Vertreter der ASN und des BAG zwei gemeinsame Besuche im CERN jährlich. Im Nachgang zu diesen Besuchen werden Empfehlungen und Beobachtungen zu möglichen Verbesserungen ans CERN gerichtet. Ein erster gemeinsamer Besuch war im Mai 2021 der Notfallvorsorge gewidmet. Die Krisenorganisation des CERN ist gut aufgestellt und wird regelmässig bei Übungen getestet. Das CERN hat für den Krisenfall auch Kommunikationsmittel eingerichtet, die insbesondere im Rahmen der Bewältigung der Gesundheitskrise im Jahr 2020 eingesetzt wurden.

Ein zweiter Besuch fand im Dezember 2021 statt und betraf die n-TOF-Anlage (*neutron time-of-flight*, eine Anlage zur Messung der Flugzeit von Neutronen). Es handelt sich um eine Quelle gepulster Neutronen. Diese ermöglicht die Untersuchung der Wechselwirkungen

zwischen Neutronen und den Kernen der Proben, auf die diese Neutronen geschossen werden. Dieser Besuch vervollständigte die vom BAG und der ASN durchgeführte Untersuchung der Sicherheitsdokumentation zur Anlage, die anlässlich des Austausches des n-TOF-Targets aktualisiert worden war. Die n-TOF-Anlage kann zugelassen werden, sobald die Empfehlungen der schweizerischen und französischen Behörden umgesetzt wurden.

Genehmigung der Modelle zur Bewertung der dosimetrischen Auswirkungen der Anlagen des CERN

Gemäss dem tripartiten Abkommen muss das CERN die Auswirkungen seiner radioaktiven Abwässer und der von seinen Anlagen abgegebenen Strahlung auf die Öffentlichkeit und die Umwelt mit Methoden bewerten, die von BAG und ASN genehmigt wurden. Im Jahr 2021 wurden die Methoden zur Bewertung der dosimetrischen Auswirkungen der Freisetzung von Radioaktivität in Luft und Wasser durch das CERN ausführlich diskutiert. Aufgrund der Rückmeldungen der Gaststaaten wurden sie angepasst und definitiv festgelegt. Darüber hinaus hat das CERN ein weiteres Dokument über die Auswirkungen der abgegebenen Strahlung vorgelegt. Sobald dieses validiert ist, können die ASN und das BAG die aktualisierten Modelle des CERN genehmigen.

Strahlenschutz am Paul Scherrer Institut

Das Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen AG gehört zu den grössten Forschungszentren der Schweiz. Es betreibt verschiedene grosse Forschungs-Infrastrukturen, darunter den Protonenbeschleuniger mit den dazugehörigen Strahllinien und Experimenten, den für die Protonentherapie eingesetzten medizinischen Protonenbeschleuniger COMET, den Freielektronen-Röntgenlaser SwissFEL, die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS, die Neutronenquelle SINQ oder die Myonenquelle $S\mu S$. Die Beschleunigeranlagen und Forschungslabors des PSI fallen in den Aufsichts- und Bewilligungsbereich des BAG, während die Kernanlagen zum Zuständigkeitsbereich des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI)

gehören. Das BAG überprüft im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit, ob die Grenzwerte für ionisierende Strahlung am PSI eingehalten werden, um damit die Sicherheit der Bevölkerung, des PSI-Personals und der Umwelt zu gewährleisten. Zudem begleitet das BAG die grossen Projekte des PSI und stellt sicher, dass das PSI die sich im Bau befindlichen Anlagen sicher betreiben kann.

Arbeiten während der jährlichen technischen Abschaltung

Anfang 2021 stand die jährliche technische Abschaltung an, die es dem PSI ermöglicht, Reparatur-, Wartungs- und Erweiterungsarbeiten an seinen Anlagen durchzuführen. Da solche Arbeiten mit Strahlenbelastungen verbunden sein können, werden sie detailliert geplant. Die vom PSI festgesetzten Ziele in Bezug auf die Strahlendosen, denen die Mitarbeitenden ausgesetzt sind, konnten eingehalten werden. Die Abschaltung bot dem BAG Gelegenheit, mehrere Inspektionsbesuche durchzuführen. So führte es etwa im März 2021, kurz bevor die Anlage wieder in Betrieb genommen wurde, ein Audit durch, bei dem die PSI-Tests zu den Personensicherheitssystemen (PSYS) geprüft wurden, d. h. die Systeme zur Kontrolle des Zugangs von Personen zu überwachten oder kontrollierten Bereichen. Bei diesem Audit wurden keine wesentlichen Mängel festgestellt.

Audit eines neuen GMP-Labors

2021 nahm das PSI ein neues Typ-A-Labor in Betrieb, das Radiopharmazeutika nach GMP-Normen (*Good Manufacturing Practices* oder Gute Herstellungspraxis) herstellt. Das BAG führte bei diesem neuen Labor zwei Inspektionen durch. Bei der ersten Inspektion hat es die vom PSI durchgeführten Tests zur Abschirmung der Heissen Zellen, in denen mit Radiopharmazeutika umgegangen wird, überprüft. Ziel der zweiten Inspektion war es, die Einhaltung der baulichen Anforderungen an Arbeitsbereiche des Typs A zu überprüfen. Das PSI erhielt die Genehmigung zur Inbetriebnahme des Labors, nachdem es die vom BAG geforderten Korrekturmassnahmen implementiert hatte.

Neues System zur Bestrahlungsplanung im Zentrum für Protonentherapie

Das Zentrum für Protonentherapie des PSI behandelt bestimmte Krebserkrankungen mit Protonenstrahlen, die so präzise eingesetzt werden können, dass das umliegende gesunde Gewebe geschont wird. Mit einer speziellen Software für die Bestrahlungsplanung (*Treatment Planning System* oder TPS) wird die Behandlung im Vorfeld sorgfältig geplant. Das PSI hat selbst ein neues TPS mit dem Namen Fiona entwickelt, das in einer der Strahlentherapie-Stationen eingesetzt werden soll. Das BAG hat auf der Grundlage der Informationen aus verschiedenen Sitzungen und aus den vom PSI zur Verfügung gestellten Unterlagen, insbesondere den Ergebnissen des Fiona-Abnahmetests, seine Zustimmung zum klinischen Betrieb dieses neuen TPS erteilt.

Radioaktive Abfälle

Der Bund ist damit beauftragt, radioaktive Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung fachgerecht zu entsorgen. Davon ausgenommen sind radioaktive Abfälle der Betreiber von Kernkraftwerken. Das BAG organisiert jedes Jahr Kampagnen zur Sammlung dieser Abfälle, die anschliessend behandelt und im Bundeszwischenlager (BZL) in Würenlingen im Kanton Aargau gelagert werden. Für die Zukunft ist eine Endlagerung der gesamten radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern vorgesehen. Die Auswahl der Standorte für die Lager ist eine langwierige und komplexe Aufgabe. Die Inbetriebnahme des Lagers für Abfälle mit schwacher und mittlerer Aktivität, zu denen der Grossteil der Abfälle des Bundes gehört, ist für 2050 vorgesehen.

Sammelaktion für radioaktive Abfälle

Im Rahmen der Sammelaktion 2021 haben 31 Unternehmen radioaktive Abfälle mit einer Gesamtaktivität von 5.1×10^{14} Becquerel (hauptsächlich Tritium H-3) und einem Bruttovolumen von insgesamt 6.8 m^3 abgegeben. Ausserdem konnten bestimmte Abfälle mit Tritium und Kohlenstoff-14 mit der Zustimmung des BAG gemäss den Bestimmungen von Artikel 116 der StSV verbrannt werden. Eine weitere mögliche und sinnvolle Lösung ist die Dekontamination und Lagerung schwach radioaktiver Abfälle zum Abklingen in den Unternehmen bis zur Freigabe.

Die Wiederverwendung oder Rezyklierung geschlossener Strahlenquellen hoher Aktivität könnte sich als sinnvolle Alternative zur Entsorgung als radioaktiver Abfall erweisen. Dies betrifft insbesondere Strahlenquellen mit Americium-241, Krypton-85, Caesium-137 oder auch Cobalt-60. Im Rahmen des Radiss-Aktionsplans (vgl. Kapitel Aktionsplan «Radiss», Seite 29) wurden viele hochradioaktive Quellen,

die Caesium-137 enthalten, 2021 ins Ausland versendet, um dort für den Weiterverkauf neu konditioniert zu werden. Solche Quellen wurden namentlich für die Bestrahlung von Blut verwendet. Die meisten Anlagen, in denen hochradioaktive Strahlenquellen eingesetzt wurden, konnten durch Technologien mit geringerem Risiko ersetzt werden, etwa durch Röntgenbestrahlungsgeräte.

Überprüfung von Abfällen auf herrenloses, radioaktives Material

Mit der Inkraftsetzung der revidierten Strahlenschutzverordnung StSV wurden Betriebe, die Siedlungsabfälle oder Abfälle vergleichbarer Zusammensetzung verbrennen, verpflichtet, diese auf das Vorhandensein herrenloser radioaktiver Materialien zu überprüfen. Davon betroffen waren insbesondere rund 30 Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA), die dafür geeignete Messportale zur Überprüfung der Abfälle eingerichtet haben. Die zuständige Aufsichtsbehörde BAG hat in Zusammenarbeit mit der Eichstelle des PSI die Konformität der

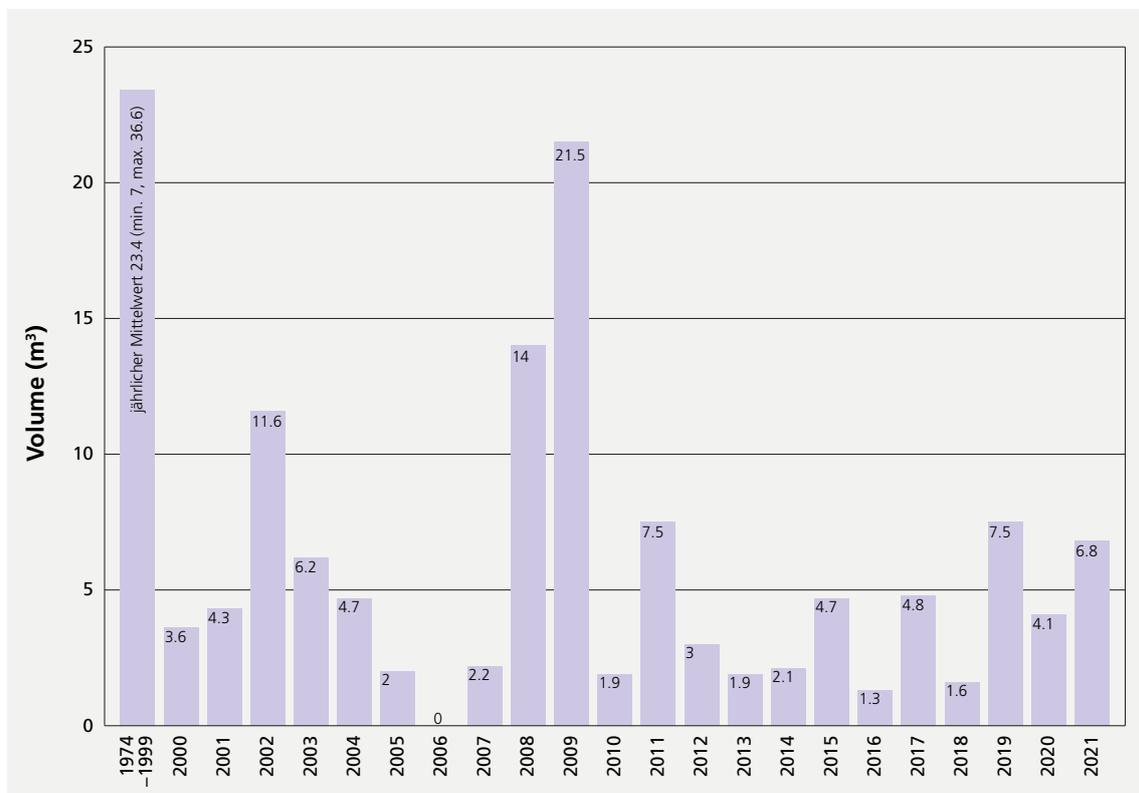


Abb. 4 Entwicklung des Abfallvolumens, das während der vergangenen vierzig Jahre vom Bund gesammelt und dem Bundeszwischenlager (BZL) zugeführt wurde.

Messeinrichtungen sowie das Vorgehen bei Alarmen in den betroffenen Betrieben überprüft. Sobald alle Kriterien der geltenden Wegleitung zur Überprüfung von Abfällen auf herrenloses radioaktives Material erfüllt werden, erhält der Betrieb für diese Tätigkeit eine Bewilligung. Diese Wegleitung ist verfügbar unter www.bag.admin.ch/herrenloses-radioaktives-material. Ein Grossteil der Radioaktivitäts-Alarme bei der Anlieferung von Abfällen in KVA werden durch kontaminierten Abfall mit medizinisch verwendeten Radionukliden verursacht. Es handelt sich im allgemeinen um kontaminierte Hygieneartikel, die Jod-131 oder Lutetium-177 enthalten und von Therapiepatienten stammen, die bereits aus der Hospitalisation entlassen worden sind. Leicht radioaktive

Abfälle mit kurzer Halbwertszeit können meist unter Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen und mit Zustimmung des BAG zur Verbrennung freigegeben werden. Gelegentlich werden jedoch auch radioaktive Abfälle und Altlasten detektiert, die separiert und als radioaktiver Abfall entsorgt werden müssen. Abbildung 5 zeigt die Häufigkeit der gefundenen Nuklide. Die beiden Therapieknuclide Iod-131 und Lutetium-177 teilen sich mit je 26 Meldungen den ersten Platz. Mit 9 Funden von Technetium-99m und 4 weiteren medizinischen Nukliden (divers med.) sieht man, dass rund 80 % der Funde medizinischer Herkunft sind (vgl. Abb. 7). Bei den nicht medizinischen Funden sind Altlasten mit Radium-226 am häufigsten vertreten.

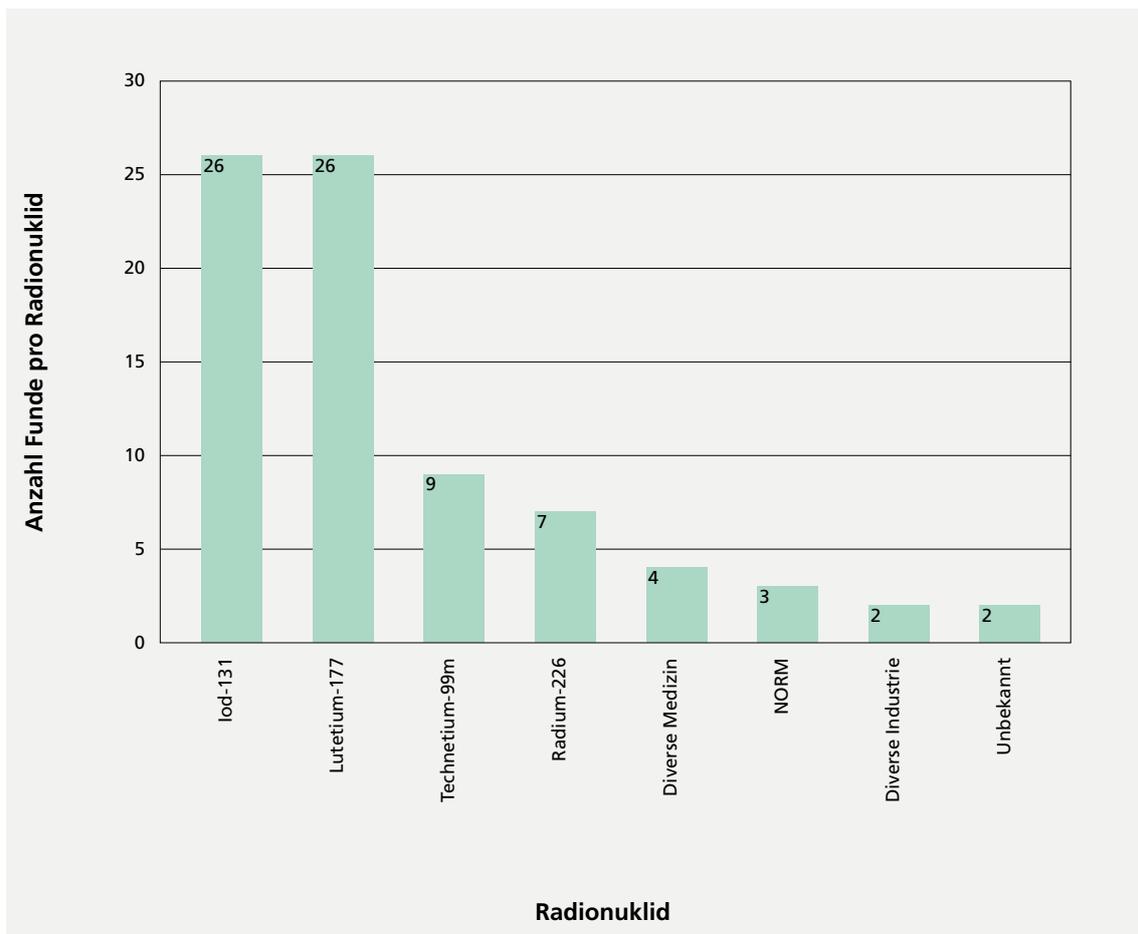


Abb. 5

Verteilung der aufgefundenen und identifizierten Radionuklide in den Kehrichtverbrennungsanlagen. Am häufigsten werden die zu medizinisch-therapeutischen Zwecken verwendeten Radionuklide Iod-131 und Lutetium-177 detektiert, gefolgt von den diagnostisch genutzten Radionukliden Technetium-99m oder Fluor-18 und Indium-111 (diverse Medizin). Radium-226 stammt aus radioaktiven Altlasten (z.B. Radiumleuchtfarbe) und ist das am häufigsten detektierte Radionuklid aus nicht medizinischen Anwendungen. Weitere Funde erfolgten durch natürliches, radioaktives Material (NORM) und andere Nuklide, die zu industriellen Zwecken verwendet wurden.

Die Anzahl der gemeldeten Funde hat in den letzten zwei Jahren sehr stark zugenommen. Einerseits verfügen nun fast alle 30 KVA über sehr empfindliche Messsysteme und andererseits konnten wir durch die zahlreichen Betriebsbesuche die Meldedisziplin verbessern. Abbildung 6 zeigt den Verlauf der Anzahl Meldungen seit 2015, als es nur eine Handvoll Betriebe waren, die die Abfälle auf Radioaktivität überprüft haben.

Nebst den KVA können auch Deponien von herrenlosem radioaktivem Material betroffen sein. Damit entschieden werden kann, ob Deponien künftig dazu verpflichtet werden müssen, Deponiematerial auf Radioaktivität zu überprüfen, soll die Stelle Arbeitssicherheit des Verbandes der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen Asi-VBSA abklären, wie häufig Ereignisse mit Radioaktivität in Deponien vorkommen. Dafür werden Alarmergebnisse von sieben Deponien aus den vergangenen Jahren ausgewertet. Aufgrund der vorliegenden Gefährdungssituation für das Deponiepersonal und die Umwelt wird das BAG mit Unterstützung der eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz KSR entscheiden, ob und gegebenenfalls welche Deponien zur Durchführung von Radioaktivitätsmessungen verpflichtet werden müssen.

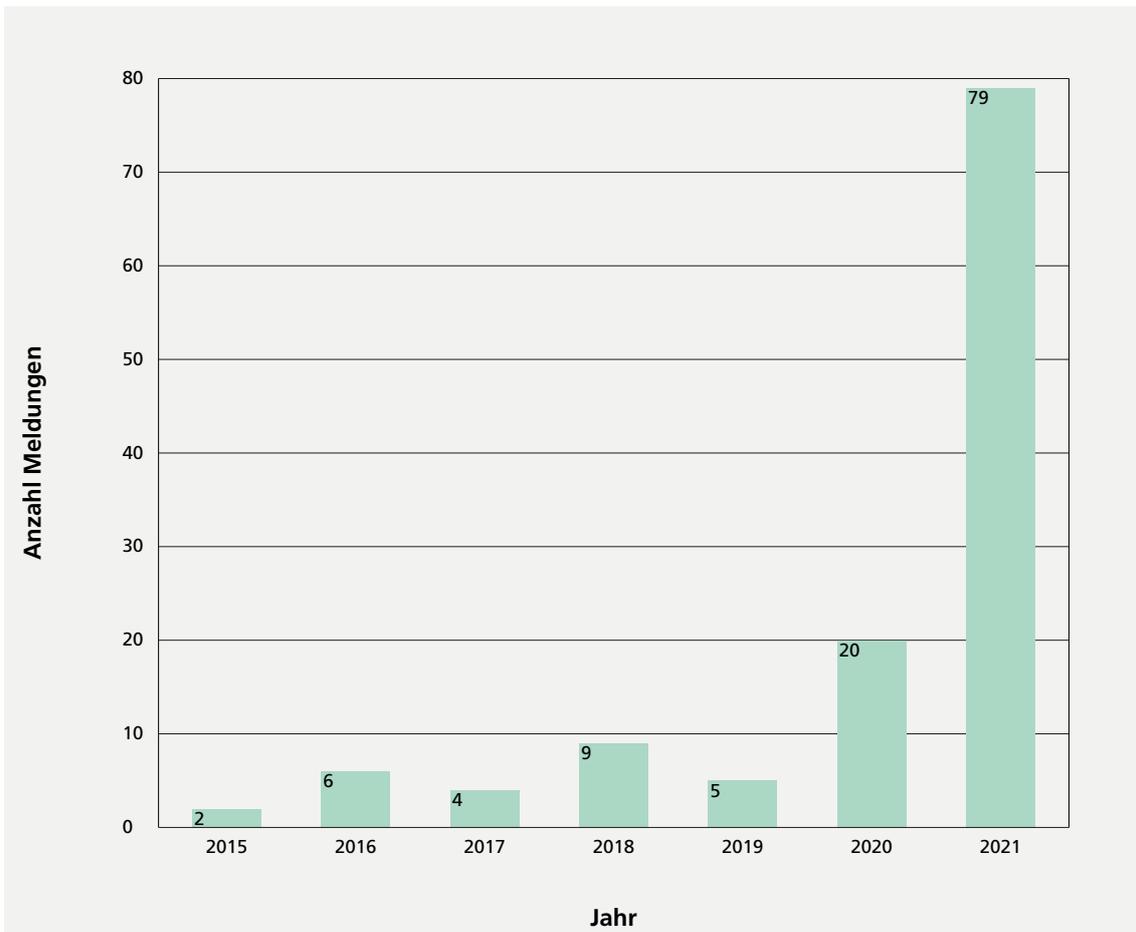


Abb. 6 Anzahl der gemeldeten Funde von radioaktivem Material in Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) seit 2015. Mit dem Beginn der Umsetzung der Messpflicht im 2020 wurde deutlich häufiger radioaktives Material detektiert und gemeldet.



Abb. 7
Solche Radiumkompressen wurden bis in die Sechzigerjahre zur Behandlung von Wunden und Geschwüren verwendet.



Abb. 8
Sanierung einer Deponie aus der Phosphatdüngerherstellung

Neue Wegleitung zur Entsorgung von NORM-Abfällen

Abfälle, die natürliches radioaktives Material enthalten, werden gemäss Strahlenschutzverordnung StSV als NORM-Abfälle bezeichnet (vgl. auch den Artikel *NORM: Natürlich radioaktive Materialien* auf Seite 58 dieses Berichts). Da NORM-Abfälle mit einer Aktivität oberhalb der NORM-Befreiungsgrenze LLN bei der Abgabe an die Umwelt eine Gefährdung für Mensch und Umwelt darstellen können, müssen für deren Entsorgung gewisse Rahmenbedingungen eingehalten werden. Als Abgabe von NORM an die Umwelt gelten insbesondere die Ablagerung auf einer Deponie, die Verbrennung oder das Recycling in einer Verwertungsanlage. Die Abgabe von NORM-Abfall an die Umwelt ist nur zulässig, wenn durch geeignete Massnahmen die durch die Abgabe bewirkte effektive Dosis für Personen aus der Bevölkerung unter 0,3 mSv pro Kalenderjahr bleibt. In der geplanten Wegleitung werden die Kriterien für eine Zustimmung durch die Bewilligungsbehörde BAG zur Abgabe von

NORM-Abfällen an die Umwelt festgelegt. Für eine Entsorgung von NORM-Abfällen muss zudem der Entsorgungsbetrieb mit der Annahme einverstanden sein und die kantonale Umweltschutzbehörde eine Entsorgungsgenehmigung erteilen, da diese Abfälle meist auch nichtradioaktive Schadstoffe enthalten. Nur wenn alle betroffenen Stellen ihr Einverständnis zum vorgesehenen Entsorgungsweg erteilen und die festgelegten Kriterien erfüllt werden, ist eine entsprechende Abgabe an die Umwelt zulässig. NORM-Abfälle können durch die Verwendung natürlicher Rohstoffe entstehen. Strahlmittel zur Bearbeitung von Werkstoffen enthalten beispielsweise natürliches Uran und seine Folgeprodukte, deren Aktivität teils die NORM-Befreiungsgrenze überschreitet. NORM-Abfälle stammen teils auch aus Altlasten, beispielsweise aus der Phosphatdüngerproduktion (Abb. 8). Diese Rückstände enthalten ebenfalls natürliches Uran. Die neue Wegleitung des BAG zur Entsorgung von NORM-Abfällen wird voraussichtlich 2022 veröffentlicht.

Verwaltungsstrafrecht

Das BAG bewilligt und beaufsichtigt die Pflichten im Umgang mit ionisierender Strahlung in der Medizin, der Industrie (ohne Kernanlagen), der Forschung und der Ausbildung. Verstösse sind im Strahlenschutzgesetz (StSG) geregelt. Bei Übertretungen (Art. 44, StSG) untersucht das BAG den Sachverhalt. Die Partei, die den Verstoß mutmasslich verursacht hat, erhält Gelegenheit für eine Stellungnahme. Häufige Übertretungen betreffen Röntgenanlagen, bei denen die Zustandsprüfung verspätet oder nicht durchgeführt wurde. Seit 2015 hat das BAG über 800 solche Verstösse mit einem Strafbescheid und einer Busse geahndet. Ein weiterer Verstoß betrifft Röntgenanlagen, die ohne Bewilligung installiert und betrieben werden. 2021 verstießen 6 Röntgenfirmen sowie 7 medizinische Betriebe gegen diese Pflicht. Vergehen (Art. 43 und 43a, StSG) leitet das BAG an die Bundesanwaltschaft

weiter. Dabei handelt es sich um seltene, aber schwere Fälle wie etwa ungerechtfertigte Bestrahlungen oder vorschriftswidriger Umgang mit radioaktiven Quellen wie z. B. deren illegale Entsorgung.

Mit dem Inkrafttreten der V-NISSG am 1. Juni 2019 sind die Ein- und Durchfuhr, das Anbieten, die Abgabe sowie der Besitz von Laserpointern (ausgenommen Klasse 1) verboten (Art. 23). 2021 endete die Übergangsphase für Geräte der Klasse 2, welche nun ebenfalls nicht mehr verwendet oder besessen werden dürfen. Das BAG vermisst die von der Eidgenössischen Zollverwaltung sichergestellten Laserpointer und leitet Vergehen an die zuständige Staatsanwaltschaft weiter. Die jährliche Anzahl der Verstösse seit Inkrafttreten der Verordnung zum Bundesgesetz über den Schutz vor Gefahren durch nichtionisierende Strahlung und Schall (V-NISSG) ist in Abbildung 9 aufgeführt, ebenso die Anzahl der beschlagnahmten Laserpointer.

	2019	2020	2021
Verstösse	66	134	87
Beschlagnahme Laserpointer	121	170	120

Abb. 9
Jährliche Anzahl Verstösse und beschlagnahmte Laserpointer zwischen 2019 und 2021

Aktionsplan zur radiologischen Sicherung und Sicherheit «Radiss»

Mit dem im Oktober 2020 verabschiedeten Aktionsplan Radiss 2020–2025 will der Bund die Gefahren vermindern, die von unkontrollierten radioaktiven Materialien ausgehen. Nachfolgend wird die Bilanz nach einem Jahr Aktionsplan dargestellt.

Sind radioaktive Materialien nicht oder nicht mehr unter regulatorischer Kontrolle, stellen sie eine Gefahr für Mensch und Umwelt dar und können grossen Schaden verursachen. Aus diesem Grund dürfen radioaktive Materialien weder durch Missbrauch noch durch Fahrlässigkeit ausser Kontrolle geraten.

Der Aktionsplan Radiss will diese Kontrolle mittels verschiedener Massnahmen in drei Aktionsfeldern weiter stärken: Prävention, Detektion und Intervention. Nebst Massnahmen, die direkt die Umsetzung der Strahlenschutzverordnung (StSV) betreffen und von den Aufsichtsbehörden begleitet werden, wurde in jedem Aktionsfeld eine Arbeitsgruppe gebildet. Darin setzen mehrere Bundesstellen aus den Bereichen Strahlenschutz, nationale Sicherheit, Strafverfolgung und Nachrichtendienst den Aktionsplan Radiss um und legen das Fundament für eine effiziente und engere Zusammenarbeit im Bereich der radiologischen Sicherung in der Schweiz.



Stand Aktionsfeld 1: Prävention

Für die Prävention eines Missbrauchs müssen Betriebe, die mit sogenannten hoch radioaktiven Quellen arbeiten, den Zugriff durch Unbefugte verhindern. Sie setzen deshalb aktuell verstärkte bauliche, technische und organisatorische Sicherungsmassnahmen um. Die Aufsichtsbehörden (Bundesamt für Gesundheit BAG, Suva und Eidg. Nuklearsicherheitsbehörde ENSI) begleiten die Betriebe dabei ab der Planung bis zur Realisierung. Optimal wäre ein Verzicht auf radioaktive Quellen, etwa indem man alternative Technologien einsetzt. Dank dem technologischen Fortschritt sind bereits heute für gewisse Anwendungen gleichwertige Alternativen vorhanden, insbesondere für hoch radioaktive Quellen, die durch Röntgengeräte oder Linearbeschleuniger ersetzt werden können. Bis zum Ende des Aktionsplans 2025 sollen alle Blutbestrahlungsgeräte mit Caesium-137 und weitere Hochrisiko-Quellen, für die Alternativen bestehen, eliminiert werden. Dieses Ziel ist in greifbarer Nähe: Bis Ende 2021 wurde bereits der grösste Teil dieser hoch radioaktiven Quellen entsorgt. Bei den restlichen haben die Betreiber eine zeitnahe Entsorgung zugesichert.

Abb. 10
Auf Gefahrguttransportern werden die hoch radioaktiven Quellen aus den ausrangierten Blutbestrahlungsgeräten ins europäische Ausland gefahren, wo diese rezykliert werden.

Die aus Vertretern des ENSI, der Suva und des BAG gegründete Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit der Weiterentwicklung der Regelungen und Anforderungen an die «Sicherung von hoch radioaktiven geschlossenen Quellen» sowie mit der Rechtfertigung des Umgangs mit hoch radioaktiven Quellen (HASS). Dazu gehört auch die Förderung von Alternativen zu hoch radioaktiven Quellen, wie etwa Röntgengeräte oder Linearbeschleuniger. Es gilt, einheitliche Prozesse für die Erteilung oder Erneuerung einer Bewilligung festzulegen. Grundsätzlich muss jeder Einsatz ionisierender Strahlung gerechtfertigt sein. Besteht für den spezifischen Anwendungszweck einer (hoch) radioaktiven Quelle eine alternative Technologie ohne Radioaktivität, soll diese bevorzugt werden, da sie z. B. bei einem Störfall weniger Nachteile für Mensch und Umwelt mit sich bringt. Mit dieser Strategie werden künftig – bei Vorhandensein gleichwertiger Alternativen – immer weniger Bewilligungen für neue, hoch radioaktive Quellen erteilt. Bestehende Quellen werden in einem Phase Out Prozess nach und nach entsorgt.

Stand Aktionsfeld 2: Detektion

Das zweite Aktionsfeld Detektion hat zum Ziel, radioaktive Materialien zu finden, wenn sie nicht oder nicht mehr unter regulatorischer Kontrolle sind.

Der Aktionsplan sieht dazu Massnahmen vor, um radiologische Altlasten (z. B. radiumhaltige Gegenstände) oder illegal entsorgtes radioaktives Material aufzufinden. Dafür sollen Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) und Verwertungsfirmen (aus der Metallbranche) sämtliches Material auf Radioaktivität überprüfen. Die KVA konnten grosse Fortschritte erzielen: Seit diesem Jahr sind sämtliche rund 30 KVA mit Messportalen ausgerüstet. Im Bereich Metallrecycling und -export gehen wir derzeit von rund 100 Firmen aus, welche diese Messungen ebenfalls durchführen müssen. Aktuell sind etwas mehr als 50 Firmen in der Lage, Messungen durchzuführen, die restlichen sind noch an der Umsetzung. 2021 erhielt das BAG rund zwei Meldungen pro Woche zu Funden von radioaktivem Material in solchen Betrieben. Lesen Sie mehr zu Art und Anzahl

der Funde in den KVA im Abschnitt «Überprüfung von Abfällen auf herrenloses, radioaktives Material» auf Seite 22.

Eine spezifisch gebildete Arbeitsgruppe hat den Auftrag, eine generelle Strategie zur Detektion von herrenlosem und illegalem radioaktivem Material zu erarbeiten. Die Arbeitsgruppe besteht aus Vertretern von BAG, SUVA, Labor Spiez, Bundesamt für Zoll und Grenzsicherheit (BAZG), Nachrichtendienst NDB, fedpol und des KompZen ABC-Kamir. Im Jahr 2010 hatte das BAG die Studie «Illegale radioaktive Transporte» bei Herrmann Consultant in Auftrag gegeben. Basierend auf den Empfehlungen dieser Studie werden seit 2015 sogenannte Schwerpunktkontrollen Radioaktivität (SP-Messungen) durchgeführt. Dabei koordiniert das BAG Messungen von Waren bei der Ein-, Aus- und Durchfuhr sowie von Personen und Gepäck bei der Einreise. Die Erfahrungen aus diesen SP-Messungen werden ergänzt durch Erkenntnisse zusätzlicher statistischer Erhebungen. Diese zeigen, wie oft erhöhte Strahlungswerte an ausgewählten Standorten mit grossen Waren- oder Personenströmen über einen gewissen Zeitraum aufgetreten sind. Zusammen bilden die SP-Messungen und die statistischen Erhebungen die Grundlage für die Abschätzung des Gefährdungspotentials an einzelnen Standorten. So ist zum Beispiel die Wahrscheinlichkeit, dass in Abfall- und Recyclingmaterialien herrenloses, radioaktives Material enthalten ist, deutlich erhöht.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wird in der Arbeitsgruppe nun entschieden, wo künftig intensiver kontrolliert werden soll und welche Ressourcen dafür notwendig sind. Das künftige Detektionskonzept soll zudem gewährleisten, dass die Schweiz in ausserordentlichen Lagen die erforderlichen Messmittel und Einsatzkräfte rasch mobilisieren kann. Eine ausserordentliche Lage liegt beispielsweise vor, wenn Personen oder Waren aus kontaminierten Gebieten in die Schweiz gelangen, wie dies in der Vergangenheit durch die nuklearen Unfälle in Tschernobyl und Fukushima-Daichii der Fall war.

Stand Aktionsfeld 3: Intervention

Das Aktionsfeld Intervention wird in der grössten Arbeitsgruppe thematisiert. Es soll hauptsächlich die Bewältigung nach radiologischen Ereignissen koordiniert werden und es beinhaltet deshalb sehr viele Interessensvertreter (BAG, Suva, ENSI, BAZG, Nationale Alarmzentrale NAZ, NDB, Labor Spiez, fedpol, Bundesanwaltschaft BA, Bundesamt für Energie BFE, KompZen ABC-Kamir).

Aufgabe ist es, die nationale Koordination nach radiologischen Ereignissen zu überprüfen und zu harmonisieren. Im Kontext von Radiss gelten zum Beispiel der Diebstahl einer radioaktiven Quelle oder ein Fund einer herrenlosen, radioaktiven Quelle in einem Verwertungsbetrieb als Ereignis. Aktuell existieren mehrere Dokumente, die sich mit der Ereignisbewältigung befassen. Sie decken vor allem Ereignisse ab, die in Betrieben vorkommen, die über eine Bewilligung für den Umgang mit radioaktiven Quellen verfügen. So sind zum Beispiel die zuständigen Stellen definiert sowie die Meldeflüsse beschrieben. Für Ereignisse, die sich ausserhalb dieses Rahmens abspielen, gibt es keine detaillierten Beschreibungen der Zuständigkeiten. Es ist deshalb zum heutigen Zeitpunkt nicht ausgeschlossen, dass Informationen erst über Umwege bei der zuständigen Stelle eintreffen. Dies kann zu Verzögerungen in der Ereignisbewältigung führen oder unnötige Interventionen zur Folge haben. Zu Ereignissen dieser Art zählen zum Beispiel der illegale Handel von Materialien mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (z. B. Produkte mit «Negativen Ionen») oder der Fund von radioaktivem Material anlässlich einer Schwerpunktkontrolle an der Grenze.

Um eine verzögerte Ereignisbewältigung oder unnötige Interventionen in Zukunft zu verhindern, sollen die bestehenden Dokumente harmonisiert und erweitert werden. Im Rahmen der Arbeitsgruppe kann dies in enger Zusammenarbeit der betroffenen Behörden geschehen. Das Dokument soll anschliessend vor allem unter den betroffenen Betrieben und kantonalen Einsatzkräften bekannt gemacht werden, da diese Stellen häufig am Anfang einer Interventionskette stehen.

Radiologische Ereignisse

Das Bundesamt für Gesundheit BAG hat den Auftrag, die Bevölkerung vor ionisierender Strahlung zu schützen, insbesondere auch Patientinnen, Patienten und beruflich strahlenexponiertes Personal sowie die Umwelt. Kommt es trotz den Vorsichts- und Schutzmassnahmen zu meldepflichtigen Ereignissen oder tauchen radiologische Altlasten auf, ist es Aufgabe des BAG, diese zu untersuchen und zu bewerten sowie die Öffentlichkeit angemessen darüber zu informieren. Auch medizinische Strahlenereignisse nach Patienten- oder Organverwechslungen sind meldepflichtig. Damit will das BAG eine Lesson-learned-Kultur etablieren und die Patientensicherheit verbessern.

Nach der Meldung eines radiologischen Ereignisses oder dessen Entdeckung bei der Aufsichtstätigkeit erfolgt immer eine sorgfältige Analyse im BAG. Bei radiologischen Ereignissen wird unterschieden zwischen: i) medizinischen Ereignissen, die ausschliesslich Patientinnen und Patienten betreffen und ii) nicht-medizinischen Ereignissen, die Personal, die Bevölkerung oder die Umwelt betreffen und alle Störfälle gemäss Art. 122 der Strahlenschutzverordnung (StSV) beinhalten.

2021 gab es 215 Ereignisse, wovon 88 medizinische Ereignisse betrafen (2020: 155, wovon 87 medizinische Ereignisse). Die zuständigen Expertinnen und Experten des BAG evaluieren mögliche Folgen, prüfen die vorgeschlagenen Korrekturmassnahmen und entscheiden über die Durchführung einer Inspektion vor Ort. Zudem ist das BAG gemäss Strahlenschutzverordnung verpflichtet, angemessen zu informieren, teilweise in Zusammenarbeit mit den betroffenen Betrieben oder Behörden. Jedes gemeldete Ereignis erscheint in statistischer Form im vorliegenden Kapitel. In die Statistik werden sämtliche gemeldeten Ereignisse des Berichtsjahres aufgenommen, die bis spätestens Ende Februar des Folgejahres gemeldet werden. Ereignisse von besonderem Interesse werden zusätzlich in Kurzberichten dargestellt.

Radiologische Ereignisse 2021

(Medizinische Strahlenereignisse, vgl. S. 36)

Klassifizierung

Dem BAG gemeldete radiologische Ereignisse (ohne medizinische Strahlenereignisse) werden in folgende vier Kategorien unterteilt:

Umwelt, Betriebe und Bevölkerung, Kategorie A

Bei diesen Ereignissen geht es vor allem um die ungewollte Abgabe von Radioaktivität an die Umwelt, Abweichungen von Prozessen in Betrieben oder um Ereignisse, während denen Personen aus der Bevölkerung mit radioaktiven Substanzen in Kontakt kamen.

Radiologische Altlasten, herrenlose Quellen, Quellenverluste, Kategorie B

In diese Kategorie gehören alle Ereignisse, die ausser Kontrolle geratene radioaktive Quellen betreffen (Verlust, Diebstahl, Fund, illegale Entsorgung usw.). Bei der Mehrheit handelt es sich um radioaktive Altlasten (Uhrenmaterial mit Radium-226 oder sonstige). Sie werden von Betrieben in der Abfallwirtschaft mit Strahlungsmesseinrichtungen gemeldet. Ereignisse, bei denen ein nicht vernachlässigbares Strahlenrisiko vorlag, werden in die Kategorie A (Privatperson) oder C (beruflich strahlenexponiertes Personal) eingestuft.

Beruflich strahlenexponiertes Personal, Kategorie C

Hierbei handelt es sich um Ereignisse, bei denen eine als beruflich strahlenexponiert eingestufte Person versehentlich eine Dosis erhält (mit oder ohne Überschreitung des gesetzlichen Dosisgrenzwertes). Vgl. auch Jahresbericht «Dosimetrie der beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz» unter www.bag.admin.ch/dosimetrie-jb.

Transport, Kategorie D

Dazu gehören alle gemeldeten Ereignisse, die sich während des Transports von radioaktiven Quellen ereignen. In den meisten Fällen handelt es sich um Abweichungen von Vorschriften.

Zusammenfassung

In der Kategorie «Umwelt, Betriebe und Bevölkerung» (Kategorie A) gingen sechs Meldungen ein. In drei Fällen handelte es sich um ungewollte Abgaben über die Abluft von Zyklotronen. Bei diesen Abgaben wurde der entsprechende zulässige Grenzwert nicht überschritten. Ein Fall betraf das Überlaufen eines Auffangtanks in der Nuklearmedizin. Das kontaminierte Abwasser wurde in der Sicherheitsauffangwanne gesammelt, was eine Freisetzung in die Umwelt verhinderte. In einem weiteren Fall wurde ein Spitalzimmer von einem Patienten kontaminiert, der aus einer Schilddrüsen-therapie kam. Der letzte Fall betraf ein Kind, das bei einer Warenkontrolle am Zoll irrtümlich geröntgt wurde, da das Zollpersonal nicht wusste, dass es sich im Lastwagen befand. Glücklicherweise war die Strahlenbelastung des Kindes sehr gering und lag weit unter den gesetzlichen Grenzwerten.

2021 wurden in der Kategorie «Radiologische Altlasten, herrenlose Quellen, Quellenverluste» (Kategorie B) 111 Fälle gemeldet, gegenüber 50 im Jahr 2020. Seit der Einführung einer Mess- und Meldepflicht in Verbrennungsanlagen und Metallrecyclingbetrieben im Jahr 2018 steigt die Zahl gemeldeter Fälle somit stetig. Zugenommen hat insbesondere die Zahl der Fälle, bei denen in der Medizin verwendete kurzlebige Radionuklide nach einer nuklearmedizinischen Behandlung von Patientinnen und Patienten in Haushaltsabfälle gelangten (2021: 63 Fälle, 2020: 20 Fälle). Solche Fälle bergen keine Risiken für die Bevölkerung oder

das Personal, lösen aber in Verbrennungsanlagen regelmässig Alarm aus. Die Zahl der Funde von radioaktiven Materialien in konventionellen Abfällen, die als radiologische Altlasten betrachtet werden können (insbesondere Radium-226), nimmt zu (26 Fälle), ebenso wie die Zahl der Funde von natürlich vorkommenden radioaktiven Materialien (NORM, 13 Fälle). Einige erwähnenswerte Ereignisse sind weiter unten beschrieben.

2021 wurden sechs Ereignisse in die Kategorie der Kontaminationen oder Dosen von beruflich strahlenexponiertem Personal (Kategorie C) eingeteilt. Der erste Fall betraf wissenschaftliches Personal, das an einer Hochschule ohne Schutzmassnahmen mit radioaktiven Mineralien umging. Die Abschätzung der externen Dosis ergab geringe Dosen in der Grössenordnung von 100 μ Sv. Im zweiten Fall wurde dem BAG eine Extremitätendosis gemeldet, bei der die gesetzlichen Grenzwerte für in der Nuklearmedizin beschäftigte Personen deutlich überschritten worden waren. Die Untersuchung des BAG ergab jedoch, dass der gemeldete Wert nicht die Dosis war, mit der die Person selbst belastet wurde, sondern die vom Dosimeter akkumulierte Dosis. In einem weiteren Fall arbeitete technisches Personal an Rückhaltewannen in der Nuklearmedizin, die demontiert wurden, ohne zuvor den Kontaminationszustand der Wannen zu überprüfen. Bei einer nachträglichen Überprüfung wurde keine Kontamination festgestellt, sodass eine Exposition des Personals ausgeschlossen werden konnte.

Zudem wurden drei Überschreitungen des Jahresgrenzwertes für die Augenlinsendosis festgestellt. Zwei der betroffenen Ärzte arbeiten in der interventionellen Radiologie, eine weitere Ärztin ist in der Gefässchirurgie tätig. Alle drei führten eine grosse Anzahl von komplexen und langen Eingriffen mit Durchleuchtung durch. Mittels verschiedener Strahlenschutzmassnahmen müssen die Spitäler nun die monatlich akkumulierten Dosen reduzieren. Das BAG begleitet diese Optimierungen.

Zu drei Vorfällen kam es beim Transport (Kategorie D). Ein Fall betraf die Rücksendung eines Pakets, das angeblich leer war, aber noch ein Fläschchen enthielt. Selbst wenn das Fläschchen keine Aktivität mehr enthielt, schreibt das Verfahren vor, dass alle Fläschchen vor der Rückgabe entfernt werden. In einem anderen Fall überschritten vier Pakete aus Kanada den Grenzwert von 5 $\mu\text{Sv/h}$ für die Dosisleistung bei freigestellten Versandstücken (dreimal 7 $\mu\text{Sv/h}$ und einmal 10 $\mu\text{Sv/h}$). Trotz dieser Fehler ging von diesen Ereignissen keine Gefahr für die Bevölkerung oder das betroffene Personal aus. Ein letzter Fall betraf eine unzureichend abgeschirmte radioaktive Quelle während eines Lufttransports von Johannesburg über Zürich nach Amsterdam. Dieses Ereignis wurde auf der Seite [Radiologische Ereignisse \(admin.ch\)](#) veröffentlicht.

Ein letztes Ereignis, das in die Kategorie E «andere» eingeteilt wurde, betraf ein Update des Betriebssystems eines Röntgengeräts mit Vollschutz, das die (irrtümliche) Inbetriebnahme der Anlage bei offen stehender Schutztüre ermöglichte, was bei dieser Art von Anlagen grundsätzlich nicht möglich sein sollte. Das Problem wurde schnell erkannt und behoben, wodurch sich eine Belastung des Personals vermeiden liess.

Von den 2021 gemeldeten Ereignissen wurde wegen der begrenzten Gefährdung keines als INES 1¹ oder höher eingestuft. 17 Fälle, die mehrheitlich Quellenfunde betreffen, wurden an die ITDB-Datenbank (*Incident & Trafficking Database*) der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) gemeldet.

Beschreibung radiologischer Ereignisse von besonderem Interesse

Blockierung eines Pakets mit radioaktiven Stoffen, das für die Schweiz bestimmt war

Bei einer Routinekontrolle in Holyhead (Wales) löste ein Fahrzeug an einem Portal zur Radioaktivitätsmessung einen Alarm aus. Das Fahrzeug enthielt Postpakete aus Irland, die zum Flughafen Heathrow transportiert und von dort aus per Flugzeug an verschiedene Adressen im Ausland weitergeleitet werden sollten.

Durch den Einsatz eines Spezialteams konnte festgestellt werden, dass die gemessene Strahlung von einem einzelnen Paket aus Maynooth (Agglomeration Dublin) stammte, das für ein Schweizer Unternehmen mit Sitz in Genf bestimmt war und laut Deklaration einen Flugzeugkompass enthielt. Die verschiedenen zuständigen Behörden, darunter das BAG und die Suva, wurden über den Fall informiert.

Die von den Behörden in Auftrag gegebene Untersuchung ergab, dass es sich tatsächlich um einen Flugzeugkompass handelte, der von einer Privatperson in der Schweiz auf eBay für den Einbau in einen Oldtimer gekauft worden war. Der Kompass enthielt eine relativ grosse Menge an Leuchtfarbe mit Radium-226. Obwohl die Verwendung von Radium-226-Farben vor fast 60 Jahren verboten wurde, werden solche Gegenstände immer noch häufig bei Privatpersonen oder im Abfall gefunden (insbesondere Uhrenteile).

Es gibt auch ein historisches bzw. ein Sammler-Interesse an dieser Art von Objekten, die immer wieder auf Online-Plattformen zum Verkauf angeboten werden. Der Handel mit Gegenständen, die Radium-226 enthalten, ist allerdings verboten, und wenn solche Gegenstände auftauchen, generiert es leider einen erheblichen Aufwand. Das BAG erinnert deshalb daran, dass der Besitz von Gegenständen, die Radium-226 enthalten, eine Genehmigung erfordert, der Handel damit verboten ist und sie

1 Mit der internationalen Bewertungsskala für nukleare und radiologische Ereignisse (INES) der IAEO können Ereignisse einheitlich eingestuft und bekanntgemacht und die Risiken von Vorfällen global beurteilt werden. Das BAG meldet der IAEO Ereignisse ab der INES-Stufe 2 (<https://www.iaea.org/resources/databases/international-nuclear-and-radiological-event-scale>).

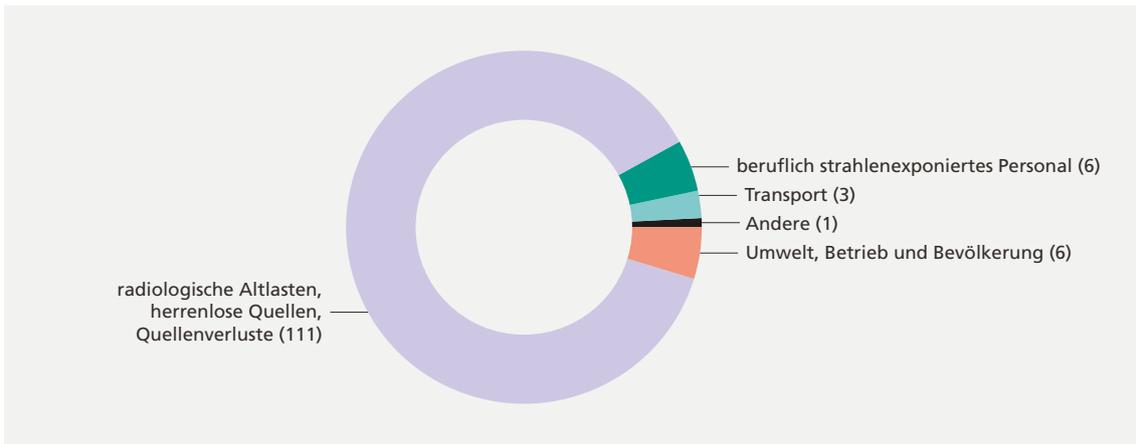


Abb. 11
Verteilung der 127 gemeldeten radiologischen Ereignisse im Jahr 2021, aufgeschlüsselt nach Bereichen, ohne Ereignisse mit Patientinnen und Patienten (medizinische Strahlereignisse)

als radioaktiver Abfall zu entsorgen sind. Weitere Informationen sind im Dokument «Radiumhaltige Uhren» unter www.bag.admin.ch/rad-wegleitungen (Faktenblätter) zu finden.

Entsorgung eines Seilbahnseils mit einer radioaktiven Quelle

In Metallschrott besteht eine erhöhte Gefahr, dass herrenloses radioaktives Material enthalten ist. Aus diesem Grund verlangt die Strahlenschutzgesetzgebung, dass Schrott vor einem Export, etwa um in einem Schmelzwerk verwertet zu werden, auf Radioaktivität überprüft werden muss (vgl. Artikel 104 der StSV). Im vorliegenden Fall fehlte die erforderliche Bescheinigung einer Radioaktivitätsüberprüfung, deshalb veranlassten die italienischen Zollbehörden eine Messung. Dabei wurde eine Dosisleistung von 30 $\mu\text{Sv/h}$ oder der 300-fachen natürlichen Hintergrundstrahlung festgestellt. Bei der Schrottladung handelte es sich um ein ausrangiertes Transportseil einer Seilbahn, in dem die radioaktive Quelle (Caesium-137, 235 MBq) zur Markierung der Spleissstelle (Verbindungsstelle von mehreren

Seilsträngen) nicht ordnungsgemäss ausgebaut wurde. Die Schrottladung musste zum Ausbau der Quelle zum ehemaligen Besitzer, einer Seilbahnfirma, zurücktransportiert werden. Warum die Quelle beim Rückbau der Seilbahn einige Jahre zuvor nicht ordnungsgemäss ausgebaut wurde, ist nun Gegenstand von Ermittlungen des Fedpol und der Bundesanwaltschaft. Tatsache ist, dass der Seilbahnbetreiber für die radioaktive Quelle zur Markierung der Spleissstelle nie eine Bewilligung beantragt und erhalten hatte. Somit konnte die Aufsichtsbehörde Suva ihn nicht überwachen. Weiter versäumte es der Exporteur der Schrottladung, diese vor dem Abtransport auf Radioaktivität zu überprüfen. Da sich die Lagerstelle des Seils seit dem Rückbau der Seilbahn auf einem abgesperrten Grundstück der Seilbahnfirma befunden hatte, ist es vertretbar, davon auszugehen, dass keine Personen unzulässig bestrahlt wurden. Dieses Ereignis hat deutlich gezeigt, dass auch künftig weitere Anstrengungen zur Umsetzung von Artikel 104 der StSV erforderlich sind.



Abb. 12
Detektion der Caesium-137 Quelle im Seilbahnseil

Überlaufen eines Auffangtanks in der Nuklearmedizin

Das Abwasser aus den Spitalzimmern von Patienten und Patientinnen, die mit einer metabolischen Strahlentherapie mit Jod-131 oder Lutetium-177 behandelt werden, wird in Auffangtanks gesammelt. Dadurch kann die von diesen Personen ausgeschiedene Radioaktivität abklingen, bis sie ein akzeptables Niveau erreicht. Nach einer gewissen Abklingzeit wird das Abwasser dann in die Kanalisation geleitet. Die Anlagen zur Aufbereitung dieses Abwassers bestehen aus mehreren Tanks, die das Abwasser ab einem bestimmten Füllgrad in den nächsten Tank leiten.

Beim gemeldeten Ereignis lief in einem Spital ein Auffangtank über, trotz eines Alarmsystems, das zur Vermeidung dieser Situation vorgesehen war. Das kontaminierte Abwasser lief daraufhin in einen Notsammeltank. Als das Personal das Problem bemerkte, leitete es den Abwasserzulauf in einen anderen Tank um und pumpte das übergelaufene Wasser ebenfalls in diesen Tank. Dies führte für einige Wochen zu einer Kontamination des Auffangbehälters. Es kam jedoch zu keiner Strahlenbelastung des Personals und zu keiner Kontamination der Umwelt.

Die Analyse des Vorfalls ergab, dass der Befüllungs-Alarm, der den technischen Dienst darauf hinweist, auf den nächsten Tank umzuschalten, korrekt ausgelöst worden war. Da jedoch bei der Installation des Automatisierungssystems einige Jahre zuvor eine Batterie vergessen wurde, ging die korrekte Zeitangabe nach einem Stromausfall verloren. Dadurch wurden die übermittelten Alarme automatisch ans Ende der Liste gesetzt, so dass der technische Dienst sie erst bemerkte, als der Tank bereits übergelaufen war.

Die Analyse dieses Vorfalls führte neben dem Einsatz von Mitteln für die technische Bewältigung auch zu einer Überprüfung der internen Verfahren mit dem Ziel, solche Vorfälle besser zu bewältigen.

Medizinische Strahlenereignisse 2021

2021 waren in 88 Fällen der gemeldeten Ereignisse Patientinnen und Patienten betroffen, man spricht von medizinischen Strahlenereignissen (Abb. 13 und Abb. 14). Die meisten Ereignisse wurden aus der Radiologie gemeldet (60); alle Fälle haben sich bei Untersuchungen mit Computertomografen (CT) ereignet und können in folgende Kategorien eingeteilt werden: Verwechslung von Patientinnen oder Patienten (24 Ereignisse, davon vier bei der Zuweisung und 20 bei der Durchführung der CT-Untersuchung), Auswahl eines falschen Untersuchungsprotokolls (11 Ereignisse), ungewollte Wiederholung einer Untersuchung (sechs Ereignisse). In einem Fall wurde das falsche Organ untersucht. Bei fünf CT-Untersuchungen wurde der Untersuchungsbereich grösser als der medizinischen Fragestellung angemessen gewählt. Schliesslich wurden drei Untersuchungen am CT durchgeführt, obwohl eine andere radiologische Bildgebungsmethode mit geringerer Dosis vorgesehen gewesen wäre.

Vier Untersuchungen mussten wegen technischer Probleme im Zusammenhang mit der Kontrastmittelgabe wiederholt werden. Zwei Untersuchungen wurden bereits vor dem vom Zuweiser gewünschten Zeitpunkt durchgeführt und mussten zum korrekten Zeitpunkt (reguläre Verlaufskontrolle) wiederholt werden. Zwei Mal erfuhr der Radiologe erst nach Durchführung der Untersuchung vom Vorliegen der Schwangerschaft bei der Patientin. Einmal wurde der Wunsch nach einer Zweitbeurteilung einer vorliegenden Untersuchung als Auftrag für eine Wiederholung der Untersuchung missverstanden. Bei einem Patienten wurde aus bis heute unbekanntem Gründen eine ungewöhnlich hohe Dosis im Rahmen einer CT-Untersuchung des Schädels registriert, über die auch die Herstellerfirma der Anlage informiert wurde.

Ein Patient erhielt bei einer Durchleuchtungsuntersuchung eine hohe Haut- und effektive Dosis. Der Anteil der effektiven Dosis, der über der Schwelle von 100 mSv lag, konnte durch die Komplexität des Eingriffs und die Anatomie des Patienten nur teilweise gerechtfertigt werden.

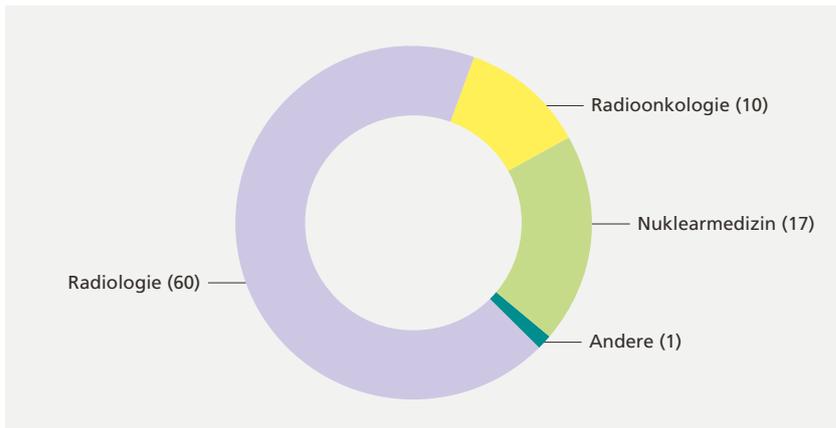


Abb. 13
88 medizinische Strahlenereignisse 2021, Verteilung nach medizinischer Spezialisierung (Radiologie, Radioonkologie, Nuklearmedizin, Operationssaal, andere)

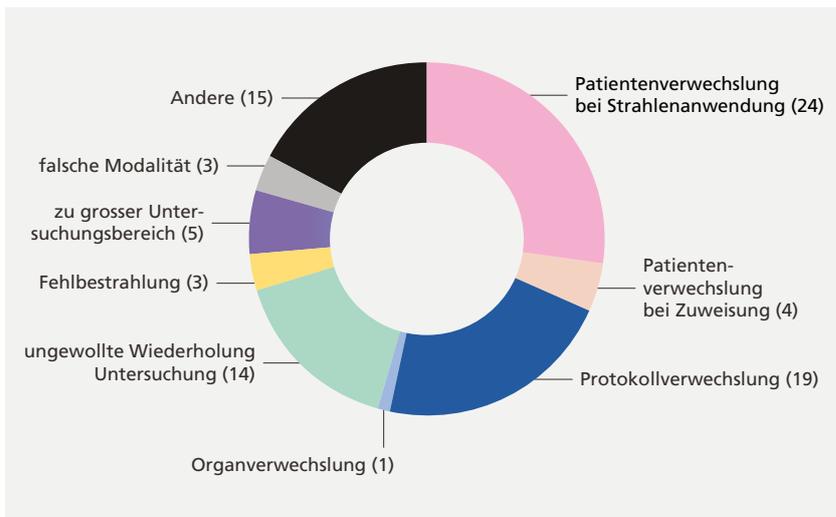


Abb. 14
88 medizinische Strahlenereignisse, bei denen Patientinnen und Patienten betroffen waren, aufgeschlüsselt nach Art der Ereignisse

Auch in der Nuklearmedizin (17 Ereignisse) wurden sechs Protokollverwechslungen, eine Patientenverwechslung und in acht Fällen eine ungewollte Wiederholung einer Untersuchung gemeldet. Einmal wurde ein falsches Radiopharmazeutikum appliziert, weil der ausführenden Person nicht bekannt war, dass der Injektionsautomat damit bestückt war. In einem anderen Fall wurde die mehr als dreifache Dosierung eines Radiopharmazeutikums verabreicht. Hier wurde am Injektionsautomat eine Injektionszeit eingegeben, auf die die Aktivität der Substanz berechnet wurde. Die Substanz wurde dann nicht zur geplanten Zeit, sondern wesentlich früher appliziert, wodurch es zur Überdosierung kam.

In der Radioonkologie (zehn Ereignisse) kam es zu drei Patientenverwechslungen und drei Fehlbestrahlungen. In zwei Fällen wurden Untersuchungsprotokolle für CT-Untersuchungen zur Therapieplanung verwechselt. In einem weiteren Fall wurde das künftige Bestrahlungs-

volumen nicht korrekt beachtet und deshalb der Scanbereich zu knapp gewählt. Alle Untersuchungen mussten wiederholt werden. Schliesslich wurde ein Scan eines Patienten für die Therapieplanung unter falschen Patientendaten aufgenommen. Statt die Bilddaten den richtigen Patientendaten zuzuordnen, wurden die Bilddaten gelöscht und die Untersuchung unnötigerweise mit korrekten Patientendaten wiederholt.

Die Schweiz orientiert sich bei der Beurteilung medizinischer Strahlenereignisse an einem Vorschlag der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO), der zum jetzigen Zeitpunkt lediglich zur probeweisen, freiwilligen Anwendung vorgesehen ist. Alle medizinischen Ereignisse aus dem Jahr 2021 sind auf dem Level 0 dieser INES Medical Rating Skala (= INES M) einzustufen, mit Ausnahme der Durchleuchtungsuntersuchung. Sie wurde in Level 2 eingeteilt, da mit einer Schädigung der Haut zu rechnen ist.

Medizinische Strahlenereignisse von besonderem Interesse

Von einem, der eine CD abholen wollte – aber ein CT bekam

Patientensicherheit wird als Sicherstellung einer medizinischen Behandlung ohne vermeidbare Fehler oder Schäden definiert. Welche weitreichenden Folgen ein medizinisches Strahlenereignis für einen Patienten haben kann, zeigt dieses anonymisierte Fallbeispiel:

Ein Patient wartete im Radiologie-Wartezimmer, bis er mit Namen aufgerufen wurde. Er wurde gefragt, ob er nüchtern sei (wichtig für die Kontrastmittelgabe). Er bejahte, wurde in den CT-Raum begleitet, zog sich um und bekam einen venösen Zugang. Parallel wurde alles für die Untersuchung vorbereitet, es wurden verschiedenen Daten abgefragt und Angaben überprüft. Die CT-Untersuchung wurde durchgeführt, als dem Radiologiefachmann (MTR) plötzlich auffiel, dass der Patient älter aussah, als es dem angegebenen Jahrgang entsprach. Jetzt fiel ihm wieder ein, dass er mehrfach vergessen hatte, den Patienten nach seinem Geburtsdatum zu fragen. Er tat das nach der Untersuchung – und es ergab sich eine Differenz von mehr als zehn Jahren zum hinterlegten Geburtsdatum. Diese Patientenverwechslung musste gemäss Art. 50 StSV dem BAG als medizinisches Strahlenereignis gemeldet werden.

Der Radiologe wurde darauf über den Fehler unterrichtet. Er informierte den Patienten über die Verwechslung, worauf dieser erklärte, er habe auf eine CD mit Bilddaten seiner Untersuchungen gewartet. Während der Untersuchung wurde ein Kontrastmittel gespritzt, das über die Nieren ausgeschieden wird. Bei einer bestehenden Nierenschädigung, was bei diesem Patienten der Fall war, kann die Nierenfunktion sich dadurch vorübergehend oder anhaltend bis hin zur Dialysepflicht verschlechtern. Er brauchte in der Folgezeit viele Blutentnahmen zur Kontrolle. Sein Glück: Die Nierenfunktion hat sich weitgehend normalisiert.

Fazit:

- Die korrekte Patientenidentifikation ist das wichtigste Instrument, um Patientenverwechslungen zu vermeiden.
- Die Patientenidentifikation vor der Untersuchung war hier von Beginn an fehlerhaft. Entweder war dafür kein Prozess im Qualitätsmanagement hinterlegt oder ein beschriebener Prozess wurde nicht korrekt befolgt.
- Diese Person erhielt ohne passende Indikation eine unnötige Untersuchung und eine nicht gerechtfertigte Strahlendosis.
- Abklärungen von Zufallsbefunden aus nicht indizierten Untersuchungen sind finanziell wie psychisch belastend. Auch deshalb müssen Patientenverwechslungen vermieden werden.
- Unnötige Kontrastmittelgaben beinhalten ein hohes Risiko der Verschlechterung einer eingeschränkten Nierenfunktion. Sie gefährden die Patientensicherheit.
- Patienten und Patientinnen sollten aufmerksam sein und sofort nachfragen, wenn für sie etwas nicht ins Bild passt. Normalerweise vertrauen sie der Spitalversorgung so sehr, dass sie Massnahmen nicht hinterfragen.

Qualitätsmangel bei einem diagnostischen ^{99m}Tc-Radiodiagnostikum

Bei einer Zubereitung von Technetium-99m-MIBI war der Heizblock nicht korrekt eingeschaltet. Dies verursachte eine ungenügende radiochemische Reinheit von nur 70 %. Die mangelhafte Qualität bestätigte sich durch eine zweite Qualitätskontrolle, worauf eine neue Charge zubereitet wurde. Das Ergebnis der initialen Qualitätskontrolle war jedoch nicht umgehend kommuniziert worden. Eine andere Radiologiefachperson hatte in der Zwischenzeit zwei Patienten das schlecht markierte Radiopharmakon bereits verabreicht, ohne zu kontrollieren, ob die Qualitätskontrolle erfolgreich bestanden war. Die Untersuchungen mussten aufgrund der mangelhaften Bildqualität wiederholt werden. Eine Abschätzung der nicht gerechtfertigten, zusätzlichen effektiven Ganzkörperdosis ergibt einen Wert von ca. 3 mSv. Als erste Sofortmassnahme wurden alle Mitarbeitenden darauf sensibilisiert, dass eine nicht bestandene Qualitätskontrolle dem Team sofort zu kommunizieren ist und die Applikation eines zubereiteten Radiopharmazeutikums nur nach Kenntnis über eine abschliessend bestandene Qualitätskontrolle erfolgen darf. Die Prozeduren für die Freigabe vor der Applikation wurden angepasst und erfordern nun ein handschriftliches Visum.

Scharfe Augen trotz jahrelanger Arbeit mit Durchleuchtungsgeräten

Die Gesundheit der Augen von medizinischem Personal, das jahrelang mit Durchleuchtungsgeräten arbeitet, ist durch Katarakte gefährdet. Verschärfte Grenzwerte und Vorgaben zur Augenlinsendosimetrie sollen Abhilfe schaffen.

Die Sicherheitsvorkehrungen an den Eingängen zu den Räumen, in denen medizinische Durchleuchtungsgeräte stehen, schaffen Klarheit: Hier tritt starke Röntgenstrahlung auf, und Schutzmassnahmen für Personen, die sich im Raum aufhalten, sind unabdingbar. Die starke Röntgenstrahlung eines Durchleuchtungsgerätes dient dazu, bei Patientinnen oder Patienten Krankheiten zu diagnostizieren oder minimalintensive Eingriffe durchzuführen. Ein erster Blick auf ein solches Gerät mit seinen Strahlenschutzschildern und -vorhängen lässt erahnen, dass die Hersteller nicht nur der Bestrahlung der Patientin oder des Patienten, sondern auch dem Schutz vor Strahlung ein grosses Augenmerk gewidmet haben. Dies ist nötig, denn seit langem ist klar, dass Röntgenstrahlung Haut, Augen und innere Organe und Gewebe schädigt. Schutzmassnahmen sind jedoch nicht nur für Patientinnen und Patienten nötig, sondern besonders auch fürs medizinische Personal, das direkt an der Patientenliege eines Durchleuchtungsgerätes steht. Diese Fachpersonen sind im Laufe ihres Berufslebens während langer Zeit starker Strahlung ausgesetzt. Sie sind bei ihrer anspruchsvollen Tätigkeit darauf angewiesen, dass sie gut sehen. Da können alle Schutzmittel, welche die Sicht auf die Patientenliege einengen, umständlich sein und stören. Dies verleitet die eine oder andere Fachperson dazu, sich selber nicht oder ungenügend zu schützen.

Grenzwert für die Augenlinsendosen mit der Revision der Strahlenschutzverordnung (StSV) gesenkt

Dieses fehlende Schutzbewusstsein kann sich in späteren Jahren erheblich auf die Gesundheit der Augen auswirken. Dass chronische starke Röntgenstrahlung die Augenlinsen trüben kann, ist seit Jahrzehnten bekannt. Dass die Menge oder Dosis der Strahlung, ab der solche Trübungen auftreten können, wesentlich tiefer liegt als die wissenschaftlichen Gremien lange angenommen haben, zeigt die Forschung der letzten Jahre. Die Schweiz hat deshalb anlässlich der letzten Revision der StSV den Grenzwert für die Augenlinsendosen von 150 auf 20 Millisievert pro Jahr reduziert. Strahlenbedingte Linsentrübungen treten mehrheitlich als so genannte posteriore subkapsuläre Katarakte auf. Es handelt sich um spezielle Katarakte, die bei der älteren, nicht strahlenbelasteten Bevölkerung eher selten auftreten. Die Katarakte bestehen aus denaturierten Proteinen von Augenlinsenzellen, die auf der gegen das Augeninnere liegenden Oberfläche der Augenlinse liegen. Diese Proteine trüben das Zentrum der Augenlinse ein, so dass das sichtbare Licht nur noch eingeschränkt auf die Netzhaut fallen kann.

Betroffene Fachpersonen werden insbesondere durch die so genannte Streustrahlung belastet. Sie stellt denjenigen Teil der Röntgenstrahlung des Durchleuchtungsgerätes dar, der im bestrahlten Körperteil der Patientin oder des Patienten gestreut und wieder abgestrahlt wird. Um diese Streustrahlung so stark wie möglich zu begrenzen, sind Strahlenschutzschilde und -vorhänge an den Durchleuchtungsgeräten oder im Raum vorhanden. Aber auch Bleischürzen und Schutzbrillen, die das Personal tragen soll, können die Streustrahlung begrenzen.



Abb. 15
Strahlenschutzmassnahmen für das medizinische Personal, hier umgesetzt an einer biplanaren Durchleuchtungsanlage mit deckenmontierter Bleiglasscheibe und Untertischschutz

Messung der Augenlinsendosen

Um den Schutz der Augen sicherzustellen und die verschärften Grenzwerte einzuhalten, muss das medizinische Personal Dosimeter tragen. Diese messen die Strahlendosis jeweils während eines Monats. Die Schweizerische Gesellschaft für Strahlenbiologie und medizinische Physik SGSMP hat im Jahr 2021 Empfehlungen veröffentlicht, wie die Augenlinsendosen der Fachpersonen am geeignetsten gemessen werden können¹. Die Empfehlungen unterscheiden vier verschiedene Trageorte der Dosimeter. 1) Bei den über der Bleischürze getragenen Dosimetern im Brustbereich ist wegen der Distanz zu den Augen ein geometrischer Korrekturfaktor nötig, damit die gemessene Dosis ein Mass für die Augenlinsendosis darstellt. 2) Falls die bestrahlte Fachperson eine Schutzbrille oder ein Visier trägt, ist neben dem geometrischen Korrekturfaktor ein weiterer Korrekturfaktor nötig, um die Schutzwirkung dieser Schutzmittel zu berücksichtigen. 3) Augenlinsendosimeter messen die Strahlenbelastung am genauesten, sofern sie unter der Schutzbrille bei dem Auge getragen werden, das stärker bestrahlt ist. 4) Falls Augenlinsendosimeter ausserhalb der Schutzbrille oder des Visiers angebracht sind, muss die Dosis wieder-

um mit einem Korrekturfaktor verrechnet werden, der die Schutzwirkung der Brille oder des Visiers berücksichtigt. Typische Korrekturfaktoren hat die SGSMP anhand eigener Messungen und mit einer Literaturrecherche ermittelt. Die Empfehlungen leiten zudem an, wie Korrekturfaktoren für verschiedene Gruppen von Fachpersonen ermittelt werden können.

1 SGSMP 2021. Eye lens dosimetry Recommendations No. 17. <https://srpm.ch/wp-content/uploads/2021/12/recommendations-no17-eye-lens-dosimetry-2021-12.pdf> SGSMP 2021.

Mit Augenlinsendosimetern lässt sich die Dosis am realistischsten abschätzen, sie sind aber umständlicher als Überschürzendosimeter, da die Fachpersonen sie im Bereich der Augen tragen müssen. Die SGSMP hat deshalb die Augenlinsendosen in drei Kategorien aufgeteilt und diesen auch gleich ein Dosimeter zugeordnet: Augenlinsendosen, die kleiner als sechs Millisievert pro Jahr sind, benötigen keine routinemässige Dosimetrie. Bei Dosen, die zwischen sechs und 15 Millisievert pro Jahr liegen, ist die Dosimetrie mit einem Überschürzendosimeter im Brustbereich oder einem Augenlinsendosimeter beim stärker bestrahlten Auge nötig. Bei Dosen, die mehr als 15 Millisievert pro Jahr betragen, sollte eine bestrahlte Fachperson ein Augenlinsendosimeter beim stärker bestrahlten Auge tragen.

In einem weiteren Schritt hat die SGSMP in fünf Spitälern und einer Spitalgruppe die Strahlenbelastung bestrahlter Fachpersonen von verschiedenen Berufsgruppen gemessen. Die Messungen zeigen, dass das technische Personal und das Pflegepersonal auf Grund ihrer geringen Strahlenbelastung die Augenlinsen in der Regel nicht dosimetrieren muss. Im Gegensatz dazu müssen Fachpersonen aus der Gastroenterologie, Orthopädie oder interventionellen Radiologie ihre Augenlinsendosis mindestens mit einem Überschürzendosimeter erfassen. Fachpersonen der am stärksten belasteten Berufsgruppen der Angiologie, interventionellen Kardiologie und Gefässchirurgie empfiehlt die SGSMP zwingend ein Augenlinsendosimeter beim stärker bestrahlten Auge zu tragen. Die SGSMP empfiehlt schlussendlich allen Fachpersonen, die mit Durchleuchtungsgeräten arbeiten, ihre Dosen mit einem Überschürzendosimeter drei Monate lang zu messen. Mit den erhaltenen Resultaten können dann individuell diejenigen Personen ermittelt werden, die eine Überwachung der Augenlinsendosis benötigen.

Rolle des BAG bei der Überwachung der Augenlinsendosis

Die Grenzwerte für die Augenlinsendosen sind in der StSV festgelegt, die Details zur Augenlinsendosimetrie in der Verordnung des EDI über die Personen- und Umgebungsdosimetrie. Aufgabe der Abteilung Strahlenschutz ist es, die Augenlinsendosen zu überwachen, um sie nach Möglichkeit auch zu senken. Das BAG untersucht deshalb alle Vorkommnisse in Spitälern, bei denen die Augenlinsendosen die Warnschwelle von 2 Millisievert pro Monat überschritten haben. Damit können Spitäler rechtzeitig Massnahmen treffen, um die Grenzwerte einzuhalten, Behandlungsabläufe zu optimieren oder eine aussagekräftigere Augenlinsendosimetrie einzuführen. Trotz diesen Bemühungen haben 2021 die Augenlinsendosen einiger Fachpersonen den Jahresgrenzwert überschritten. Dabei handelte es sich insbesondere um Ärztinnen und Ärzte, die sehr viele komplexe Eingriffe mit Durchleuchtung durchführten. Die Zahl der Grenzwertüberschreitungen ist erfreulicherweise seit der Einführung des tieferen Grenzwertes 2018 jedoch rückläufig.

Mögliche Massnahmen wie die Augenlinsendosimetrie als auch Schutzmittel wie mobile Bleiwände, Strahlenschutzschilder oder Schutzbrillen nützen natürlich nur, wenn das Personal sie sorgfältig und optimal umsetzt. Das BAG hat sich deshalb entschlossen, die SGSMP-Empfehlungen in eine eigene Wegleitung einfließen zu lassen, die voraussichtlich im Jahr 2022 erscheint. Sie richtet sich an Fachpersonen, die an Durchleuchtungsgeräten arbeiten, und zeigt auf, wie Spitäler die Augenlinsendosimetrie korrekt durchführen können.



Abb. 16
Augenlinsendosimeter messen die Strahlenbelastung am genauesten, sofern sie unter der Schutzbrille bei dem Auge getragen werden, das stärker exponiert ist.
[Bildquelle: IRSN_Fiche_dosimetre_Cristallin.pdf]

Bessere Lebensqualität bei Krebskranken dank Innovation in der Nuklearmedizin

Die Begeisterung für ihre Arbeit steht den beiden ins Gesicht geschrieben: Wenn Melpomeni Fani und Damian Wild über die Forschung und Anwendung von radioaktiven Medikamenten, so genannten Radiopharmazeutika, sprechen, sprudelt es nur so aus den beiden heraus. Beide sind seit Jahren am Universitätsspital Basel (USB) tätig und haben massgebend an bahnbrechenden Verbesserungen in der nuklearmedizinischen Therapie bei neuroendokrinen Tumoren mitgewirkt.

Die Entwicklung eines innovativen Radiopharmazeutikums

«Ich bin mit Leib und Seele Forscherin und liebe die angewandte Forschung nach wie vor», eröffnet Melpomeni Fani das Gespräch mit dem BAG, auch wenn sie als Abteilungsleiterin der radiopharmazeutischen Chemie am USB heute nicht mehr so oft dazu kommt, an der Front mitzuarbeiten. Die aus der Nähe von Athen stammende Professorin für radiopharmazeutische Chemie war nach dem Studium zuerst in der Industrie tätig, bevor sie die akademische Laufbahn einschlug. Sie hat als Forscherin neue, auf Peptiden basierende Radiopharmazeutika zur Diagnose und Behandlung unterschiedlicher Krebstypen entwickelt. Am USB begann sie 2006 mit der Forschung an Somatostatin-Antagonisten, wie ^{177}Lu -DOTA-JR11. Diese Substanz reichert sich auf Tumorzellen an, die eine vermehrte Anzahl von Somatostatin-Rezeptoren aufweisen – etwa neuroendokrine Tumore – und zerstört diese durch die radioaktive Bestrahlung.

Aufgrund der verschiedenen Strahlungsanteile kann das radioaktive Nuklid Lutetium-177 – neben dem Angriff auf die Krebszellen – die schädlichen Zellen auch in Tomographen sichtbar machen. Damit gehört es zu den sogenannten Thera(g)nostics, einem Ansatz, der Diagnostik und Therapie verzahnt und die patientenspezifische Behandlung verbessert, weil man so schon vor und auch während einer Behandlung die Wirksamkeit für Patientinnen und Patienten abschätzen kann.

Der Durchbruch gelang dem Forscherteam während einem Arbeitsaufenthalt am Universitätsklinikum Freiburg im Breisgau 2011, mit der ersten Anwendung im Patienten als Heilversuch, nachdem *In-vitro*- und *In-vivo*-Versuche mit Mäusen in der präklinischen Phase erfolgreich gewesen waren. «Wir fühlten uns fantastisch», schildert Melpomeni Fani ihre damalige Stimmung. «Aber wir stehen auch zehn Jahre später immer noch am Anfang in der klinischen Anwendung», schränkt sie im selben Atemzug ein. Das Medikament sei vielversprechend und könnte dereinst auch für verschiedene andere Krebsarten, wie etwa Brustkrebs, angewandt werden, die ebenfalls eine erhöhte Anzahl von Somatostatin-Rezeptoren aufweisen.

Wie funktionieren Radiopharmazeutika für onkologische Anwendungen?

Radiopharmazeutika bestehen aus zwei Komponenten: einem radioaktiven Element (Radionuklid) und einem biologisch aktiven Molekül, das als «Pfadfinder» fungiert und das Radionuklid zu einem bestimmten Organ leitet. Diese biochemischen Moleküle werden mit kurzlebigen Radionukliden am Tag der Anwendung verbunden, d. h. jede Dosis wird individuell für die erkrankte Person produziert. Die Strahlungsart bestimmt den Gebrauch als Radiodiagnostikum oder -therapeutikum. Die unterschiedlichen radioaktiv markierten Substanzen – auch theragnostische Radiotracer genannt – binden dabei spezifisch an die Krebszellen und können diese sichtbar machen oder auch zerstören.

Nach der Verabreichung in minimaler Menge folgen radioaktive Arzneimittel im Körper dem durch das Pharmakon vorgegebenen Weg (Tracer-Prinzip). Dieser Prozess kann in einem Tomographen bildhaft dargestellt und quantifiziert werden. Für die Bildgebung werden Radionuklide mit ultrakurzlebigen Gamma-Strahlern verwendet, die eine Halbwertszeit von 1–6 Stunden haben, um möglichst gute Bilder zu erhalten. Für die Therapie kommen Radionuklide mit Halbwertszeiten von einigen Stunden bis mehrere Tage und – je nach Anwendung – einem unterschiedlichen Energiespektrum zur Anwendung. Die therapiewirksamen Strahlungsanteile der therapeutischen Radionuklide haben nur eine geringe Reichweite, wodurch das umgebende gesunde Gewebe geschont wird.

Wegen der kurzen Halbwertszeiten der Radionuklide «rennt man in dieser Forschung auch immer etwas gegen die Zeit, vor allem bei Molekülen für die Bildgebung», betont Melpomeni Fani.



Abb. 17

Das Forscherteam am Unispital Basel (USB), Damian Wild und Melpomeni Fani, hat erhebliche Verbesserungen in der nuklearmedizinischen Therapie bei neuroendokrinen Tumoren bewirkt.

Bahnbrechende Verbesserung bei neuroendokrinen Tumoren

Das in Basel erforschte ^{177}Lu -DOTA-JR11, das nun bereits in der zweiten Phase der klinischen Studien ist, ist ein so genannter Antagonist, der an die Krebszellen andockt aber nicht in die Krebszelle aufgenommen wird. Zuvor wurden Agonisten verwendet, die zwar in die Zellen eindringen, für die es aber weniger Bindungsstellen gibt. Dass ^{177}Lu -DOTA-JR11 gegenüber den herkömmlichen Agonisten etwa drei Mal höhere Tumordosen zeigt, hatte zu Beginn niemand erwartet und kann als bahnbrechende Verbesserung eingestuft werden: Sie verbessert vermutlich nicht nur die nuklearmedizinische Therapie bei neuroendokrinen Tumoren nochmals deutlich, sondern kann nun auch für andere Tumorarten eingesetzt werden, bei denen die Dichte an Somatostatin-Rezeptoren etwas geringer ist. Diese kamen deswegen bisher nicht für eine erfolgversprechende Therapie in Frage. Die klinischen Versuche dazu haben bereits begonnen.

Gezielte individuelle Therapie in der Nuklearmedizin

Auch für Damian Wild, seit 2012 Leiter der Nuklearmedizin am USB, ist die Anwendung des neuen Radiopharmazeutikums ein Rennen gegen die Zeit. Viele der Patientinnen und Patienten sind nämlich austherapiert. Das bedeutet, dass die anderen Methoden häufig nicht mehr wirken, um gegen die Krebserkrankung anzukämpfen. «Schlägt die Therapie mit ^{177}Lu -DOTA-JR11 gut an, können die Krebskranken in guter Lebensqualität wahrscheinlich mehrere Monate Lebenszeit gewinnen», fasst er die Resultate zusammen. Im Gegensatz zur Chemotherapie, die Damian Wild als etwas «brachial» bezeichnet, sei der Ansatz mit einem Radiopharmazeutikum eine gezielte und sehr individuelle Therapie mit weniger Nebenwirkungen. Aus seiner täglichen Arbeit mit krebserkrankten und oft austherapierten Menschen kenne er den *clinical need* und arbeite eng mit der Forschung zusammen.

Wenn man substanziell an einem guten Forschungsergebnis beteiligt war, erfülle einen das mit Befriedigung, so der Spezialist für neuroendokrine Tumore. Vollständige Heilung durch Radiopharmazeutika verspreche bisher allerdings einzig die herkömmliche Radiojodtherapie bei Schilddrüsenkarzinomen. Alle anderen Therapien seien palliativ oder lebensverlängernd, teilweise allerdings um Jahre, weil das Tumorwachstum für eine längere Zeit gestoppt werden könne.

Strahlenschutz stellt besondere Anforderungen

Die Herstellung von ^{177}Lu -DOTA-JR11 erfolgt nach wie vor in der Radiopharmazie des USB, obwohl mittlerweile ein Pharmaunternehmen die Patentrechte erworben hat und die klinische Forschung in Richtung einer Marktzulassung weiter vorantreibt (vgl. Abb. 18). Aus Strahlenschutzgründen muss auch die Therapie stationär erfolgen. Den Patientinnen und Patienten wird das Medikament intravenös verabreicht. Die hinsichtlich Strahlenschutz speziell ausgestattete Bettenstation am Universitätsspital Basel umfasst neun Betten in sieben, zugangskontrollierten Zimmern. In diesen sind die Türen, Wände und Decken verbleit und die Betten mit einer etwa 1,3 m hohen Mauer abgetrennt, so dass eine Verstrahlung der Mitarbeitenden und Besucher so weit wie möglich reduziert werden kann. Auch die Ausscheidungen der Behandelten und das Abwasser werden in Tanks aufgefangen, damit keine Radioaktivität in die Umwelt gelangen kann. Sämtliches Personal wird dosimetrisch überwacht. Bei der Herstellung der Radiopharmazeutika würde man künftig gerne mehr automatisieren, um mehr Therapien anbieten zu können und den besten Strahlenschutz für die Mitarbeitenden zu erreichen.



Abb. 18
Hinter den Chromstahlüren dieser strahlungsabgeschirmten Reinraumzellen stehen die Synthese- und Abfüllautomaten der Radiopharmazie.

Das Therapiezentrum in Basel behandelte zu Beginn der Entwicklung Patientinnen und Patienten aus aller Welt, wie Damian Wild erklärt. Heute wird diese Art von Therapie in zahlreichen anderen Kliniken weltweit eingesetzt, aber auch heute noch kämen viele Erkrankte etwa aus Osteuropa zur Therapie nach Basel. Im Durchschnitt ist ein Bett gut zwei Tage besetzt.

Den Transfer neu entwickelter, hochspezialisierter Medikamente in die tägliche Praxis sieht Damian Wild als sehr sinnstiftend: «Ich habe hier viele Freiheiten als Forscher, sehe aber auch den konkreten Nutzen und freue mich jedes Mal, wenn ich jemandem helfen kann. Ich erhalte noch heute von einer ehemaligen Patientin jedes Jahr eine Weihnachtskarte», erzählt er. Und dann geht er auf seine Arztvisite.

Die Zusammenarbeit mit dem BAG

Die Abteilung Strahlenschutz des BAG ist gemäss Artikel 36 der Verordnung über Klinische Versuche (KlinV) bei klinischen Versuchen der Kategorie C mit Heilmitteln, die ionisierende Strahlen aussenden können, in das Bewilligungsverfahren eingebunden. Das Forscherteam am USB betont, dass die Zusammenarbeit mit dem Fachspezialisten des BAG, Rolf Hesselmann, bei den Forschungsprojekten sehr hilfreich sei. Als erfahrener Radiopharmazeut weiss er um die Bedürfnisse bzw. Stolpersteine in der Forschungsarbeit mit kurzlebigen Radionukliden. Er berät hier insbesondere auch zu den regulatorischen Bestimmungen und spezifischen Lösungsmöglichkeiten für die speziellen Anforderungen.

Aufgaben des BAG im Bereich Radiopharmazeutika und klinische Studien

Bei der Entwicklung und Verabreichung radioaktiver Arzneimittel sind viele gesetzliche Vorgaben aus dem Strahlenschutzgesetz, dem Heilmittelgesetz und dem Humanforschungsgesetz einzuhalten. Die Anwendung von Radiopharmazeutika erfolgt ausschliesslich in spezialisierten nuklearmedizinischen Instituten (rund 50 schweizweit). Diese benötigen eine Umgangsbewilligung für die Tätigkeiten mit radioaktiven Stoffen. Das BAG überwacht dafür die Einhaltung der strahlenschutzspezifischen, gesetzlichen Anforderungen an die Anwendung von Radiopharmazeutika am Menschen (Ausbildung, Räumlichkeiten, Geräte und Betriebsorganisation).

Häufig werden die Radiopharmazeutika in den nuklearmedizinischen Instituten frisch zubereitet, indem eine nicht-radioaktive und eine radioaktive Komponente zusammengegeben werden. Die Qualität dieser sogenannten Markierung muss vor der Anwendung kontrolliert werden. Da diese Tätigkeiten besondere Anforderungen stellen, führt das BAG dazu regelmässig Audits in den Betrieben durch.

Bei der Zulassung von Radiopharmazeutika durch Swissmedic muss das BAG eine Zustimmung in Bezug auf Strahlenschutz-Aspekte erteilen. Beide Behörden werden dazu von der Fachkommission für Radiopharmazeutika beraten, die aus sieben externen Fachleuten verschiedener Fachgebiete besteht, die alle vier Jahre vom Bundesrat ernannt werden. Die Kommission berät zudem das EDI bei der Aufnahme von neuen Wirkstoffen in den Anhang 1 der Verordnung für Arzneimittel. Dieser Anhang ermöglicht einen geordneten Zugang zu innovativen Radiopharmazeutika bereits vor der Zulassung oder auch für Nischenprodukte, bei denen sich eine Zulassung nicht rechnet. Hier ist das BAG die ausführende Behörde, nicht Swissmedic.

Bei klinischen Studien mit Radiopharmazeutika gibt das BAG unter bestimmten Voraussetzungen eine Stellungnahme zuhanden von Swissmedic und gegebenenfalls auch der Ethikkommission ab.

Aktionsplan Radium 2015–2022

Der Bundesrat hat den Aktionsplan Radium 2015–2022 verabschiedet, um die radiologischen Altlasten zu bewältigen, die auf die in der Uhrenindustrie bis in die 1960er Jahre verwendete, radium-226-haltige Leuchtfarbe zurückgehen. In diesem Kapitel wird der Stand der Teilprojekte «Gebäude» und «Deponien» dargestellt.

Teilprojekt «Gebäude»

Das Teilprojekt «Gebäude» hat zum Ziel, potenziell mit Radium-226 kontaminierte Liegenschaften zu identifizieren, Messungen durchzuführen und falls erforderlich zu sanieren.

Inventar der betroffenen Liegenschaften

Zwischen 2020 und 2021 beauftragte das Bundesamt für Gesundheit (BAG) die Firma CSD Ingenieure AG mit historischen Nachforschungen in den kantonalen Archiven von Basel-Landschaft, Genf und Waadt und ergänzte damit die 2018 veröffentlichte Studie der Universität Bern. Die Ergebnisse dieser beiden Studien sind unter www.bag.admin.ch/radium-altlasten (historische Nachforschungen) verfügbar.

Insgesamt ergaben die historischen Nachforschungen rund 1100 potenziell mit Radium-226 kontaminierte Liegenschaften. Fast 90 % der Liegenschaften des Inventars befinden sich in den Kantonen Bern, Neuenburg und Solothurn. Die restlichen 10 % verteilen sich auf die Kantone Basel-Landschaft, Basel-Stadt, Genf, Jura, Luzern, St. Gallen, Tessin, Waadt und Zürich.

Untersuchung der Liegenschaften

Bis zum 31. Dezember 2021 wurden 880 Liegenschaften auf Radium-226-Kontaminationen untersucht, was 80 % der im Inventar erfassten Liegenschaften entspricht (Abb. 19). Wenn die effektive Dosis, mit der die Bewohner und Bewohnerinnen belastet werden, 1 Millisievert (mSv) pro Jahr überschreitet, ist eine Sanierung notwendig. Im Aussenbereich wurde der Grenzwert für die Konzentration von Radium-226 in der Erde bei 1000 Bq/kg festgelegt. Die im Rahmen des Aktionsplans angewendeten dosimetrischen Modelle wurden in einem wissenschaftlichen Artikel beschrieben, der im Dezember 2021 in der Fachzeitschrift *Radiation Protection Dosimetry*¹ erschien.

1 C. Murith, G. Di Tommaso, S. Estier, T. Flury, M. Palacios-Gruson, C. Stalder, S. Baechler, MODELLING THE EXPOSURE OF RESIDENTS OF A RADIUM-CONTAMINATED LIVING PLACE, *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 197, Issue 2, December 2021, Pages 101–110, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncab167>

Kanton	Anzahl untersuchte Liegenschaften	Sanierung nicht erforderlich	Sanierung erforderlich	Sanierung abgeschlossen oder im Gange
BL	11	8	3	1
BS	1	1	0	0
BE	277	221	56	52
GE	26	24	2	2
JU	28	28	0	0
LU	1	1	0	0
NE	370	323	47	38
SG	1	1	0	0
SH	1	0	1	1
SO	134	108	26	23
TI	3	3	0	0
VD	19	18	1	0
ZH	8	7	1	1
Total	880	743	137	118

Abb. 19
Stand der diagnostischen Untersuchungen und der Sanierungen am 31. Dezember 2021

Sanierungsarbeiten

Von den 880 untersuchten Liegenschaften sind 137 sanierungsbedürftig. Der Anteil der sanierungsbedürftigen Liegenschaften liegt damit bei etwa 16 %. Bei 118 Liegenschaften sind die Sanierungsarbeiten abgeschlossen oder im Gange (Abb. 19).

Das Vorgehen beinhaltet die Beseitigung der Kontamination durch einen spezialisierten Betrieb sowie die Entsorgung, Kontrollmessungen und die Wiederherstellung des Standards vor Beginn der Arbeiten. Der Sanierungsprozess umfasst auch die Überwachung der Konzentration von Radon-222 in der Raumluft, gemessen in Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3), als Zerfallsprodukt von Radium-226. Abbildung 20 zeigt den starken Rückgang der Radon-222-Konzentration nach der Beseitigung der Kontamination mit Radium-226 in einem Schlafzimmer von mehreren tausend Bq/m^3 auf etwa $200 Bq/m^3$. Mit einem Ventilator konnte das Personal der Sanierungsfirma während der Arbeiten vor einer Exposition durch hohe Radonkonzentrationen geschützt werden (lila eingefärbte Bereiche in der Grafik).

Problematik der Mischkontaminationen

In fast 20 % der Aussenbereiche, die zu sanieren waren, wurde eine Mischkontamination (Kontamination mit radioaktiven und chemischen Schadstoffen) festgestellt. Das BAG koordiniert die Sanierung von Parzellen mit Mischkontaminationen von Fall zu Fall mit den betroffenen Kantonen. Komplexe Fälle werden in der «Unterstützungsgruppe Mischkontaminationen» diskutiert, in der neben dem BAG das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und die Suva vertreten sind, um die Einhaltung der Strahlenschutz- und der Umweltschutzgesetzgebung sowie der Vorschriften zum Schutz der Arbeitskräfte zu gewährleisten. 2021 hat das BAG eine neue Zusammenarbeit mit der Firma ARCADIS ins Leben gerufen, die mit Radium-226 kontaminierte Proben auf ein breites Spektrum chemischer Schadstoffe untersucht. Dies ergänzt die bestehende Zusammenarbeit mit dem Labor Spiez, das solche Proben auf Schwermetalle analysiert.

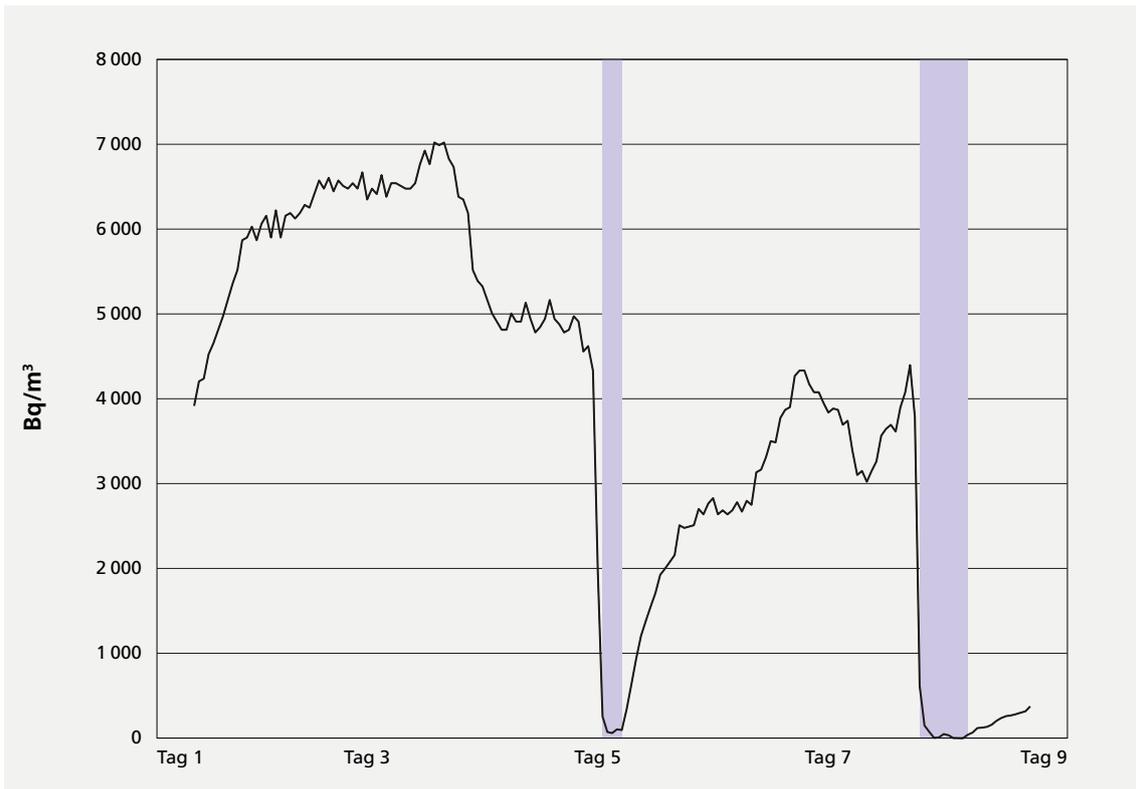


Abb. 20
Beispiel für die Entwicklung der Radon-222-Konzentration (in Bq/m³) während der Sanierung aufgrund einer Radium-226-Kontamination. Lila eingefärbt sind Phasen, während denen ein Ventilator verwendet wurde.

Entsorgung

Im Jahr 2021 wurden mehr als 250 m³ inerte Abfälle im Rahmen des Aktionsplans zur Ablagerung auf Deponien gemäss Artikel 114 StSV abgegeben, wobei die maximale spezifische Aktivität von 10 000 Bq/kg für Radium-226 eingehalten wurde.

Zusätzlich wurden fast 16 000 Liter brennbare Abfälle in einer Verbrennungsanlage gemäss Artikel 116 StSV entsorgt, der eine maximale wöchentliche Aktivität von 2 MBq für Radium-226 vorsieht. Es handelte sich insbesondere um Sondermüll, d. h. etwa dreissig Möbelstücke, die zuvor in einem kontrollierten Bereich zerlegt worden waren, sowie etwa zwanzig Fensterrahmen nach einer Asbestsanierung.

Abfälle, deren Kontamination die genannten Werte übersteigt, gelten als radioaktive Abfälle und werden unter Aufsicht des BAG konditioniert und in das Bundeszwischenlager befördert (Abb. 21). 2021 wurden auf diesem Weg knapp 1800 Liter Abfälle entsorgt.



Abb. 21
Konditionierung von stark mit Radium-226 kontaminierter Erde für die Entsorgung im Bundeszwischenlager.

Verzögerung aufgrund der Pandemie

Das BAG prüft derzeit Möglichkeiten, den Aktionsplan Radium bis Ende 2023 zu verlängern. Aufgrund der Pandemie musste das BAG seine Einsätze vor Ort zwischen 2020 und 2021 mehrmals aussetzen, insbesondere bei Privatpersonen, was bei 80 % der betroffenen Liegenschaften der Fall war. In einem COVID-19-Schutzkonzept wurden die Einzelheiten zur Kommunikation und Intervention festgelegt. Diese Einschränkungen führten zu einer Verzögerung von einem Jahr bei den diagnostischen Untersuchungen und den Sanierungen, trotz der zusätzlichen externen Unterstützung bei den diagnostischen Untersuchungen.

Teilprojekt «Deponien»

Ziel des Teilprojekts «Deponien» ist die Identifikation alter Deponien, die möglicherweise mit Radium-226 kontaminierte Abfälle enthalten. Ausserdem sollen Massnahmen festgelegt werden, welche die Umwelt und die Gesundheit der Bevölkerung und des Personals vor den Gefahren solcher Abfälle schützt.

Im Oktober 2021 veröffentlichte das BAG einen technischen Bericht mit dem Titel «Erfassung und Verwaltung von ehemaligen Deponien, die radium-kontaminierte Abfälle enthalten könnten» unter www.bag.admin.ch/radium-altlasten (Radium-Altlasten in Deponien). Dieser Bericht, der in Zusammenarbeit mit dem BAFU und in Absprache mit den betroffenen Kantonen erstellt wurde, definiert die Methode zur Identifizierung potenziell betroffener ehemaliger Deponien, ihre Einstufung in drei Risikokategorien sowie die Schutzmassnahmen, die insbesondere bei Aushubarbeiten zu ergreifen sind.

Die hauptsächlich betroffenen Kantone (Bern, Genf, Jura, Neuenburg und Solothurn) haben damit begonnen, ihre alten Deponien nach dem festgelegten Prozess zu klassifizieren. Bisher wurden mehr als 280 alte Deponien identifiziert, die möglicherweise mit Radium-226 kontaminierte Abfälle enthalten. Die entsprechende Liste wird unter demselben Link zu Informationszwecken veröffentlicht.

Das BAG bereitet derzeit eine Richtlinie zur Umsetzung der langfristigen Überwachung und zur Klärung der Verantwortlichkeiten der verschiedenen Interessengruppen vor. Es ist geplant, die hauptsächlich betroffenen Kantone im Laufe des Jahres 2022 zu konsultieren.

Start des Aktionsplans Radon 2021–2030

Im Berichtsjahr haben die Arbeiten zur Umsetzung des Aktionsplans Radon 2021–2030 gestartet. Der Bundesrat hat diesen am 8. Mai 2020 verabschiedet. Der Aktionsplan definiert vier Stossrichtungen mit insgesamt zwölf Zielen. Dadurch soll der Radonschutz weiterentwickelt und vor allem verbessert werden. Neben einem ausgebauten Schutz bei Immobilien, der vereinfachten Risikoabschätzung und der weiterentwickelten Kompetenzen zu Radon, fokussiert der Aktionsplan neu auch auf den Radonschutz von Personen am Arbeitsplatz.

Start des Aktionsplans Radon 2021–2030

Der Aktionsplan Radon 2021–2030 trägt einerseits den neuen Herausforderungen im Radonschutz Rechnung und berücksichtigt andererseits die Ziele, die im abgeschlossenen Aktionsplan 2012–2020 nicht wie gewünscht erreicht werden konnten. Der Radonschutz im Immobilienpark muss mit einem Schwerpunkt auf Neubauten weiter verbessert werden. Die Energiestrategie 2050, die den Energieverbrauch in Gebäuden reduzieren und diese nachhaltiger machen soll, stellt dabei für den Radonschutz eine neue Herausforderung dar. Die wichtigen Aspekte «dichte Gebäudehülle» und «ausreichender Luftaustausch» müssen in Einklang gebracht werden.

Die Kommunikation hinsichtlich des Gesundheitsrisikos durch Radon muss verbessert werden. Es soll vor allem dort kommuniziert werden, wo das Risiko direkt gemindert werden kann, etwa bei der Planung von Neubauten, grösseren Umbauten oder auch bei Immobilientransaktionen. Darüber hinaus muss es einfacher werden, das persönliche Radonrisiko zu ermitteln. Dazu braucht es einfachere und attraktivere Tools, um die eigene Radonbelastung abschätzen zu können.

Die Zusammenarbeit mit Organisationen der Arbeitswelt, insbesondere im Baugewerbe, soll weitergeführt und verstärkt werden. Dabei ist es vor allem wichtig, geeignete Lehrmittel und Werkzeuge zur Verfügung zu stellen, die es den Berufsverbänden erleichtern, das Thema Radon in ihre Lehrpläne aufzunehmen. Die Ausbildung von Radonfachpersonen in der Schweiz soll zwischen den Sprachregionen harmonisiert und auf eine klar definierte Grundlage gestellt werden. Dies soll die Voraussetzungen schaffen, dass künftig alle Elemente eines guten Radonschutzes, wie etwa die Beratung, die Radonmessung oder die Radonsanierung, aus einer Hand angeboten werden können.

Der Arbeitnehmerschutz bildet ein neues Element im Rahmen des Aktionsplans. Die mit der Revision der Strahlenschutzverordnung (StSV) neugeschaffene Kategorie des radon-exponierten Arbeitsplatzes muss dabei klar definiert werden. Arbeitsplätze dieser Kategorie sollen identifiziert werden können. Der ganze Prozess von der Messung über die Dosisabschätzung bis hin zur persönlichen Radondosimetrie muss neu aufgebaut und definiert werden. Dabei ist die Zusammenarbeit mit der Suva, dem Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) oder dem Eidgenössischen Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) besonders wichtig.

Die vier Stossrichtungen des Aktionsplans: Stand und Ausblick

Immobilienpark

Im Rahmen der Weiterentwicklung der SIA-Norm 180 wird in Zukunft eine engere Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein (SIA) möglich. Die entsprechende Normenkommission des SIA hat dazu eine Kontaktperson nominiert, die den direkten Austausch zwischen dem BAG und dem SIA vertiefen und vereinfachen soll. Um besser auf den Zusammenhang zwischen energetischen Massnahmen in Gebäuden und der Innenraumlufthausqualität aufmerksam zu machen, will das BAG den Austausch mit dem Bundesamt für Energie (BFE) verstärken. Das BFE wird deshalb neu einen Vertreter in den Steuerungsausschuss des Aktionsplans Radon 2021–2030 entsenden. Als erste konkrete Massnahme ist geplant, die BAG-Webseiten mit spezifischen Informationen zu ergänzen, die aufzeigen sollen, was bei energetischen Massnahmen in Gebäuden hinsichtlich Radon zu beachten ist. Schliesslich wurde das Projekt *Radon Mitigation Efficiency (RAME)* abgeschlossen, das insbesondere die langfristige Funktionalität von Radonschutzmassnahmen untersucht hat. Die gewonnenen Erkenntnisse sind in einer kleinen Broschüre dokumentiert, die Tipps für Gebäudeeigentümer bzw. Gebäudeeigentümerinnen betreffend Radonsanierungen bereithält (Abb. 22).

Gesundheitsrisiko

Die Kommunikation zu gesundheitlichen Risiken, die durch das nicht wahrnehmbare Radon entstehen können, ist schwierig. Ein erster Schritt, um die Kommunikation in diesem Bereich zu verbessern, ist der «Radon-Check», der online verfügbar ist unter www.radonkarte.ch: Er erlaubt es, die Dringlichkeit einer Radonmessung in einem bestimmten Gebäude abzuschätzen. Durch ähnliche Methoden, die über reine Radonmessungen hinausgehen, möchten wir auch die Abschätzung des persönlichen Radonrisikos erleichtern. Dazu können aber auch Kurzzeitmessungen gehören, die ein verlässliches Resultat liefern.

Generell muss die Kommunikation verstärkt werden, insbesondere in Situationen, in denen Radon ein relevantes Thema ist. Dazu zählen Immobilientransaktionen oder auch Mietverhältnisse. Eine Broschüre, die die rechtlichen Aspekte des Radonschutzes in solchen Situationen behandelt, wurde überarbeitet, sie wird 2022 publiziert.

Radonkompetenz

Zusammen mit Holzbau Schweiz, dem Berufsverband der Holzbaubranche, wurde ein Projekt angestossen, um ein Lernmodul zum Thema Radon für die Lernplattform «Holzbau-Lab» zu erarbeiten. Das Modul soll aus Webinhalten und kurzen Lernfilmen bestehen und eine Einführung in die Radonthematik bieten. Dies ist ein Pilotprojekt für die vertiefte Zusammenarbeit auch mit anderen Berufsverbänden. Für die Ausbildung der Radonfachpersonen wurde zusammen mit den regionalen Radonfachstellen ein Aus- und Fortbildungskonzept erarbeitet, das zur Harmonisierung der Radonausbildung in der Schweiz beitragen soll. Vor allem die Fortbildung, die für die Radonfachpersonen alle fünf Jahre obligatorisch ist, muss auf einheitliche Art in den drei Sprachregionen etabliert werden. Ab 2022 sollen alle Kurse auf der Basis dieses Aus- oder Fortbildungskonzepts durchgeführt werden. Die Konzepte sollen regelmässig angepasst werden und so in den nächsten Jahren zur Zusammenführung der Kompetenzen von Radonfachpersonen und anerkannten Radonmessstellen führen – dies im Hinblick auf die Verwirklichung des Ziels im Radonaktionsplan «Radon aus einer Hand».

Arbeitnehmerschutz

Die Einführung des Begriffs der *radonexponierten Arbeitsplätze* erfordert die entsprechende Anpassung einiger bestehender Tools. So muss die Radondatenbank für die Erfassung der Messresultate an radonexponierten Arbeitsplätzen und vor allem für die eventuell folgende Dosisabschätzung angepasst werden. Dieser neu programmierte Teil steht in einer Testversion bereits zur Verfügung. Die Arbeitsgruppe «Radon am Arbeitsplatz», die für diese Stossrichtung gegründet wurde, hat begonnen, den ganzen Prozess, von der anerkannten Radon-Messung über die Dosisabschätzung

bis hin zur möglicherweise nötigen Radon-Personendosimetrie, für den Radonschutz an Arbeitsplätzen zu definieren. In einem ersten Schritt muss bestimmt werden, welche Arbeitsplätze als radonexponiert gelten sollen und somit gemessen werden müssen. Die Arbeitsgruppe Arbeitnehmerschutz besteht aus Vertretern und Vertreterinnen der zuständigen Aufsichtsbehörden (Suva, ENSI, BAG), dem VBS und dem Eidgenössischen Institut für Metrologie Metas.

Koordinationsplattform Radon für Vollzugsbehörden

Am 23. November 2021 fand das erste Treffen der Koordinationsplattform Radon für Vollzugsbehörden statt. Dies ist ein neues Format, das von einigen Kantonen gewünscht wurde. Es soll den Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen den Vollzugsbehörden im Bereich Radon fördern und vertiefen. An diesem ersten Event wurde über den Stand des Aktionsplans Radon berichtet und die Aktivitäten aus den Arbeitsgruppen vorgestellt. Die Diskussionen

drehten sich vor allem um den Einbezug der Baubewilligungsbehörden, die Erfahrungen im Zusammenhang mit den Messkampagnen in Schulen und Kindergärten und das Öffentlichkeitsprinzip, das auch in diesem Jahr dazu geführt hat, dass Messresultate aus Schulen und Kindergärten veröffentlicht worden sind. Die Resultate der im Vorfeld des Treffens durchgeführten Umfrage ermöglichen es, besser auf die Bedürfnisse und Anliegen der kantonal für Radon zuständigen Behörden einzugehen.

Begleitgruppe des Aktionsplans Radon 2021–2030

Die Begleitgruppe des Aktionsplans Radon 2021–2030, in der neben Behördenvertreter/innen alle unsere Partner/innen vertreten sind, konnte sich in diesem Jahr noch nicht treffen. Aus diesem Grund wurde die Begleitgruppe mit Hilfe eines Newsletters informiert. Das erste Treffen der Begleitgruppe im Rahmen des Aktionsplans ist am 4. Mai 2022 geplant.

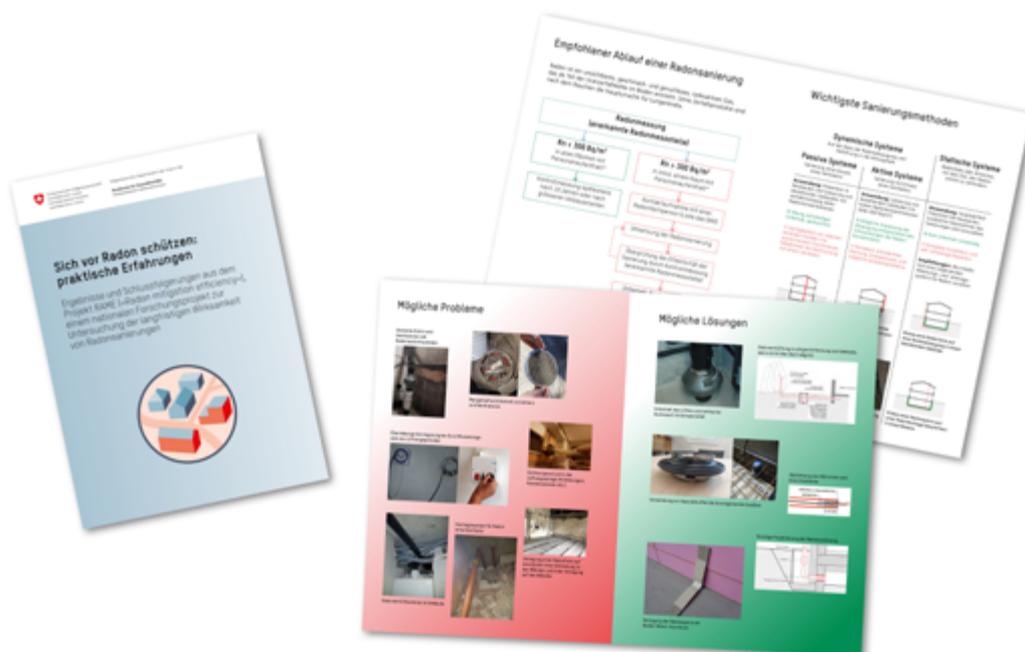


Abb. 22
Die RAME-Broschüre hält Tipps für die langfristige Effizienz von Radonschutzmassnahmen bereit.

NORM: Natürlich radioaktive Materialien

Seit kurzem ist der Umgang mit natürlich radioaktiven Materialien in der Strahlenschutzverordnung (StSV) geregelt. Ein neues Umsetzungskonzept und eine neue Wegleitung sollen die Zusammenarbeit zwischen Industrie, Bewilligungsbehörden und Vollzugsorganen optimieren.

Rohmaterialien natürlicher Herkunft und daraus hergestellte Produkte können natürliche Radionuklide enthalten, wie etwa Kalium-40, Uran-238, Uran-234, Radium-226, Blei-210, Thorium-232 oder Radium-228. Wenn sie keine zusätzlichen künstlichen radioaktiven Stoffe enthalten, gelten diese Materialien als sogenannte *naturally occurring radioactive materials* (NORM). Sie fallen in den Geltungsbereich der revidierten StSV. Ziel der rechtlichen Bestimmungen ist es, mit stärker strahlenden Materialien fachgerecht umzugehen und diese korrekt zu entsorgen. Zu diesem Zweck hat das BAG, das als zuständige Behörde solche Entsorgungen und Abgaben bewilligt, ein Umsetzungskonzept erarbeitet (Abb. 23).

Erster Schritt des Umsetzungskonzepts: Zusammenarbeit mit betroffenen Industrien

Im ersten Schritt erfasst das BAG in Zusammenarbeit mit der SUVA mögliche betroffene Betriebe, die in den Industriezweigen gemäss Artikel 168 StSV tätig sind. Dies sind Grundwasserfilteranlagen, die Erdgasproduktion, die Tiefengeothermie, die Zirkon- und Zirkonium-Industrie, die Zementherstellung, der Umgang mit hitzebeständigen Verkleidungen sowie der Tunnelbau in Gesteinsformationen mit erhöhtem Uran- oder Thoriumgehalt. Gemäss StSV müssen betroffene Betriebe prüfen, ob sie über Materialien mit erhöhten Konzentrationen von natürlichen Radioisotopen, also NORM, verfügen. Die Betriebe

müssen dem BAG melden, ob NORM vorhanden sind, wie stark diese strahlen, ob sie das Personal beruflich exponieren oder ob nicht zu vernachlässigende Strahlendosen für die Bevölkerung auftreten könnten. Um diesen Prozess zu unterstützen, nimmt das BAG mit den Verbänden der betroffenen Industriezweige oder mit grösseren Betrieben aktiv Kontakt auf. Im Jahr 2021 haben das BAG und die SUVA beispielsweise cemsuisse, den Verband der Zementindustrie kontaktiert.

Erfahrungen mit NORM existieren in der Schweiz in gewissen Industriezweigen schon lange. So ist im Tunnelbau mit radioaktiven Materialien zu rechnen, wenn vererzte Zonen angefahren bzw. angebohrt werden. Die Vorgehensweise, wie solches Ausbruchsmaterial oder auch Baumaterialien gemessen und triagiert werden können, ist seit langem erprobt. Das Gleiche gilt für den Umgang mit Materialien aus Zirkon, einem Mineral mit einer oft erhöhten Radioaktivität. In anderen Industriezweigen steht eine umfassende Analyse von möglichen problematischen Punkten noch aus, auch wenn bereits Radioaktivitätsmessungen von NORM bestehen. So können sich bei der Trinkwasseraufbereitung in Grundwasserfilteranlagen oder bei Tiefengeothermie-Installationen im Wasser gelöste Radionuklide auf Filtermaterialien oder in Rohrverkrustungen ablagern. NORM treten auch in hitzebeständigen Verkleidungen in Hochtemperaturöfen wie beispielsweise bei der Zementherstellung auf und betreffen dort vor allem den Arbeitnehmerschutz. Da in der Schweiz keine entsprechenden Projekte am Laufen sind, ist die Erdgasproduktion gegenwärtig kein Thema.

Zweiter Schritt: Umgang mit Abfällen, die NORM enthalten

Der zweite Schritt betrifft Abfälle, die NORM enthalten, deren Aktivität über der NORM-Befreiungsgrenze (LLN) liegt. Diese Befreiungsgrenze gilt für Feststoffe und liegt für Radionuklide der Uran-238-Zerfallsreihe sowie der Thorium-232-Zerfallsreihe einheitlich bei 1 Bq/g; für Kalium-40 bei 10 Bq/g. Betriebe mit Abfällen, die die NORM-Befreiungsgrenze überschreiten, benötigen für deren Entsorgung eine Zustimmung des BAG. Diese legt Kriterien und Vorgehen zu Deponierung, Verbrennung, Recycling und Ausfuhr so fest, dass dem Strahlenschutz Genüge geleistet wird. Im Weiteren klärt das BAG gemäss Artikel 170 StSV stichprobenmässig ab, ob Stoffe mit erhöhter natürlicher Radioaktivität in Baumaterialien gelangen. Mit dem Aktivitätskonzentrationsindex wird bestimmt, was in Baumaterialien zulässig ist. Dies ist ein strengeres Kriterium als die NORM-Befreiungsgrenze, da eine mögliche Strahlenbelastung von Menschen durch Materialien im Wohnungsbau naturgemäss höher ist, als eine Belastung durch Stoffe auf einer Deponie oder bei einer Verbrennung. Das BAG informiert die Bevölkerung über die Ergebnisse der Messungen von NORM-Radioaktivität in Baumaterialien.

Dritter Schritt: NORM in Produkten, Typenbewilligungen, ordentliche Bewilligungen

Danach wird geprüft, ob Produkte NORM enthalten, deren Radioaktivität grösser als die NORM-Befreiungsgrenze ist. Eine Überschreitung der Befreiungsgrenze schliesst aber eine sichere Verwendung nicht unbedingt aus, wenn geeignete Vorsichtsmassnahmen eingehalten werden (z. B. bei Strahlsanden). In solchen Fällen kann das BAG eine Typenbewilligung nach Artikel 15 StSV an Hersteller oder Händler ausstellen, damit Verwenderinnen oder Verwender keine separate Bewilligung für jede einzelne Verwendung benötigen. Eine Typen-

bewilligung für NORM-Material verpflichtet Verwenderinnen oder Verwender, die Anweisungen des Herstellers/Lieferanten zum sicheren Umgang und zur konformen Entsorgung einzuhalten, damit Personen bzw. die Umwelt nicht unzulässig exponiert werden. Typenbewilligungen gibt es im Moment für Strahlsande, die aus Zirkon hergestellt sind. Die Konzentration von Thorium-232 liegt hier typischerweise über der NORM-Befreiungsgrenze. Das Thorium ist aber extrem gut im Material gebunden und sehr schlecht wasserlöslich. Unter geeigneten Strahlenschutzmassnahmen ist daher durchaus ein sicherer Umgang möglich. Vor der Erteilung einer Typenbewilligung prüft das BAG auch, ob kein gleichwertiges Strahlmittel zur Verfügung stehen würde, das nicht NORM-haltig ist.

Bei NORM mit vergleichsweise hohen Konzentrationen von natürlichen Radioisotopen, die zu einer möglichen Dosis für Arbeitnehmende von mehr als 1 mSv/Jahr oder zu einer nicht vernachlässigbaren Dosis für die Bevölkerung führen können, sieht Artikel 9 StSV eine ordentliche Bewilligung vor. Im Moment gibt es kein Produkt, das eine solche Bewilligung benötigt.

Wegleitung zu NORM-Abfällen

Kurz vor der Fertigstellung steht die «Wegleitung zur Entsorgung von NORM-Abfällen». Sie regelt die Zusammenarbeit zwischen den Behörden (BAG, ENSI, Suva, BAFU und den kantonalen Umweltschutzbehörden) bei der Entsorgung von Abfällen, die NORM enthalten. Sie definiert die Höchstkonzentrationen pro Radionuklid für bestimmte Deponien als auch deren Abwässer, so dass der Schutz des Grundwassers gewährleistet ist. Sie beschreibt die Überwachung bei Deponien, die Massnahmen bei Verbrennungen und zeigt das Vorgehen bei einer allfälligen Ausfuhr von Abfällen ins Ausland auf. Der letzte Punkt ist allerdings komplex, da die Radioaktivität oft als Nebenbelastung in chemisch kontaminierten Stoffen auftritt, so dass die Wegleitung erst einen ersten Weg aufzeigen kann.

NORM in Lebensmitteln

Nicht unter die NORM-Bestimmungen der StSV fallen natürliche Radionuklide, die in bestimmten Lebensmitteln, in Raucherwaren und im Trinkwasser vorkommen. Das BAG legt Wert

darauf, die Bevölkerung trotzdem fundiert zu informieren. Es hat dazu etwa eine Studie zu NORM in Tabakwaren in Auftrag gegeben. Die kantonalen Laboratorien und das Prüflabor des BAG führen auch Untersuchungen an Lebensmitteln durch und publizieren die Ergebnisse.

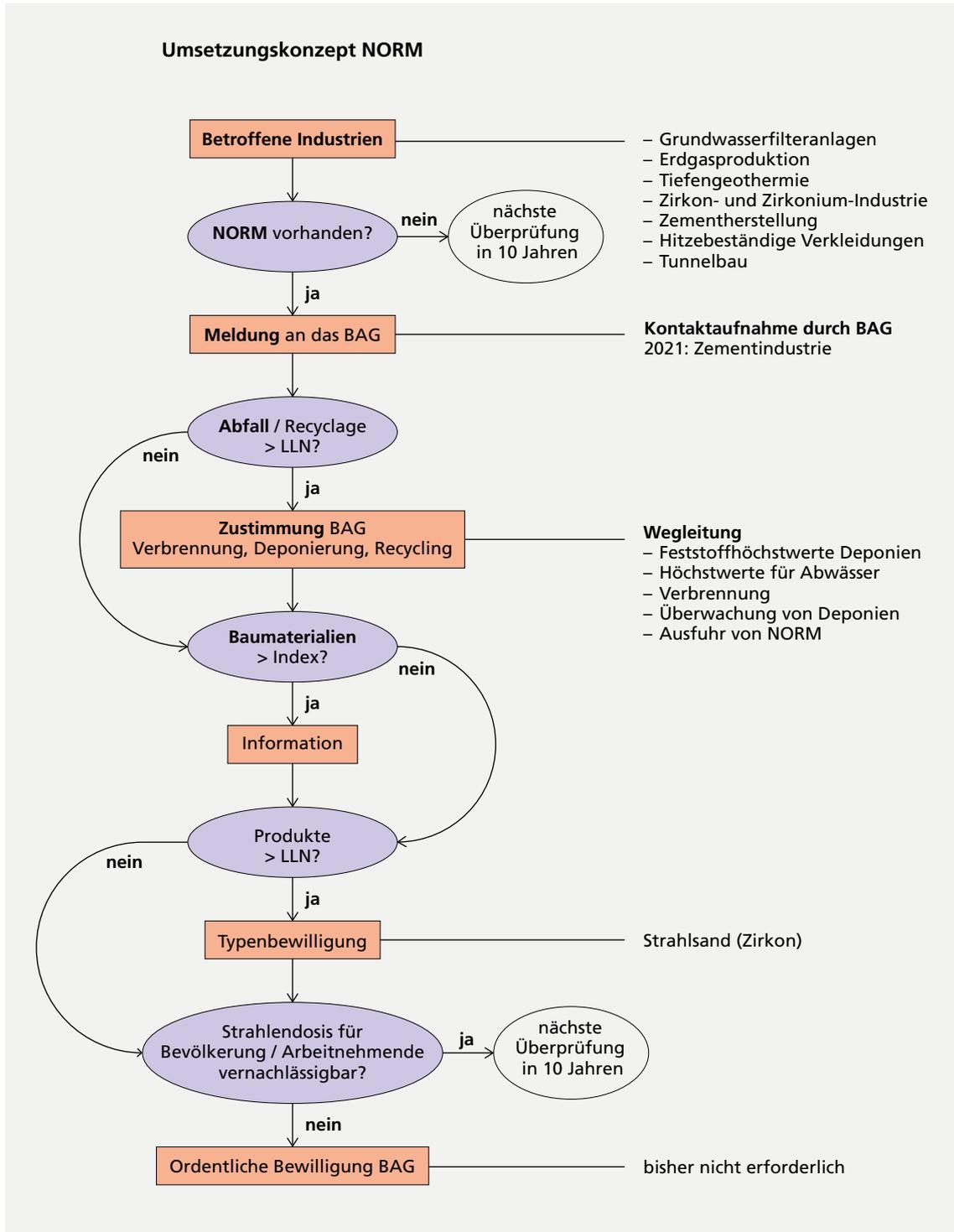


Abb. 23

Ein neues Umsetzungskonzept und eine neue Wegleitung sollen die Zusammenarbeit zwischen Industrie, Bewilligungsbehörden und Vollzugsorganen im Bereich NORM (natürlich radioaktive Materialien) regeln.

Überwachung der Umwelt

Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) ist in der Schweiz für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt zuständig. Nach den Sahara-Sandstürmen im Februar 2021 erhielt die Überwachung der Radioaktivität in der Luft an Schweizer Messstationen besondere Aufmerksamkeit. Im Interview auf Seite 6 erklärt Sybille Estier, Leiterin der Sektion Umweltradioaktivität beim BAG, wie die Unfälle von Tschernobyl und Fukushima die Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz beeinflusst haben und welche aktuellen und zukünftigen Herausforderungen bestehen. Diese betreffen insbesondere das Projekt MURAIL, dessen Schwerpunkt die Überwachung der Radioaktivität in grosser Höhe ist.

Radiologischer Zustand der Umwelt beim KKW Mühleberg vor dessen Stilllegung

Die BKW Energie AG hat das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) am 15. September 2020 endgültig vom Netz genommen. Dieser Schritt markiert den Übergang zwischen der Betriebsbewilligung und dem Stilllegungsentscheid. Zwar sind zu diesem Zeitpunkt neue Bestimmungen zur Freisetzung radioaktiver Stoffe in Kraft getreten, doch wurde nur ein Teil der Abgabelimiten angepasst. Die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt wird hingegen wie im Betriebsmodus fortgesetzt.

Zwischen 2017 und 2019 hat das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) in Absprache mit dem BAG das bestehende Programm zur Überwachung der Umweltradioaktivität in der Umgebung des KKM intensiviert, insbesondere die Bodenmessungen. Dieses Zusatzprogramm sollte eine objektive Bewertung der möglichen radiologischen Auswirkungen der Rückbauarbeiten auf die Umwelt und die Bevölkerung ermöglichen. Das ENSI und das BAG veröffentlichten die entsprechenden Ergebnisse im April 2021 in einem

gemeinsamen Bericht mit dem Titel «Ergänzungsprogramm: Nullpegelmessung Rückbau Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) 2017–2019». Dieser Bericht ist verfügbar unter www.bag.admin.ch/ura.

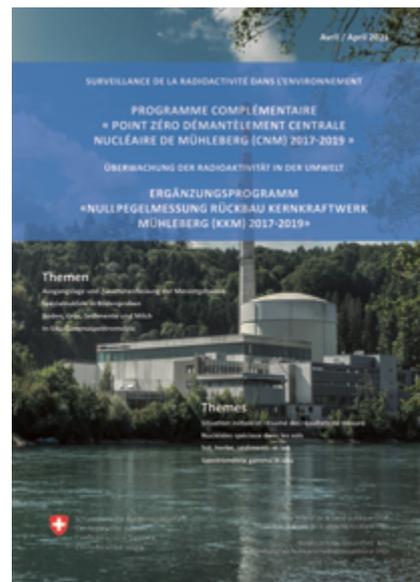


Abb. 24
Bericht «Ergänzungsprogramm: Nullpegelmessung Rückbau Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) 2017–2019»

Wichtigste Ergebnisse der Überwachung im Jahr 2021

Die vom BAG betriebenen automatischen Messnetze zur Überwachung der Radioaktivität in der Luft und im Flusswasser (URAnet aero und URAnet aqua) ergaben keine anormalen Werte für 2021. Die im Rahmen des nationalen Überwachungsprogramms der Radioaktivität in der Umwelt zu den verschiedenen Umweltkompartimenten im Labor nachgewiesenen Spuren von Radioaktivität entsprechen den erwarteten Ergebnissen: Sie belegen den Normalbetrieb der Unternehmen oder Institute mit einer Genehmigung zur Abgabe radioaktiver Stoffe in die Umwelt oder sind die Folge von Altlasten.

Die Ergebnisse bestätigten zudem, dass in der Schweiz die natürliche Radioaktivität weitgehend überwiegt, mit regionalen Unterschieden, die hauptsächlich auf geologische Eigenheiten zurückzuführen sind. Die Radioaktivität künstlichen Ursprungs als Folge des Niederschlags von Kernwaffentests und des Unfalls in Tschernobyl ist geografisch ebenfalls ungleichmässig verteilt: In den Alpen und auf der Alpensüdseite sind die Werte für Caesium-137 und Strontium-90 noch immer leicht höher als im Mittelland. So werden in den Aerosolfiltern der Hochvolumen-Aerosolsammler (HVS) des BAG, insbesondere in der Station Cadenazzo im Tessin, immer noch Spuren von Caesium-137 nachgewiesen. Diese Spuren stammen von kontaminierten Bodenpartikeln, die aufgewirbelt werden und in die Luft gelangen. Dieses Phänomen ist bei trockenem Wetter im Winter besonders ausgeprägt.

Eintreffen von Sand aus der Sahara (Februar 2021)

Gemäss der Analyse der Aerosolfilter, die zwischen dem 1. und 24. Februar 2021 an den HVS-Stationen am CERN und in Cadenazzo, Göttingen, Klingnau, Liebefeld und Posieux gesammelt wurden, haben die Sandstürme in der Sahara nicht zu einem signifikanten Beitrag von Radioaktivität in der Luft in der Schweiz geführt (siehe [Saharastaub Februar/März 2021 \(5.3.2021\) – Radenviro](#)).

Zum Sandsturmgebiet der Sahara gehörte die algerische Region Reggane, wo Frankreich in den frühen 1960er Jahren vier atmosphärische und 13 unterirdische Atombombentests durchführte. In diesem Gebiet dürfte es folglich zu Kontaminationen durch den Fallout dieser Tests gekommen sein, weshalb ein Transport künstlicher Radionuklide mit dem Saharastaub in die Schweiz möglich wäre.

Das BAG beauftragte das Institut für angewandte Radiophysik (IRA) des CHUV in Lausanne mit zusätzlichen Plutonium- und Americium-Messungen bei 24 während vier Wochen im Februar wöchentlich entnommenen Aerosolfiltern von sechs Hochvolumen-Aerosolsammlern (HVS). Das entspricht einem Gesamtluftvolumen von etwa 2 500 000 m³. Damit die Messempfindlichkeit für die Quantifizierung dieser beiden Radionuklide, die auf eine Kernspaltung bzw. -aktivierung hinweisen, ausreicht, ist ein Volumen von mehr als 1 Mio. m³ erforderlich.

Die Ergebnisse zeigten, dass die im Februar 2021 gemessenen Aktivitäten mit den üblicherweise in der Schweiz gemessenen Werten übereinstimmten: Falls sie etwas höher waren, lag dies daran, dass die Menge der auf den Filtern gesammelten Sandpartikel (in mg/m³) ebenfalls etwas grösser war als die normalerweise in der Schweiz gesammelte Staubmenge.

Die vollständigen Ergebnisse der Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt werden jedes Jahr in dem Bericht «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» veröffentlicht (www.bag.admin.ch/ura), ebenso auf dem BAG-Portal für Messungen in der Umwelt Radenviro (www.radenviro.ch).

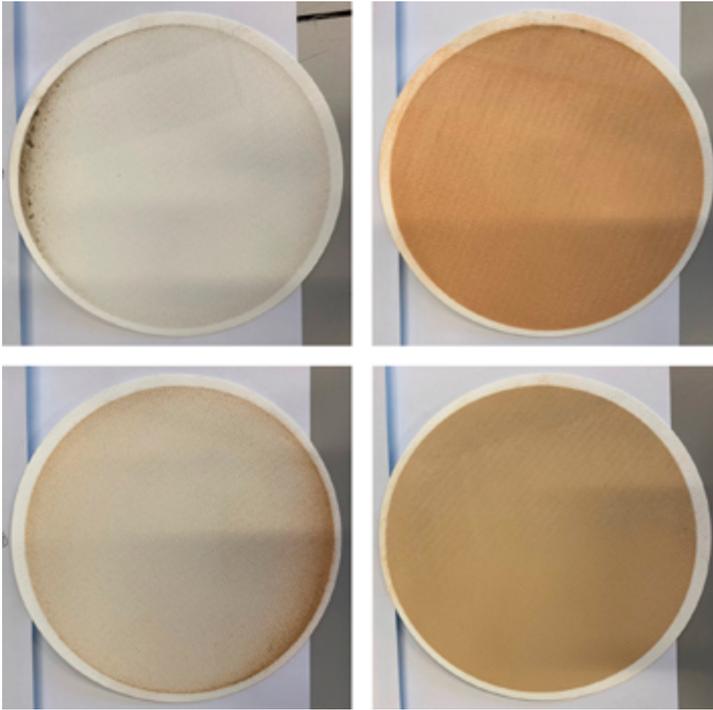


Abb. 25
Die Aerosolfilter der Station Jungfrauoch vom Februar 2021 nahmen hohe Staubmengen auf (Hinweis: Die abgebildeten Filter sind kleiner als die Filter der Hochvolumen-Aerosolsammler)

Das in der Schweiz normalerweise gemessene Plutonium bzw. Americium stammt aus der Aufwirbelung von Bodenpartikeln, die infolge der atmosphärischen Atomtests in den 1950er und 1960er Jahren kontaminiert wurden. Die vom IRA zwischen 2013 und 2020 durchgeführten Analysen zeigen, dass die auf den Aerosolfiltern gemessene Aktivität direkt proportional zu der auf den Filtern abgelagerten Aschemenge ist (ausgedrückt in mg/m^3 , siehe Kapitel 7.2 des BAG-Jahresberichts 2020 «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz», verfügbar unter Jahresberichte Umweltradioaktivität).

Da im Februar 2021 mehr Staub in der Luft vorhanden war als üblich, waren die gemessenen Aktivitäten entsprechend höher, blieben jedoch gesundheitlich unbedenklich.

Lebensmittel

Obwohl die Konzentrationen von Cäsium-137 seit 1986 stetig abnehmen, können in einigen Lebensmitteln immer noch höhere Werte gemessen werden, etwa in wilden Pilzen (einheimisch oder importiert), Honig oder Heidelbeeren. 2021 wurden in Wildschweinfleisch aus dem Tessin erneut Überschreitungen des Höchstwerts für Lebensmittel festgestellt. Dieser Höchstwert ist in der Tschernobyl-Verordnung bei $600 \text{ Bq}/\text{kg}$ festgelegt. Seit mehreren Jahren kontrolliert der kantonale Veterinär- dienst des Kantons Tessin systematisch die Radioaktivität aller auf seinem Gebiet gejagten Wildschweine. Die Ergebnisse der Kampagne 2021 zeigten, dass bei etwa 1 % der kontrollierten Wildschweine der zulässige Höchstwert überschritten ist. Die betreffenden Wildschweine wurden vom Kantonstierarzt beschlagnahmt. Abgesehen vom Wildschweinfleisch wurde 2021 in der Schweiz keine Überschreitung des Grenzwerts für Cäsium-137 in Lebensmitteln festgestellt.

Kernkraftwerke, Spitäler und Unternehmen

Die bei der Überwachung der Kernkraftwerke und der Forschungszentren (PSI, CERN) 2021 durchgeführten Messungen wiesen Spuren von Luftemissionen nach. Feststellbar waren namentlich erhohnte Kohlenstoff-14-Werte in Blättern in der Umgebung der Kernkraftwerke sowie erhohnte Konzentrationen von Isotopen mit kurzer Halbwertszeit, welche die Beschleuniger der Forschungszentren produzieren. Die Wiederinbetriebnahme der ISOLDE-Anlage am CERN nach einem längeren Stillstand führte beispielsweise dazu, dass in den Aerosolproben, die das BAG in der Näher des Forschungszentrums gesammelt hatte, sehr geringe Mengen radioaktiven Jods nachgewiesen wurden.

Spuren von Aktivierungsprodukten aus flüssigen Abgaben wurden sporadisch in den Sedimenten der Aare und des Rheins nachgewiesen, insbesondere während der Revision der Kernkraftwerke. Nach der Revision des Kernkraftwerks Gösgen wurden im April auch in der Aare (bei Brugg) leicht erhohnte Tritiumwerte (13 +/- 1 Bq/l) gemessen. Im gleichen Zeitraum betragen die monatlichen Tritium-Konzentrationen im Rhein (bei Weil am Rhein) rund 5 Bq/l. Die Abgaben dieser künstlichen Radionuklide an die Umwelt blieben aber immer deutlich unter den erlaubten Werten.

In der unmittelbaren Umgebung von Unternehmen, die Tritium verwenden, ergab die Überwachung, wie schon in der Vergangenheit, eine signifikante Kontamination der Umwelt (Niederschläge, Lebensmittel), namentlich bei der mb Microtec in Niederwangen. Dank technischer

Verbesserungen bei mb Microtec konnte das Unternehmen seine Emissionen seit 2020 jedoch senken. Der starke Rückgang der Tritiumkonzentrationen, der 2020 in den Niederschlägen im Vergleich zu den Vorjahren registriert wurde, setzte sich somit auch 2021 fort. Der Höchstwert betrug 780 Bq/l und wurde an der Station «Firma» gemessen, wo die Konzentrationen in der Regel am höchsten sind. Bei den Lebensmitteln bestätigten die Messungen der Tritium-Konzentrationen in Destillaten von Milch-, Obst- und Gemüseproben (Äpfel, Birnen, Pflaumen, Rhabarber usw.), die der Kanton Bern Ende August 2021 in der Näher des Unternehmens mb Microtec gesammelt hatte, diese Feststellung. Die gemessenen Werte zwischen 3 und 143 Bq/l lagen im Vergleich zu den Vorjahren ebenfalls tiefer.

Im Herbst 2021 initiierten das BAG und die SUVA ein Programm zur Überwachung von Tritium in den Niederschlägen und in der Luftfeuchtigkeit in der Umgebung der Firma Smolsys in Root im Kanton Luzern. Smolsys verfügt ebenfalls über eine Bewilligung zur Abgabe von Tritium in die Umwelt. Somit setzt das BAG in der Umgebung aller drei Unternehmen, die in der Schweiz Tritium verwenden, nämlich mb Microtec, Smolsys und RC Tritec in Teufen, eine spezielle radiologische Überwachung um.

Schliesslich ergab auch die 2021 fortgesetzte Überwachung der Radioaktivität im Wasser von Kläranlagen, im Waschwasser aus der Rauchgasreinigung von Verbrennungsanlagen und im Sickerwasser von Deponien keine anormalen Messwerte.

Zehn Jahre nach dem Unfall in Fukushima

Das BAG hat 2021 das Faktenblatt zum Reaktorunfall in Fukushima aktualisiert. Das Faktenblatt fasst die Folgen des Unfalls in Japan und für die Schweiz zusammen und formuliert Schlussfolgerungen für den Strahlenschutz bei Notfällen in der Schweiz. Das aktualisierte Faktenblatt ist verfügbar unter www.str-rad.ch (Radiologische Ereignisse und Notfallvorsorge / Freisetzung von Radioaktivität / Fukushima).

Intervention in einem radiologischen Notfall

Die Kostentragung der Jodtablettenverteilung in Gebieten bis 50 Kilometer um die Kernkraftwerke ist momentan gesetzlich nicht ausreichend verankert. Im Auftrag des Bundesrates hat deshalb das BAG 2021 ein Projekt zur Teilrevision des Strahlenschutzgesetzes (StSG) initiiert. Bei der Revision der Strahlenschutzverordnung (StSV) hat das BAG den Auftrag erhalten, für Massnahmen bei langfristigen Kontaminationen ein Konzept zu erarbeiten. Dazu gibt es inzwischen ein Grobkonzept. Als Collaborating Center der Weltgesundheitsorganisation (WHO; REMPAN) führte das BAG zudem die Arbeiten zum Wissenserhalt bei der Behandlung stark bestrahlter Personen weiter.

Jodtablettenverteilung

Nach dem Reaktorunfall in Fukushima hat der Bundesrat den Radius für die Verteilung der Kaliumiodidtabletten an die Haushalte um die Kernkraftwerke von 20 km auf 50 km erweitert. Die zusätzlichen Kosten für diese Erweiterung wurden den KKW vollumfänglich in Rechnung gestellt. Diese waren zwar mit der Kostenübernahme in einem Radius bis 20 km einverstanden, für die Verteilung in den Gebieten bis 50 km Entfernung bevorzugten sie aber andere, kostengünstigere Varianten. Ende 2018 entschied das Bundesgericht, dass die gesetzliche Grundlage für eine Kostentragung durch die KKW nicht ausreichend sei. Im Auftrag des Bundesrates hat deshalb das BAG 2021 ein Projekt zur Teilrevision des Strahlenschutzgesetzes (StSG) initiiert. In der Übergangszeit wurden mit den Betreibern der Kernkraftwerke Vereinbarungen für die Finanzierung der Jodtabletten getroffen.

Die daraufhin erarbeitete Kostenübernahmevereinbarung wurde in einem Bundesratsentscheid am 14. April 2021 gutgeheissen und unterschrieben, so dass nun die Finanzierung der Verteilung der Jodtabletten an die Haushalte sichergestellt ist. Die KKW Betreiber beteiligen sich massgeblich an den Kosten der Verteilungskampagne 2024 im Umkreis von 50 km der

aktiven Kernkraftwerke (KKL, KKB, KKG). Eine Gruppe, zusammengesetzt aus der Armeeapotheke, dem BAG und weiteren Stellen hat bereits mit den Vorbereitungsarbeiten für die nächste Verteilung begonnen.

Grobkonzept Massnahmen bei langfristiger Kontamination (Artikel 171 StSV)

Im Fall eines schweren nuklearen Unfalls mit erheblicher Freisetzung von Radioaktivität ergreift die Nationale Alarmzentrale NAZ in der Akutphase Sofortmassnahmen (vgl. Abb. 26). Diese können unter anderem die Evakuierung bzw. den geschützten Aufenthalt der betroffenen Bevölkerung oder auch die Einnahme von Jodtabletten beinhalten. Weiterführende Massnahmen ordnet der Bundesrat in der Frühphase an. Das jeweilige Vorgehen mit dem Notfallmanagement ist bereits umfassend dokumentiert. Es wird in regelmässigen Übungen trainiert.

Auf diese Phasen, die Tage bis Wochen anhalten können, folgt die Übergangsphase, in der sich die Lebensbedingungen allmählich wieder normalisieren sollen und die Notfallintervention beendet wird.

Nach der Übergangsphase besteht keine Notfall-Expositionssituation mehr. Es handelt sich nun vielmehr um eine sogenannt *bestehende Expositionssituation* und langfristige Situation. Die radiologische Lage zum Zeitpunkt dieses Übergangs ist allerdings nicht mehr dieselbe wie vor dem Ereignis. Einige Gebiete werden kaum mehr betroffen sein, sodass dort ein Leben ohne Einschränkungen möglich sein wird. Andere Gebiete hingegen wären noch immer mässig bis stark kontaminiert und nicht oder nur unter Einhaltung bestimmter Verhaltensregeln überhaupt bewohnbar. Darüber hinaus würde die Bodenkontamination zu Kontaminationen bei landwirtschaftlichen Produkten innerhalb eines meist relativ grossen Gebiets führen.

Die notwendigen Verhaltensregeln in dieser Phase nach einem Unfall und der Umgang mit langfristiger Kontamination sind ungenügend dokumentiert. Im Rahmen der Revision der StSV hat der Bundesrat dem BAG den Auftrag erteilt, diese fehlenden langfristigen Massnahmen zu erarbeiten (Art. 171 StSV).

Hierzu wurde nun ein Grobkonzept erstellt, das die Erkenntnisse bei der Bewältigung der Auswirkungen nach dem Übergang von einer Notfall-Expositionssituation zu einer bestehenden Expositionssituation im Ausland aufgreift und für die Schweiz adaptiert.

Das Grobkonzept gibt vier zentrale Stossrichtungen vor. Die Erste umfasst Massnahmen zur Unterteilung des Raumes in verschiedene Gebiete aufgrund der dortigen Ortsdosisleistung. Dazu gehören auch Massnahmen zur Dekontamination und zum Abfallmanagement. Ein weiteres Schwerpunktthema sind die Massnahmen zum Gesundheitsschutz der Bevölkerung, etwa durch die Festlegung eines Referenzwerts für die Exposition oder durch eine gesundheitliche Überwachung. Auch die Massnahmen zum Schutz der Arbeitskräfte und der Wirtschaft nehmen eine zentrale Rolle ein. Die vierte Stossrichtung umfasst die Massnahmen zum Schutz der Umwelt.

Ab 2022 sollen vier entsprechende Arbeitsgruppen mit den relevanten Partner/innen bei Bund, Kantonen und weiteren Stakeholdergruppen gebildet werden, die unter dem Lead des BAG die jeweiligen Bereiche ausarbeiten und die notwendigen Konzepte erstellen werden.

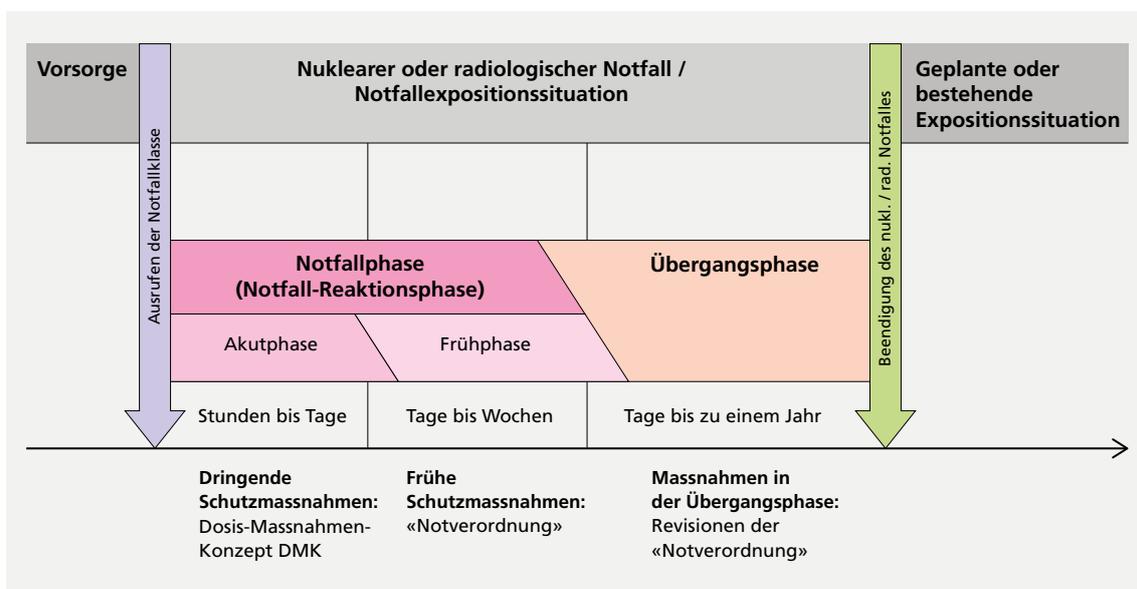


Abb. 26
Visualisierung der Phasen vor und nach einem nuklearen oder radiologischen Notfall. Das BAG hat den Auftrag, die langfristigen Massnahmen nach einem Notfall zu konkretisieren.

Gesundheitsschutz vor nicht-ionisierender Strahlung und Schall

Das Bundesamt für Gesundheit (BAG) ist seit 2019 für das Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall NISSG und die Verordnung zum NISSG (V-NISSG) zuständig. Dazu gehört auch ein Informationsauftrag, der 2021 mit einer Tagung zum Thema «ultraviolette Strahlung und Sonnenschutz der Kinder» und einem Workshop für Fachleute aus der Tontechnik zum Thema «Guter Sound mit Gehörschutz» umgesetzt wurde. Bei der Vollzugsunterstützung für die neue Solarienregelung der V-NISSG standen die technischen Anforderungen an die Alterskontrolle im Vordergrund.

UV-Tagung 2021: Sensibilisierung zum Schutz der nächsten Generationen

Das BAG hat in Zusammenarbeit mit der Krebsliga Schweiz und der Schweizerischen Gesellschaft für Dermatologie und Venerologie (SGDV) im August 2021 eine Tagung zum Thema Sonnenschutz für Kinder und Jugendliche durchgeführt. Fachleute diskutierten, wie ein nachhaltiges Sonnenschutzverhalten während der Schulzeit und in der Lehre vermittelt wird und welche Rolle schattenspendende Infrastruktur spielt.

Die SGDV eröffnete die Tagung mit einer Einführung in das Thema Kinderhaut und deren besondere Sensibilität. Das Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Bern präsentierte dann die neusten Ergebnisse zu einer landesweit durchgeführten Befragung von Eltern zum Sonnenschutzverhalten ihrer Kinder.

Zudem war eine Messkampagne zur UV-Strahlenbelastung dieser Kinder Thema, deren Auswertung durch das BAG finanziert wurde. Laut der Studie verbrachten die Kinder durchschnittlich 15 % ihrer Zeit im Freien, davon stammte denn auch ein grosser Teil der UV-Strahlen-Dosis. Die höchsten gemessenen Strahlungsintensitäten wurden mit Wanderungen und Aktivitäten in den Bergen in Verbindung gebracht. Die Studie zeigte weiter, dass das Tragen von Sonnenbrillen die am wenigsten angewandte Sonnenschutzmassnahme war. In einem zweiten Block wurden verschiedenste Präventionsprojekte im Bereich Kinder und Jugendliche vorgestellt, so beispielsweise das Bilderbuch «Das Haus im Schatten» für das Kindergartenalter.

Das Nachmittagsprogramm startete mit einem Vortrag zum Thema Klimaanpassung in Städten und Gemeinden. Mit verschiedenen Pilotprojekten erforscht das Bundesamt für Umwelt, wie man Städte gegen die zunehmende Hitzebelastung widerstandsfähiger macht. Mithilfe grüner Oasen können städtische Wärmeinseln eingedämmt werden. Auf eindrückliche Weise wurde die kühlende Wirkung von Massnahmen wie Grünflächen, Dach- und Fassadenbegrünungen und der Entsiegelung von Böden demonstriert.

In einem abschliessenden interaktiven Teil diskutierten die Teilnehmenden in verschiedenen Gruppen, wie Kinder und Jugendliche besser für Sonnenschutz sensibilisiert werden und welche Massnahmen einen besseren Sonnenschutz gewährleisten könnten. Die Teilnehmenden waren sich einig, dass das Thema Sonnenschutz in der ganzen Schweiz fester Bestandteil des Schulunterrichts werden sollte. Teenager sollen vermehrt in den sozialen

Netzwerken angesprochen und die diversen bestehenden Applikationen zum Thema Haut nutzen.

Ebenfalls wurden Erfolgsfaktoren für die Schaffung von mehr Schattenplätzen im öffentlichen Raum und insbesondere auf Kinderspielplätzen diskutiert. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit soll gefördert und von den Erfahrungen von bereits realisierten Pilotprojekten profitiert werden. Für die Nachhaltigkeit eines Projektes ist eine transparente Kommunikation und der frühzeitige Einbezug aller Entscheidungsträger, der Bevölkerung und der Medien sehr wichtig.

An der UV-Tagung teilgenommen haben rund 70 Akteure und Entscheidungsträgerinnen aus den Bereichen Gesundheit, Kinder und Jugend, Umwelt, Stadtplanung und Klimawandel.



Abb. 28
An der UV-Tagung diskutieren Daniela de la Cruz, CEO der Krebsliga Schweiz, und Anne Lévy, Direktorin des Bundesamtes für Gesundheit (Copyright: Krebsliga Schweiz).

V-NISSG Workshop für Fachleute der Tontechnik: Guter Sound und Schutz vor Gehörschädigung schliessen sich nicht aus

Nach den Corona-Lockerungen im Sommer 2021 konnten vermehrt wieder Events mit Musik stattfinden. Damit gewann auch das Thema Gehörschädigung an lauten Veranstaltungen wieder an Aktualität. Dass sich guter Sound und Schutz vor Gehörschädigung nicht ausschliessen müssen, zeigte der am 30./31. August 2021 in Zug durchgeführte Workshop für Fachleute aus dem Bereich Tontechnik. Die Fachgruppe Schall und Laser des Cercle Bruit und das BAG haben den kostenlosen Workshop in Zusammenarbeit mit externen Fachpersonen aus dem Veranstaltungsbereich organisiert und durchgeführt. Beide Tage waren mit jeweils 30 Teilnehmenden ausgebucht.

An Veranstaltungen mit Schall müssen Grenzwerte sowie zusätzliche Massnahmen eingehalten werden, die in der V-NISSG zum Schutz des Publikums vorgesehen sind. Tipps und Tricks, wie guter Sound und die Einhaltung der Grenzwerte unter einen Hut zu bringen sind, wurden am Workshop diskutiert und durch die anwesende Live-Band gleich eindrücklich vorgeführt. Im Zentrum stand dabei die Soundoptimierung im Publikum und auf der Bühne sowie die korrekte Anwendung von Messverfahren und -geräten (Abb. 29).

Der Workshop zeigte praxisorientiert, dass für eine gute Soundqualität unterschiedliche Faktoren ausschlaggebend sind. Zum einen

spielt die Raumakustik eine wesentliche Rolle. Es braucht zudem eine gute Bühnentechnik sowie Beschallungsanlagen, die passend positioniert sein müssen. Der Publikumsbereich sollte möglichst wenig durch den Direktschall von der Bühne, sondern vorwiegend durch die auf diesen Bereich ausgerichteten Lautsprecher beschallt werden. Ein massgeblicher Faktor für eine optimale und gehörschonende Soundqualität ist sicherlich auch das Knowhow der Tontechnikerin oder des Tontechnikers.

Das Feedback der Teilnehmenden zum Workshop fiel durchwegs positiv aus. Es ist vorgesehen, in Zukunft auch einen Event für den französischsprachigen Teil der Schweiz anzubieten.

Weitere Informationen siehe Faktenblatt V-NISSG: Veranstaltungen mit Schall: www.bag.admin.ch/schall

Vollzugsunterstützung: Technische Anforderungen an Alterskontrolle für Solarien

Betreiberinnen und Betreiber von Solarien müssen ab dem 1. Januar 2022 verhindern, dass Jugendliche Solarien benutzen. Das BAG hat im Jahr 2021 zusammen mit der Solariumbranche Anforderungen an die Alterskontrolle für Solarien definiert, die nicht bedient sind. Möglich sind sowohl mechanische Anlagen an den Eingängen zu den Örtlichkeiten als auch elektronische Systeme. Sie müssen so aufgebaut sein, dass pro gültigem Ausweis nur eine erwachsene Person einmal am gleichen Tag Zutritt erhält.



Abb. 29
Verschiedene Messgeräte und akustische Massnahmen wurden direkt mit einer Live-Band getestet.

Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung

Der grösste Anteil an der Strahlenexposition der Bevölkerung stammt vom Radon in Wohnräumen sowie von medizinischen Untersuchungen. Die Bevölkerung ist von diesen Strahlungsquellen unterschiedlich stark betroffen.

Expositionskategorien

Im Strahlenschutz unterscheiden wir drei Kategorien von Strahlenexpositionen:

Die erste Kategorie umfasst die beruflich strahlenexponierten Personen. In der Schweiz wird bei über 100 000 Personen die Strahlenexposition bei der Berufsausübung überwacht; die einen tragen dazu ein Dosimeter, bei den anderen erfolgt eine Berechnung (z. B. beim Flugpersonal). Diese Exposition wird von den Arbeitgebern und den Behörden genau erfasst und kontrolliert und in einem separaten Bericht «Dosimetrie der beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz» publiziert www.bag.admin.ch/dosimetrie-jb (weitere Informationen vgl. Kapitel «Überwachung strahlenexponierter Personen», S. 16 des vorliegenden Berichts).

Die zweite Kategorie ist die Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung. Sie umfasst also alle Personen. Anders als bei der beruflichen Exposition werden die Dosen, die die Bevölkerung erhält, nicht individuell erfasst, sondern für die Gesamtbevölkerung ausgewertet. Dies erfolgt auf der Grundlage von Messungen der Radioaktivität in der Umwelt und in Wohnräumen, Umfragen und mathematischen Modellen. Das vorliegende Kapitel erläutert die Ergebnisse dieser Beurteilung der Strahlendosis für die Schweizer Bevölkerung.

Zur dritten Kategorie gehören die Patientinnen und Patienten, die sich einer medizinischen Diagnostik oder Behandlung mit ionisierender Strahlung unterzogen haben. Sie zählen natürlich ebenfalls zur Bevölkerung, aber die zusätzlichen Dosen aufgrund der medizinischen Exposition sind separat zu betrachten, denn

die medizinische Exposition ist gewollt und die Patientin oder der Patient hat einen direkten Nutzen für Gesundheit und Wohlbefinden. Es handelt sich hier um einen Spezialfall: Die Person, die einer Strahlenexposition ausgesetzt ist, profitiert gleichzeitig direkt davon, beispielsweise von einer genaueren Diagnose.

Ursachen der Strahlenexposition

Die ganze Schweizer Bevölkerung ist permanent ionisierender Strahlung natürlichen und künstlichen Ursprungs ausgesetzt. Wenn wir oft zwischen natürlichen und künstlichen Quellen unterscheiden, dann nicht, weil erstere weniger schädlich sind als letztere, sondern generell, weil sie überall vorhanden sind und wir sie nicht beeinflussen können. Es gibt jedoch Ausnahmen, namentlich im Fall von Radon-222. Radongas und seine radioaktiven Folgeprodukte sind zwar natürlichen Ursprungs – verantwortlich für die hohen Strahlendosen von Hausbewohnerinnen und Hausbewohnern ist aber ihre Akkumulation in Innenräumen aufgrund einer ungünstigen Bauweise. Ähnlich verhält es sich etwa mit dem Rauchen oder dem Fliegen, wo die Strahlung natürlichen Ursprungs ist, die von einer bestimmten Person erhaltene Dosis aber direkt mit ihrem Verhalten zusammenhängt.

Aus Sicht der öffentlichen Gesundheit ist es daher sinnvoller, die Expositionsquellen nicht nach ihrer natürlichen oder künstlichen Ursache, sondern danach zu unterscheiden, welche Möglichkeiten es für den Einzelnen und die Gesellschaft gibt, auf die von diesen verursachte Belastung zu reagieren.

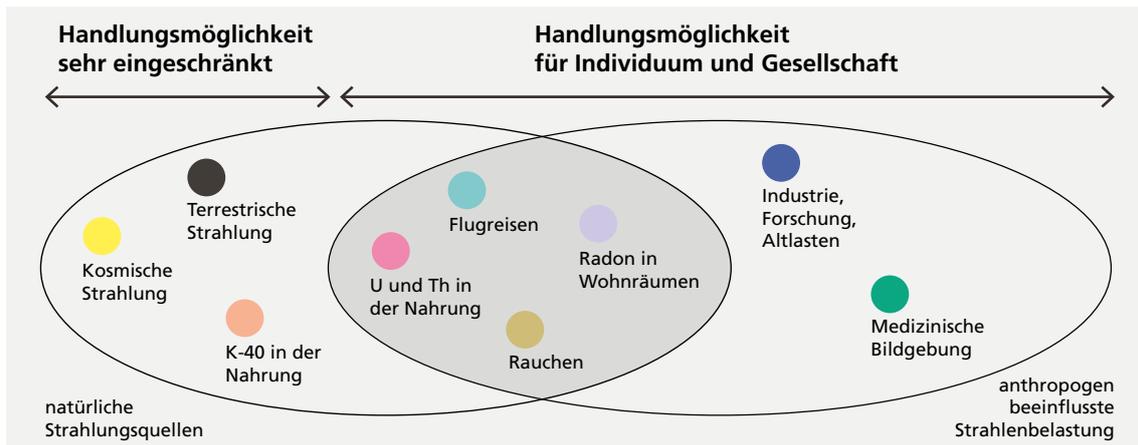


Abb. 30

Die wichtigen Beiträge zur Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung. Linkes Oval: natürliche Strahlungsquellen. Rechtes Oval: anthropogene Strahlenbelastungen. Überlappender Bereich (dunkler Hintergrund): Die Strahlungsquelle ist natürlich, die Exposition hängt aber von menschlicher Tätigkeit ab. Sie kann also durch das Verhalten einer Person oder der Gesellschaft beeinflusst werden. Nicht überlappender Bereich links: Möglichkeiten zur Verminderung dieser Expositionen sind sehr beschränkt. Nicht überlappender Bereich rechts: Künstliche Strahlungsquellen, die ohne menschliche Tätigkeit nicht existieren würden.

Abbildung 30 illustriert die hauptsächlichsten Quellen der Strahlenexposition, der die Schweizer Bevölkerung ausgesetzt ist (ohne Berücksichtigung der beruflich strahlenexponierten Personen). Die Untersuchungen und Berechnungen zur Abschätzung der durchschnittlichen jährlichen Dosis der Schweizer Bevölkerung, aufgeteilt nach Quelle, und ihre Schwankungsbreiten sind im Jahresbericht «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» ausführlich beschrieben, vgl. www.bag.admin.ch/ura-jb.

Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung

Exposition gegenüber terrestrischer und kosmischer Strahlung

Die Dosis aufgrund der terrestrischen Strahlung (d. h. Strahlung aus Boden und Fels) macht im Mittel 0,35 mSv pro Jahr aus und hängt von der Zusammensetzung des Untergrundes ab. Die Dosis durch kosmische Strahlung beträgt im Mittel etwa 0,38 mSv pro Jahr. Die kosmische Strahlung nimmt mit der Höhe zu. Deshalb beträgt sie beispielsweise auf 1500 m über Meer 0,6 mSv pro Jahr. Die Dosen bei Flugreisen in grosser Höhe werden separat behandelt, da sie direkt durch das individuelle Verhalten beeinflusst werden.

Strahlenbelastung durch Nahrungsmittel

Bei der durch Nahrungsmittel verursachten Exposition ist zu unterscheiden zwischen Kalium-40 und den anderen Radionukliden. Kalium-40 ist ein natürliches Radionuklid, das sich im homöostatischen Gleichgewicht befindet: Die Selbstregulierung des Körpers führt zu einer konstanten Konzentration von Kalium-40. Eine Person ist somit unabhängig von ihren Ernährungsgewohnheiten immer gleich stark exponiert. Da Kalium-40 sich vor allem im Muskelgewebe festsetzt, hängt die Dosis durch dieses Nuklid (rund 0,2 mSv pro Jahr) in erster Linie von der Muskelmasse einer Person ab. Weitere Radionuklide in der Nahrung können natürlichen Ursprungs sein (z. B. Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium, wie Polonium-210 und Blei-210) oder künstlichen Ursprungs (z. B. Caesium-137 und Strontium-90). Anders als bei Kalium-40 hängt hier die Exposition direkt von den Ernährungsgewohnheiten ab.

In gewissen Fischen und Meeresfrüchten kann beispielsweise Polonium-210 und Blei-210 angereichert sein, was zu signifikanten zusätzlichen Dosen führen kann. Laut dem französischen Institut für Strahlenschutz und nukleare Sicherheit (IRSN) beträgt die durchschnittliche effektive Dosis der französischen Bevölkerung aufgrund des Konsums von Fisch und Meeresfrüchten 0,13 mSv/Jahr, kann aber bei speziellen

Ernährungsgewohnheiten bis zu 2 mSv/Jahr gehen. Bislang wurde dieser spezifische Beitrag bei der Dosisauswertung für die Schweizer Bevölkerung mangels ausreichender Daten nicht berücksichtigt. Der Verzehr von Fisch und Meeresfrüchten ist in der Schweiz zwar rund dreimal tiefer als in Frankreich, trotzdem darf dieser zusätzliche Dosisbeitrag nicht vernachlässigt werden. Zurzeit ist sowohl auf internationaler Ebene (UNSCEAR) als auch für die Schweiz (BAG) eine Neubeurteilung im Gang. Es ist anzumerken, dass aus gesundheitlicher Sicht, trotz der zusätzlichen Dosen, eine Empfehlung zur Einschränkung des Verzehrs dieser Art von Nahrungsmitteln schwer zu rechtfertigen ist, angesichts ihrer unbestrittenen Ernährungsqualitäten.

Die Dosen durch die Aufnahme von Strontium-90 und/oder Caesium-137 aus dem Fallout der atmosphärischen Atomtests der 1960er Jahre und im Falle von Caesium-137 auch aus dem Unfall von Tschernobyl sind heute sehr gering. Die regelmässigen Ganzkörpermessungen an Schulklassen ergeben Dosen durch Inkorporation von Caesium-137 von weniger als einem Tausendstel mSv pro Jahr. Die Dosis aufgrund des Konsums von Trinkwasser ist auf natürliche Radionuklide zurückzuführen (hauptsächlich Radiumisotope) und liegt deutlich unter 0,1 mSv.

Im Durchschnitt beträgt die Dosis der Schweizer Bevölkerung durch die Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung (ohne den Beitrag von Fisch und Meeresfrüchten) rund 0,35 mSv pro Jahr.

Strahlenbelastung durch Radon in Wohnräumen

Radon-222 und seine Folgeprodukte in Wohnräumen liefern den grössten Dosisbeitrag für die Bevölkerung. Diese Nuklide gelangen über die Atemluft in den Körper.

Die internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) hat in ihrer Publikation 115 (2010) das Lungenkrebsrisiko aufgrund von Radon neu eingeschätzt und deutlich nach oben korrigiert. In ihrer Publikation 137 (2017) schlägt die ICRP einen neuen Dosiskoeffizienten für Personen am Arbeitsplatz vor, der auch für die Radonexposition der Bevölkerung in Wohnräumen

anwendbar ist und mit der Einschätzung aus ICRP 115 (2010) übereinstimmt. Der neue Dosiskoeffizient wurde auf der Basis eines dosimetrischen Modells bestimmt und dient in der Schweiz als Referenz für die Bevölkerung sowie für die Personen am Arbeitsplatz. Folglich beträgt die durchschnittliche «Radondosis» für die Schweizer Bevölkerung mit dem neuen Dosiskoeffizienten etwa 3,3 mSv pro Jahr. Der angegebene Mittelwert leitet sich aus der durchschnittlichen Radonkonzentration in Gebäuden von 75 Bq/m³ ab (diese wird zukünftig neu berechnet). Jedoch ist die Radonbelastung der Bevölkerung nicht einheitlich bzw. der Bereich der gemessenen Werte sehr gross. Es sind z. B. Spitzenwerte von mehreren Tausend Bq/m³ gemessen worden.

Der wissenschaftliche Ausschuss der Vereinten Nationen für die Auswirkungen radioaktiver Strahlung (UNSCEAR) empfiehlt allerdings nach seiner jüngsten Bewertung die Beibehaltung eines Dosiskoeffizienten, der deutlich niedriger ist als derjenige der ICRP. Diese Koeffizienten werden im Rahmen des UNSCEAR-Mandats zu Vergleichszwecken bei der Bewertung der weltweiten Bevölkerungsexposition verwendet. Die durchschnittliche «Radondosis» der Schweizer Bevölkerung mit dem UNSCEAR Dosiskoeffizient würde bei etwa 1,9 mSv pro Jahr liegen.

Strahlenbelastung durch Rauchen

Während die gesundheitsschädigende Wirkung des Tabakkonsums allgemein bekannt ist, ist vielen Menschen nicht bewusst, dass Rauchen auch eine zusätzliche Exposition gegenüber ionisierender Strahlung darstellt. Bei Raucherinnen und Rauchern führt das Inhalieren von natürlichen Radionukliden, wie Polonium-210 und Blei-210, die in den Tabakblättern enthalten sind, zu einer zusätzlichen Strahlendosis, verglichen mit Nichtraucherinnen und Nichtrauchern. Gemäss neueren Studien liegt der Mittelwert für die effektive Dosis beim Rauchen von 20 Zigaretten täglich bei 0,26 mSv pro Jahr. Im Jahr 2016 rauchten 25,3 % der Schweizer Bevölkerung über 15 Jahre gelegentlich (1,2 Zigaretten/Tag) oder täglich (13,6 Zigaretten/Tag). Das entspricht im Durchschnitt 2,5 Zigaretten pro Tag und Einwohner/in und somit einer durchschnittlichen effektiven Dosis von 0,03 mSv/Jahr pro Einwohner/in über 15 Jahre wegen Rauchens.

Strahlenbelastung durch Flugreisen

Da die kosmische Strahlung mit der Höhe zunimmt – in 10 000 m Höhe ist sie rund 100-mal stärker als auf 500 m über Meer – sind Personen, die mit dem Flugzeug reisen, einer zusätzlichen Strahlenexposition ausgesetzt. Im Gegensatz zur permanenten Exposition im Lebensraum am Boden hängt diese zusätzliche Exposition direkt mit dem Verhalten einer Person zusammen und wird hier deshalb separat behandelt. Im Jahr 2015 (neueste verfügbare Daten) legten die Schweizerinnen und Schweizer im Schnitt 9000 km im Flugzeug zurück. Die daraus resultierende Dosis pro Einwohner/in liegt zwischen 0,03 und 0,07 mSv/Jahr, je nach absolvierten Strecken.

Die Dosen sind bei Routen, die in der Nähe der Pole verlaufen, höher als bei Routen in Äquatornähe. Für das Flugpersonal kann die zusätzliche Dosis durch kosmische Strahlung mehrere mSv pro Jahr erreichen.

Exposition gegenüber Abgaben aus Industrie, Forschung und Medizin und gegenüber radiologischen Altlasten (Kernwaffentests und Reaktorunfälle, Radium aus der Uhrenindustrie)

Zu den bisher erwähnten Strahlendosen kommt ein geringer Beitrag von $\leq 0,1$ mSv pro Jahr aus den Expositionen gegenüber Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umwelt durch Kernkraftwerke, Industriebetriebe, Forschungszentren und Spitäler sowie gegenüber künstlichen Radionukliden in der Umwelt. Die Emissionen radioaktiver Stoffe über Abluft und Abwasser aus Kernkraftwerken, Industriebetrieben und Forschungszentren ergeben bei Personen, die in unmittelbarer Nähe wohnen, Dosen von höchstens einem Hundertstel mSv pro Jahr. Der Dosisgrenzwert für die Bevölkerung in geplanten Expositionssituationen liegt bei 1 mSv pro Jahr und gilt hauptsächlich für diese Komponente der Exposition.

Zu den radiologischen Altlasten gehört der radioaktive Fallout als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl im April 1986 und der oberirdischen Kernwaffenversuche in den frühen 1960er Jahren; diese Beiträge verursachen heute nur noch eine Dosis von wenigen Hundertstel mSv pro Jahr. Die Dosis durch die Ausbreitung von radioaktiven Stoffen nach dem Reaktorunfall in Fukushima 2011 ist in der Schweiz vernachlässigbar. Derzeit läuft ein Aktionsplan zur Sanierung von Liegenschaften, die mit Radium kontaminiert sind, das bis in die 1960er Jahre in der Uhrenindustrie verwendet wurde (Seite 51). Bisher wurden 118 Liegenschaften saniert, wodurch im Schnitt eine zusätzliche Dosis von mehreren mSv pro Jahr für die Bewohnerinnen und Bewohner vermieden wird.

Exposition von Patientinnen und Patienten

Strahlenbelastung durch medizinische Diagnostik

Die Dosis aufgrund medizinischer Anwendungen (medizinische Bildgebung) beträgt gemäss Auswertung der Erhebung von 2018 auf die gesamte Bevölkerung umgerechnet 1,49 mSv/Jahr pro Person (einschliesslich des Beitrags der nuklearmedizinischen Diagnostik von 0,11 mSv). Im Vergleich zur Zwischenerhebung von 2013 hat sich die Dosis stabilisiert. Mehr als zwei Drittel der Strahlendosis in der Röntgendiagnostik sind durch computertomografische (CT) Untersuchungen verursacht. Wie beim Radon ist die Belastung durch die medizinische Diagnostik ungleichmässig verteilt: So wird geschätzt, dass 1,7 Patienten pro 1000 Einwohnerinnen und Einwohner über einen Zeitraum von fünf Jahren eine kumulierte effektive Dosis von mehr als 100 mSv¹ durch CT-Untersuchungen erhalten. Dabei ist allerdings zu erwähnen, dass die Mehrheit der Patientinnen und Patienten diese hohen Dosen in fortgeschrittenem Alter bekommt.

¹ Berechnungsmethode nach: Rehani MM, Hauptmann M, Estimates of the number of patients with high cumulative doses through recurrent CT exams in 35 OECD countries; *Physica Medica* 76 (2020); <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.07.014>

Bilanz der Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung

Durchschnittliche Exposition

Die durchschnittlichen Beiträge der oben aufgeführten Expositionsquellen sind in Abbildung 31 zusammengefasst. Die durchschnittliche effektive Dosis, die die Schweizer Bevölkerung aus allen Expositionsquellen zusammen erhält, beläuft sich auf rund 6 mSv/Jahr.

Variabilität der Exposition

Die Mittelwerte der Exposition geben alleine kein repräsentatives Bild der realen Exposition der Einwohnerinnen und Einwohner der Schweiz, da bestimmte Beiträge zur Strahlenbelastung von Person zu Person sehr stark variieren können. Am ausgeprägtesten ist dies bei der medizinischen Exposition von Patientinnen und Patienten der Fall. Beispielsweise beträgt die durchschnittliche effektive Dosis der häufigsten CT-Untersuchungen an Abdomen und Oberbauch ungefähr 12 mSv. Die durchschnittliche Dosis der Patientenexpo-

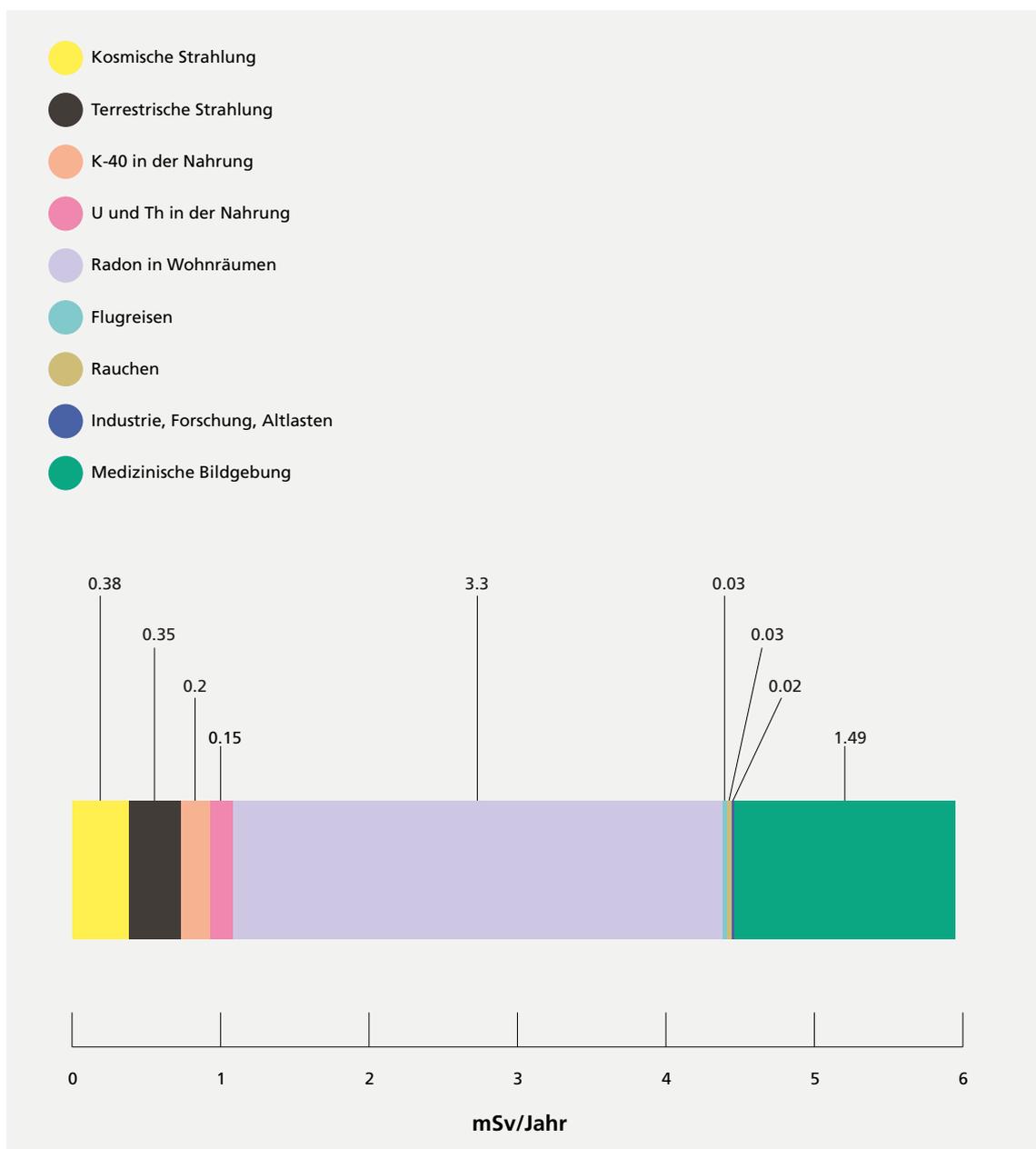


Abb. 31 Durchschnittliche Beiträge zur effektiven Dosis pro Jahr und Einwohner/in der Schweiz in mSv.

sition von 1,49 mSv ist folglich wenig repräsentativ für die individuell erhaltenen Dosen der betroffenen Patienten.

Um ein Gesamtbild der Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung zu erhalten, ist es folglich wichtig, die individuellen Voraussetzungen, beispielsweise Wohnort, Lebens- und Ernährungsgewohnheiten und erhaltene medizinische Untersuchungen, zu berücksichtigen. Dies ermöglicht es bei den Strahlenschutzmassnahmen für die Bevölkerung gezielt Prioritäten zu setzen. Auch ist so für jede und jeden besser nachvollziehbar, inwiefern ein Verhalten oder eine besondere Situation die eigene Strahlenbelastung beeinflussen kann.

Um diese Unterschiede in der Strahlenbelastung darzustellen, wurden einige fiktive, aber realistische Expositionsszenarien definiert und dafür die Beiträge der verschiedenen Expositionquellen zur effektiven Dosis beurteilt. Die resultierenden Gesamtdosen für die jeweilige fiktive Person sind in Abbildung 32 dargestellt.

Die Fälle 1 bis 5 entsprechen der Mehrheit der Bevölkerung, die sich während eines Jahres keiner Untersuchung mit medizinischem Bildgebungsverfahren unterziehen muss:

- Fall 1: jährliche Dosis einer Person, die nicht raucht, nicht im Flugzeug reist, in einer Wohnung mit schwacher Radonkonzentration und schwacher terrestrischer und kosmischer Strahlung lebt und wenig Lebensmittel konsumiert, die reich sind an natürlichen Radionukliden
- Fall 2: jährliche Dosis einer Person wie im Fall 1, ausser dass die Radonkonzentration in der Wohnung dem schweizerischen Durchschnitt entspricht (75 Bq/m^3)
- Fall 3: jährliche Dosis einer Person, die in einer Gemeinde mit mittlerer Radonkonzentration und mittlerer terrestrischer und kosmischer Strahlung wohnt, die durchschnittlich oft Lebensmittel konsumiert, die reich sind an natürlichen Radionukliden, täglich 2,5 Zigaretten raucht und jedes Jahr einmal Zürich–Doha retour (9000 km) fliegt; die Person im Fall 3 erhält damit eine jährliche effektive Dosis, die der durchschnittlichen Dosis der Schweizer Bevölkerung (ohne Beitrag der Medizin) entspricht
- Fall 4: jährliche Dosis einer Person wie im Fall 3, in deren Wohnung die Radonkonzentration jedoch hoch ist
- Fall 5: jährliche Dosis einer Person, die in einer Wohnung mit hoher Radonkonzentration und hoher terrestrischer und kosmischer Strahlung lebt, täglich 1 Paket Zigaretten raucht, sehr viele Lebensmittel, die reich an natürlichen Radionukliden sind, konsumiert und zudem häufig im Flugzeug reist

Die Fälle 6 und 7 entsprechen den Dosen von Personen, die zusätzlich als Patientin oder Patient durch medizinische Röntgendiagnostik exponiert sind:

- Fall 6: jährliche Dosis einer Person wie im Fall 3, die pro Jahr eine radiografische Untersuchung mit einer Dosis von 1,49 mSv erhält (was der durchschnittlichen Dosis der Bevölkerung infolge medizinischer Anwendungen entspricht)
- Fall 7: jährliche Dosis einer Person wie im Fall 5, bei der zusätzlich ein Bauch- und Beckenscan durchgeführt wurde (2 Durchgänge)

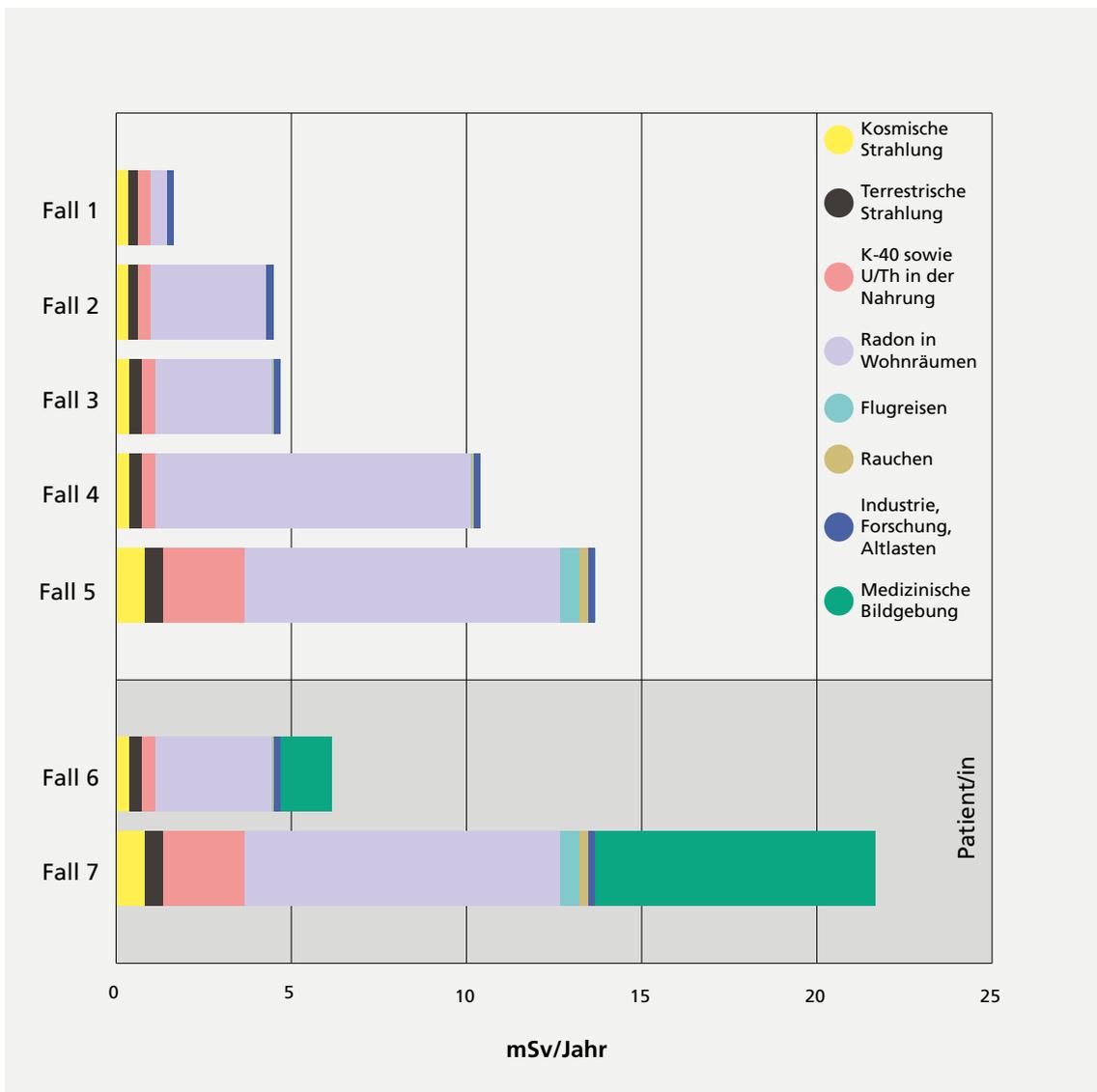


Abb. 32
Variabilität der Exposition der Schweizer Bevölkerung:
effektive Dosis für eine Person in mSv/Jahr für sieben standardisierte Szenarien.

Internationale Zusammenarbeit

Der Schweizer Strahlenschutz muss internationalen Standards entsprechen und – besonders wo der Austausch mit den umliegenden Ländern von Bedeutung ist – harmonisiert sein. Die enge Zusammenarbeit mit internationalen Gremien ist deshalb wichtig.

Kooperationszentrum der Weltgesundheitsorganisation (WHO)

Seit 2014 ist das Bundesamt für Gesundheit (BAG) Kooperationszentrum der WHO für Strahlenschutz und öffentliche Gesundheit. Es engagiert sich hier für den Gesundheitsschutz in Notfallsituationen mit Strahlenexposition, in Situationen mit bestehender Strahlenexposition (insbesondere mit Radon) oder mit geplanter Strahlenexposition im medizinischen Bereich sowie bei Expositionen mit nichtionisierender Strahlung. Das BAG hat 2021 in diesem Rahmen am jährlichen International Advisory Committee Meeting zu elektromagnetischen Feldern (IAC) und am jährlichen Meeting des Intersun Programms zu UV-Strahlung teilgenommen und aktiv an der Programmgestaltung mitgearbeitet.

Wissenschaftlicher Ausschuss der UNSCEAR

UNSCEAR ist eine 1955 geschaffene Kommission der Vereinten Nationen. Ihre Mission besteht darin, die Strahlendosen und die Wirkungen ionisierender Strahlen auf internationaler Ebene zu prüfen und eine wissenschaftliche Basis für den Strahlenschutz bereitzustellen. Sie legt der UN-Generalversammlung in regelmässigen Abständen Berichte vor. Seit 2016 umfasst die deutsche Delegation einen Vertreter der Abteilung Strahlenschutz.

Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP)

Die ICRP hat den Auftrag, ein internationales System zum Strahlenschutz zu entwickeln und auf dem aktuellen Stand zu halten. Sie gibt Empfehlungen zu allen Aspekten dieses Schutzes heraus. Professor François Bochud, Vorsitzender der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz (KSR) bis Ende 2021, ist neu Mitglied der Hauptkommission der ICRP. 2017 hat sich das BAG verpflichtet, während fünf Jahren die ICRP-Initiative *Advancing Together* zu unterstützen. Ziel der Initiative ist es, das Strahlenschutzsystem zu verbessern, den Zugang zu den Empfehlungen und Arbeiten der ICRP zu erweitern und die Zusammenarbeit mit Fachpersonen, Behörden und der Bevölkerung zu stärken. Das BAG beteiligt sich an den Arbeiten der *Task Group 114 – Reasonableness and Tolerability in the System of Radiological Protection*.

Internationale Atomenergieorganisation (IAEO)

Die IAEO ist eine mit der UNO verbundene Organisation, deren Aufgabe es ist, grundlegende Sicherheitsnormen zum Strahlenschutz aufzustellen. Zu diesem Zweck stützt sie sich auf die Empfehlungen und Leitlinien der ICRP. Diese Normen sind die Grundlage für die Ausarbeitung gesetzlicher Bestimmungen zum Strahlenschutz auf internationaler (zum Beispiel Europäische Union) oder nationaler Ebene. In diesem Zusammenhang ist das BAG insbesondere an den Aktivitäten des Ausschusses für Normen zur Strahlenschutzsicherheit (Radiation Safety Standards Committee RASSC) interes-

siert. Im Jahr 2021 verfolgte es im speziellen die Arbeiten der IAEO zur Festlegung von Referenzwerten für (natürliche und künstliche) Radionuklide in Lebensmitteln und Trinkwasser in nicht unfallbedingten Situationen. Dazu nahm es aktiv am *Technical Meeting on Radionuclides in Food and Drinking Water in non emergency Situations* teil, das vom 6. bis 10. September 2021 virtuell stattfand.

Kernenergie-Agentur (NEA)

Die NEA (Nuclear Energy Agency) gehört zur Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung OECD und unterstützt ihre Mitgliedstaaten in technischen und rechtlichen Fragen bei der Entwicklung und friedlichen Nutzung der Kernenergie. Das BAG wirkt punktuell bei den Arbeiten des Komitees für Strahlenschutz und öffentliche Gesundheit mit.

International Radiation Protection Association (IRPA)

Die wichtigste Aufgabe der IRPA ist es, die Kommunikation zwischen den Strahlenschutzakteuren zu verbessern und so die Strahlenschutzkultur, die Umsetzung der guten Praxis und die Fachkompetenzen zu fördern. Das BAG beteiligt sich an diesen Arbeiten mit verschiedenen Arbeitsgruppen des Fachverbands für Strahlenschutz, insbesondere dem Arbeitskreis der nichtionisierenden Strahlung (AK NIR), sowie mit der Association romande de radioprotection (ARRAD). Im Mai 2021 präsentierte das BAG den Schweizer Ansatz zum Schutz vor Radon anlässlich des 3. Workshops *Tolerability and Reasonableness*, der von der IRPA und der Société française de radioprotection organisiert wurde.

Expertengruppe «Artikel 31 Euratom-Vertrag»

Seit 2014 nimmt das BAG in einer Beobachtungsfunktion an den Treffen und Diskussionen der Expertengruppe «Artikel 31 Euratom-Vertrag» teil. Diese Gruppe ist damit beauftragt, die von der Europäischen Kommission ausgearbeiteten Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen zu prüfen. Das BAG nahm im Oktober 2021 an der *Working Party on Natural Radiation Sources* teil. Ausserdem nahm es Stellung zum Entwurf eines Berichts über Baumaterialien.

Vereinigung europäischer Strahlenschutzbehörden (HERCA)

In der HERCA sind nahezu alle europäischen Staaten vertreten. Die Vereinigung hat das Ziel, den Strahlenschutz in Europa zu harmonisieren, zum Beispiel durch gemeinsame Stellungnahmen zu Strahlenschutzthemen. Sie ist für die europäischen Strahlenschutzbehörden die wichtigste Plattform für den Erfahrungsaustausch und zur Verbesserung der Strahlenschutzpraxis in den Mitgliedsländern. In diesem Zusammenhang hat sich das BAG an mehreren Treffen insbesondere für die Vorbereitung eines europäischen Inspektoren-Workshops in der Radiotherapie stark engagiert. Dieser Workshop hat zum Ziel, die Kompetenz der Inspektoren und Inspektorinnen der Strahlenschutzbehörden zu stärken und sie mit neuen Technologien vertraut zu machen. Aufgrund der Pandemie und der Idee eines intensiven Erfahrungsaustausches unter den Inspektoren und Inspektorinnen aus den Mitgliedsländern von HERCA wurde das Treffen auf einen späteren Zeitpunkt verschoben. Das Thema Strahlenschutz bei Protonentherapieanlagen wurde im Rahmen einer dedizierten Arbeitsgruppe intensiv diskutiert. Ein internes Dokument mit Angaben über Bewilligungsverfahren, Aufsichtstätigkeiten sowie Strahlenschutz-Spezifisches solcher komplexer Anlagen wurde – als Hilfe für die Behörden – herausgegeben. Zudem wurde eine Erhebung über die Anwendung neuer Radiopharmazeutika in der Nuklearmedizin in den verschiedenen Mitgliedsländern durchgeführt.

European ALARA Network (EAN)

Ziel dieses Netzwerks (www.eu-alara.net) ist es, die Strahlenexposition der Bevölkerung mit Optimierungsstrategien auf einem so niedrigen Niveau zu halten, wie dies mit vernünftigem Aufwand möglich ist (*As Low As Reasonably Achievable*). Im Jahr 2021 wurde eine neue Strategische Agenda in Kraft gesetzt, die die Vision, die Ziele und die vorgeschlagenen Aktivitäten des EAN für den Zeitraum von 2021–2026 enthält. Das Netzwerk hat 2021 zwei Newsletter publiziert, aufgrund von Covid wurden die zwei jährlichen Sitzungen online durchgeführt. Im Rahmen des 2. Treffens der Arbeitsgruppe *Radon at Work (RAW)* stellte das BAG 2021 zudem die Schweizer Gesetzgebung zu Radon am Arbeitsplatz anhand von drei Fallbeispielen vor. Zudem ist zu vermerken, dass 2023 ein Workshop in der Medizin organisiert wird.

Bilaterale Zusammenarbeit mit Deutschland und Frankreich

Zwischen dem BAG und den deutschen Strahlenschutzbehörden, d. h. dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) sowie auch dem BAG und der Autorité de sûreté nucléaire (ASN) in Frankreich findet regelmässig ein Austausch statt. Ausserdem beteiligt sich das BAG mit den Strahlenschutzbehörden ENSI und Suva am Erfahrungsaustausch zu Betrieb, Sicherheit, Überwachung und Umweltauswirkungen von Kernanlagen sowie weiteren Aspekten des Strahlenschutzes. Dieser Austausch findet regelmässig statt, im Rahmen der Deutsch-Schweizerischen Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen bzw. der Commission mixte franco-suisse de sûreté nucléaire et de radioprotection.

Rechtsgrundlagen

Seit der Inkraftsetzung der Gesetzgebung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung und Schall (NISSG) im Jahr 2019 gibt es zwei gesetzliche Grundlagen im Schweizer Strahlenschutz.

Die ionisierende Strahlung ist mit einer umfassenden Gesetzgebung geregelt, die Vollzugsaufgaben sind hauptsächlich Sache des Bundes. Die wichtigsten Erlasse der Strahlenschutzgesetzgebung sind das Strahlenschutzgesetz vom 22. März 1991 (StSG) und die totalrevidierte Strahlenschutzverordnung vom 26. April 2017 (StSV). Darauf basieren weitere Verordnungen zum Strahlenschutz, die meist technische Aspekte regeln. Die Strahlenschutzgesetzgebung beruht auf Artikel 118 Absatz 2 Buchstabe c der Bundesverfassung, die dem Bund die Kompetenz zum Erlass von Vorschriften über ionisierende Strahlung überträgt. Der Schutz gilt für alle Situationen, in denen Mensch und Umwelt ionisierenden Strahlen ausgesetzt sind. Die Gesetzgebung umfasst alle relevanten Bereiche der ionisierenden Strahlung (Ausbildung, Bewilligung, Aufsicht, Dosimetrie, Abfälle, Umwelt, Forschung, Notfälle etc.) und basiert für alle Gebiete (Medizin, Forschung, Industrie, Kernanlagen) auf einheitlichen Konzepten.

Dieser Jahresbericht erfüllt die von der Schweizer Strahlenschutzgesetzgebung geforderte Informationspflicht zur Personendosimetrie (Art. 75 StSV), Umweltradioaktivität (Art. 194 StSV) und über Ereignisse von öffentlichem Interesse (Art. 196 StSV).

Der Gesundheitsschutz bei NIS und Schall ist seit dem 1. Juni 2019 mit der Verordnung zum Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall (V-NISSG) verbessert. Die Verordnung regelt die Verwendung von Solarien, sieht eine Ausbildung für kosmetische Behandlungen vor, verbietet gefährliche Laserpointer und enthält Bestimmungen zu Veranstaltungen mit Schall und Laserstrahlung. Der Vollzug liegt mehrheitlich bei den Kantonen, der Bund unterstützt die Kantone mit Vollzugshilfen. Im Bereich von Veranstaltungen mit Laserstrahlung ist der Bund seit dem 1. Dezember 2020 für den Vollzug zuständig.

Teilrevision des StSG:

Im Auftrag des Bundesrates hat das BAG 2021 ein Projekt zur Teilrevision des Strahlenschutzgesetzes vom 22. März 1991 (StSG) initiiert, um das Verursacherprinzip (Art. 4 StSG) im Hinblick auf die Finanzierung von Jodtabletten-Kampagnen an die Bevölkerung zu konkretisieren. Dazu wird auch die Kostentragung bei Sanierungen von radioaktiv belasteten Standorten (z. B. Radium-Altlasten) und bei der Immissionsüberwachung geregelt. Zwei weitere Themen sind ebenfalls vorgesehen: die Ergänzung von Artikeln über den Datenschutz und Anpassungen der Strafbestimmungen bei Bagatelldfällen. Da die Verordnungen im Strahlenschutz erst 2018 total revidiert wurden, liegt der Fokus auf den zwingenden Anpassungen. Die Teilrevision des StSG tastet also das Strahlenschutzsystem und dessen Grundsätze nicht an. Eine öffentliche Vernehmlassung zu dieser Teilrevision ist Anfang 2023 vorgesehen.

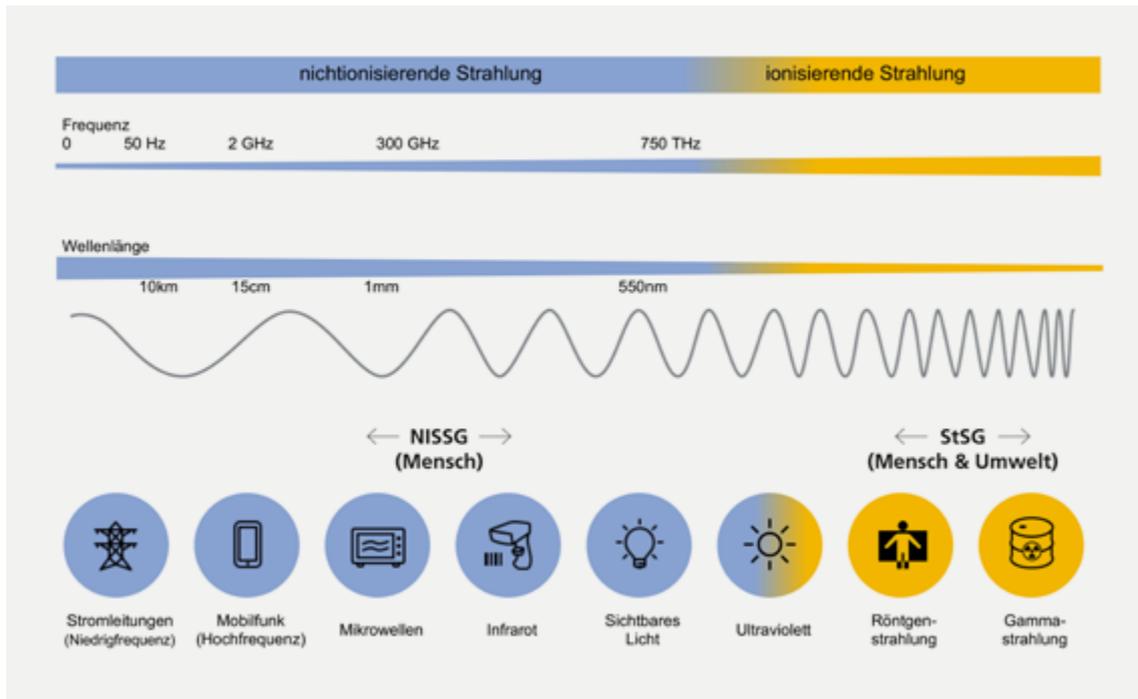


Abb. 33
Das Strahlenspektrum als Handlungsrahmen für das Strahlenschutzgesetz (StSG) und das Gesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall (NISSG)

Abteilung Strahlenschutz – Aufgaben und Organisation

Strahlung ist allgegenwärtig. Ihrem Nutzen in Medizin, Forschung und Industrie oder im täglichen Leben stehen Risiken für Mensch und Umwelt gegenüber. Starke Expositionen gegenüber Strahlung, Radioaktivität, Radon oder Schall bergen Risiken – sei es für Arbeitnehmende, für Patientinnen oder Privatpersonen. Es ist Aufgabe des Bundesamts für Gesundheit (BAG), die Bevölkerung vor den Wirkungen und Risiken ionisierender und nichtionisierender Strahlung zu schützen, nützliche Anwendungen zu ermöglichen und Informationen bereitzustellen. Zudem ist es für den medizinischen und beruflichen Strahlenschutz zuständig, überwacht die Umweltradioaktivität und bereitet den radiologischen Notfallschutz vor.

Das BAG ist die Bewilligungsbehörde für den Umgang mit ionisierender Strahlung in Medizin, Industrie und Forschung (ausser KKW). Die Aufsicht über die rund 22 000 Bewilligungen für die Verwendung ionisierender Strahlung in Medizin, Lehre und Forschung ist deshalb eine zentrale Aufgabe der Abteilung Strahlenschutz. Das BAG überwacht zudem die Umweltradioaktivität und betreibt dafür nebst schweizweiten Messnetzen ein akkreditiertes Labor. Es setzt drei umfangreiche Aktionspläne um: Radon, Radium und Radon (radiologische Sicherheit und Sicherheit) und wirkt bei der Vorbereitung radiologischer Notfallsituationen mit. Im nichtionisierenden Bereich informiert das BAG die Öffentlichkeit über den strahlungsarmen Umgang mit Produkten, die nichtionisierende Strahlung (NIS) und Schall aussenden. Seit dem 1. Juni 2019 vollzieht das BAG zusammen mit den Kantonen die neue Gesetzgebung zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung und Schall.

Über 40 Mitarbeitende verschiedener Berufsgruppen wie Physikerinnen, Geologen, Biologinnen, Radiochemiker oder Ingenieure arbeiten in der Abteilung Strahlenschutz. Erste Priorität haben Massnahmen, die Störfälle verhindern und hohe Strahlendosen bei Bevöl-

kerung, Patientinnen und Patienten sowie beruflich strahlenexponierten Personen vermeiden. Partnerschaften mit Fachgremien im In- und Ausland ermöglichen es dem BAG, gesundheitliche Risiken von Strahlung laufend nach dem neusten Stand von Wissenschaft und Technik zu beurteilen. Das Aufgabenportfolio der Abteilung Strahlenschutz umfasst:

- Bewilligungen und Aufsicht in Strahlentherapie, Nuklearmedizin und radiologischer medizinischer Diagnostik und in Forschungsanlagen wie CERN und PSI
- Koordination der 2020 eingeführten klinischen Audits im Hochdosisbereich
- Vollzug der Gesetzgebung zum Schutz vor NIS und Schall, gemeinsam mit den Kantonen
- Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen (ca. 104 000 Personen inkl. 9000 Personen beim Flugpersonal) und Führen des zentralen Dosisregisters
- Stellungnahme zu Strahlenschutzaspekten bei klinischen Studien mit Geräten, die ionisierende Strahlung erzeugen und mit Radiopharmaka (an Ethikkommission oder Swissmedic)
- Zustimmung des BAG zur Zulassung von Radiopharmazeutika an Swissmedic

(unter Berücksichtigung der Empfehlung der Fachkommission für Radiopharmazeutika)

- Qualitätskontrolle von Radiopharmazeutika auf dem Schweizer Markt
- Bewilligung und Typenprüfung radioaktiver Strahlenquellen
- Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt
- Betrieb eines akkreditierten Radioaktivitätslabors und Betrieb von Messnetzen
- Evaluation der Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung und Langzeitmonitoring
- Umsetzung der Aktionspläne Radon, Radium, Radon
- Anerkennung von Strahlenschutz-Ausbildungen, Dosimetriestellen und Radonmessstellen
- Mitwirkung bei der Vorbereitung radiologischer Notfallsituationen
- Information der Bevölkerung zu Exposition und Gesundheitsrisiken von Strahlung (Röntgen, Radioaktivität, Elektromog, UV, Licht usw.)

Vision

Die Schweiz verfügt über einen umfassenden, nachhaltigen und hochstehenden Strahlenschutz.

Mission

Das BAG sorgt als kompetente Behörde für den Schutz der Bevölkerung und der Umwelt vor gesundheitsgefährdender Strahlung.

