Bedarfsanalyse für den Erhalt und Ausbau von Strahlenschutz-Kompetenz in Deutschland

AUSARBEITUNG DES PROJEKTTEAMS

„PERSPEKTIVISCHER ERHALT VON FACHWISSEN UND -KAPAZITÄTEN IM BEREICH DER
NUKLEAREN SICHERHEIT UND DES STRAHLENSCHUTZES“

Juni 2021

Mitglieder des Projektteams

- BMU** - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
- BASE** - Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung
- BfS** - Bundesamt für Strahlenschutz
- BGE** - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
- BGZ** - Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH

Inhalt

A.	Vorwort.....	3
B.	Zusammenfassung inkl. übergreifender Handlungsbedarfe und Empfehlungen	5
C.	Kompetenzfelder im Strahlenschutz	13
C.1	Strahlung und Gesellschaft.....	14
C.2	Strahlenrisikobewertung	14
C.3	Strahlenbiologie.....	15
C.4	Beruflicher Strahlenschutz	16
C.5	Medizinischer Strahlenschutz.....	16
C.6	Medizinphysik (Patientendosimetrie)	16
C.7	Radiologischer Notfallschutz: Medizinische Versorgung und Betreuung	17
C.8	Angewandter Strahlenschutz	17
C.9	Arbeiten in starken Gamma- und Neutronenstrahlenfeldern.....	18
C.10	Labor-Messmethoden (u.a. radiochemische und kernphysikalische Analysen)	18
C.11	Nukleare Forensik.....	19
C.12	Radioökologie und Strahlenschutz	19
C.13	Radon und NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials)	19
C.14	Prognostische und diagnostische Dosisabschätzung	20
C.15	Biologische Dosimetrie	20
C.16	Strahlenepidemiologie	21
C.17	Nichtionisierende Strahlung.....	21
D.	Anhang.....	23
D.1	Anhang 1: Betrieblicher Strahlenschutz in der nuklearen Entsorgung	23
D.2	Anhang 2: Qualifikationsbedarfe.....	25
E.	Abkürzungsverzeichnis	28

A. Vorwort

Wie hilft uns Strahlung, wie gefährdet sie uns und wie gehen wir damit um?

Strahlung ist allgegenwärtig und wir werden im Alltag häufig mit ihr konfrontiert - z. B. bei Röntgenuntersuchungen und in der Strahlentherapie, durch Mobilfunk (5G bzw. 6G) sowie Stromnetze, durch UV-Strahlung, durch optische Strahlung, bei der täglichen Beleuchtung (LED bzw. Blaulicht) sowie durch Radon. Gesellschaftlich sehr relevant ist der umfassende Notfallschutz im Falle eines Unfallgeschehens (z. B. in einem Kernkraftwerk) oder einer Straftat mittels nuklearen Materials (z. B. Anschlag mit „schmutziger Bombe“). Hier müssen Kompetenzen aus verschiedenen Bereichen des Strahlenschutzes wie auch aus anderen Wissensbereichen gebündelt werden. Dazu gehören der Schutz und die Betreuung exponierter Personen (Kompetenzfeld C7), Messtechniken (C9, C10 und C11) sowie Modellierungskapazitäten (C14). Zentral sind auch die Digitalisierung unserer Gesellschaft und die weitere Anwendung neuester, mit Strahlung einhergehender Techniken. Zusammengefasst **sind heutzutage in vielen Berufsfeldern Kompetenzen im Strahlenschutz erforderlich (u. a. Medizin, Bauwesen, Naturwissenschaften, Ingenieurwissenschaften).** Dazu zählen auch Beratungs- und Unterstützungsleistungen für Wirtschaft und die Politik. Für diese wie auch für die Wissenschaft und Verwaltung sind tiefgehende Fachkenntnisse im Bereich Strahlenschutz unentbehrlich: Für den Schutz von Mensch und Umwelt und den adäquaten Einsatz von Strahlung ist Strahlenschutzkompetenz essentiell.

Dieses vielseitige, sich gerade in der Medizin permanent wandelnde Feld von Strahlenschutz und Strahlenanwendungen erfordert eine ebenso vielseitig aufgestellte Forschungslandschaft – mit breit verankerten Kompetenzen in Forschung, Industrie und Verwaltung –, um für derzeitige und zukünftige Herausforderungen gewappnet zu sein. Allerdings ist im Kontrast zu dieser Anforderung an eine dynamische, zukunftsgerichtete Forschungsinfrastruktur an vielen Stellen in Deutschland ganz im Gegenteil ein Verlust von Kompetenzen und Infrastrukturen zu verzeichnen. Forschung bildet für diese Herausforderungen das – zunehmend instabil werdende – Fundament. Dieses Fundament ermöglicht erst die Risikobewertung und Entwicklung von nationalen und internationalen Regeln, Normen und Empfehlungen für einen Gesundheits-, Umwelt-, Bevölkerungs- und Verbraucherschutz auf hohem Niveau. Bereits im Jahr 2006 schrieb die Strahlenschutzkommission (SSK) in ihrer Empfehlung (BANz Nr. 50 vom 13.03.2007¹), dass sie die Kompetenz auf allen Gebieten der Strahlenforschung in Deutschland gefährdet sehe. Es müsse daher sichergestellt sein, dass weiterhin geeignete Fachleute ausgebildet werden, die in Zukunft die Strahlenforschung in Deutschland und international kompetent vertreten. Deutschland habe nach Einschätzung der SSK den Anschluss an die internationale Spitzenforschung wegen der Schließung vieler Universitätsinstitute bereits zum Teil oder gänzlich verloren.

Mit dem Ziel,

- die wissenschaftliche und gesellschaftlich-politische Bedeutung der Strahlenforschung in Deutschland wieder zu stärken und
- den Kompetenzerhalt durch systematische und kontinuierliche Nachwuchsförderung und Bündelung der wissenschaftlichen Expertise aus Forschungseinrichtungen und Hochschulen auf dem Gebiet der Strahlenforschung langfristig zu sichern,

¹ Eine Aktualisierung dieser Empfehlung wird seit Ende 2020 erarbeitet.

initiierten die Bundesministerien für Bildung und Forschung (BMBF) und für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)² in 2007 den Kompetenzverbund Strahlenforschung (KVSF). Der KVSF versteht sich als das Exzellenzforum für eine zukunftsorientierte interdisziplinäre Strahlenforschung in Deutschland.

Obwohl der KVSF eine Erfolgsgeschichte³ ist, zeigen die neuesten Entwicklungen, dass die bisherigen Anstrengungen noch nicht ausreichen, um das Fachwissen und die Fachkapazitäten (Ressourcen) insbesondere im Strahlenschutz zu erhalten und auszubauen. Großforschungseinrichtungen, selbst wenn sie staatlich gefördert werden, richten ihre institutionelle Forschung danach aus, welche Inhalte die meisten Drittmittel und das größte internationale Renommee einbringen. Für den Drittmittelintrag weniger attraktive Gebiete wie z. B. die Strahlen- und Strahlenschutzforschung werden reduziert und entsprechende Fortbildungsstätten geschlossen – auch weil die Modernisierungen der Forschungsinfrastrukturen kostenintensiv und genehmigungsaufwändig sind. Ein aktuelles Beispiel ist die Schließung des Strahlenschutzinstituts des Helmholtz Zentrums München – dessen Arbeitsgruppen wurden bereits einer anderen Einheit zugeordnet und sollen dort nun komplett abgewickelt werden. Der 2006 identifizierte Trend von Schließungen setzt sich also weiter fort.

Diese Entwicklungen bringen schon jetzt, aber insbesondere perspektivisch mit sich, dass Fachwissen und -kapazitäten im Strahlenschutz weiter zurückgefahren werden und langfristig verloren gehen oder schon verloren gegangen sind.

Der derzeitige und künftig zu erwartende Personalmangel im Strahlenschutz ergibt sich – verstärkend zum allgemeinen Fachkräftemangel aufgrund des demografischen Wandels – somit u. a.

- aus der Konkurrenz zu attraktiver wirkenden Forschungsthemen sowie
- der damit verbundenen Entwicklung an Universitäten und weiteren Forschungseinrichtungen (Schließen von Lehrstühlen und Laboren, z. T. rückläufige Integration strahlenschutzbezogener Themen in die Lehre),
- aber auch aus dem gestiegenen Personalbedarf und der zunehmenden inhaltlichen Breite durch den Aufgabenzuwachs im Strahlenschutz.
- Fehlende Aus- und Fortbildungsangebote bzw. -kapazitäten im Strahlenschutz verschärfen die Situation zusätzlich.

Hinzu kommt, dass Vorgaben fehlen, Strahlenschutzaspekte von Anfang an bei der Entwicklung neuer Technologie mitzudenken. Hier wären Vorgaben der jeweiligen Vergabestellen geboten, Begleitforschung zum Strahlenschutz – von Beginn an, die Entwicklung begleitend – zu betreiben. Denn wenn neue Ansätze und Technologien in der Grundlagenforschung geeignet sind, Strahlung zu erzeugen (wenn auch nur als Nebenprodukt), sollte auch die Verpflichtung bestehen, diesen Aspekt auf dem Weg zur Anwendung mit zu erforschen und die zuständigen Behörden darüber zu informieren. Ein aktuelles Beispiel sind die Ultrakurzpulslaser (UKP). Diese mit dem Nobelpreis ausgezeichnete Erfindung kann unter speziellen Betriebsparametern und Anwendungsmodi – auch unbeabsichtigt – ionisierende Strahlung erzeugen. Um diese zu messen, fehlen derzeit jedoch noch häufig geeignete Messgeräte. Hier wären für die Einführung der Technik begleitende Untersuchungen von Strahlenschutzaspekten wichtig gewesen, um adäquate

² Damals unter dem Namen Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

³ Es konnten bis Mitte des Jahres 2019 rund 135 Forschungsvorhaben mit einem Betrag von rund 82 Millionen Euro gefördert und mehr als 150 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler als Doktoranden oder weiterführende Postdoktoranden an das wichtige Gebiet der Strahlenforschung herangeführt werden.

Schutzmaßnahmen ergreifen zu können. Nur so kann sichergestellt werden, dass neue Technologien so entwickelt werden und so zum Einsatz kommen, dass Mensch und Umwelt ausreichend geschützt sind.

Insgesamt besteht neben dem notwendigen Kompetenzerhalt auch zunehmend Bedarf, vielfältige Strahlenschutzkompetenzen in Deutschland neu aufzubauen und auszubauen.

B. Zusammenfassung inkl. übergreifender Handlungsbedarfe und Empfehlungen

Zusammenfassend lässt sich im Bereich Strahlenschutz feststellen, dass bereits heute ein substantielles und perspektivisch weiter zunehmendes grundsätzliches Problem in der Gewinnung von Personal mit medizinischen oder natur- und ingenieurwissenschaftlichen Kenntnissen besteht. Dies kann u. a. auf die vermeintlich mangelnde Attraktivität des Strahlenschutzes (Stichwort Atomausstiegsbeschluss) zurückgeführt werden, geht aber weit darüber hinaus. **Es gilt, ein Umdenken zu erreichen:** Es gibt eine Vielzahl aktueller Themen im Bereich Strahlenschutz, die nicht in direktem Zusammenhang mit Atomkraft und dem Ausstieg aus der Atomenergie stehen. Sie hängen vielmehr mit einer Reihe von (Zukunfts-)Technologien (u. a. Digitalisierung und moderne Strahlenmedizin) zusammen, mit denen auch die Bevölkerung im Alltag bereits konfrontiert wird. Durch die **neuen Aufgaben im Strahlenschutz nach Strahlenschutzgesetz** ergeben sich zudem sowohl für den Bund als auch für die Länder zusätzliche Bedarfe an Personal und Kompetenzen. Nichtsdestotrotz werden auch unmittelbar zur Beurteilung der Sicherheit von ausländischen Kernkraftwerken und den Ausstieg aus der Kernkraft Strahlenschutzkompetenzen zwingend benötigt. Für den Bereich **Rückbau kerntechnischer Anlagen** wird mit stark steigendem Personalbedarf in allen Aufgabengebieten des betrieblichen Strahlenschutzes gerechnet – hier geht es noch um Jahrzehnte.

Die identifizierten Handlungsbedarfe und Empfehlungen für den Erhalt bzw. Aufbau von Fachwissen und Fachkapazitäten im Strahlenschutz in Deutschland werden hier anhand von **fünf Säulen** gegliedert: **„Ausbildung und Lehre“, „Fort- und Weiterbildung“, „Wissensbasis“, „Gremienarbeit und Netzwerke“ und „Forschung und Entwicklung.** Einen ersten Überblick bietet die folgende Abbildung. Nach den Ausführungen zu den übergreifenden Handlungsempfehlungen werden die einzelnen Kompetenzfelder näher beleuchtet.

Relevante Akteure mit Bezug zum Strahlenschutz sind insbesondere das Ministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), das Ministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE), die Betreibergesellschaften Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) und BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH (BGZ), die Ressortforschungseinrichtungen wie die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) und das Institut für Radiobiologie der Bundeswehr (BIR), die für den Strahlenschutz zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden der Länder sowie die Strahlenschutzkommission (SSK), Verbände, Vereine, Unternehmen, Sachverständigenorganisationen und Forschungseinrichtungen sowie Universitäten. Die Bedarfsfeststellung basiert im Wesentlichen auf den Schutzziele und dem Aufgabenspektrum des Strahlenschutzes und der langjährigen Erfahrung des BfS, welche Fragen und Anforderungen aus dem Raum der Politik, der Öffentlichkeit, der Standardsetzung national und international sowie dem Vollzug gestellt werden, aus denen sich die Kompetenzanforderungen ergeben. Die weiteren Akteure wurden bei der Ermittlung des perspektivischen Bedarfs einbezogen⁴.

Zentrale Anforderung an alle folgenden Ansätze zum Kompetenzerhalt und zur Kompetenzentwicklung ist die Langfristigkeit und Verstetigung – sowohl hinsichtlich der notwendigen Ressourcen als auch hinsichtlich

⁴ Dies erfolgte über eine schriftliche Befragung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.

der regelmäßigen Überprüfung der Zielerreichung, da Kompetenzen im Strahlenschutz dauerhaft benötigt werden und die Bedarfe sich in Qualität und Quantität dynamisch ändern. Auch sollte - immer wieder - geprüft werden, inwiefern die ergriffenen Maßnahmen durch internationale Vernetzung und komplementäre Vorgehensweisen ergänzt und verstärkt werden können.

Strahlenschutz ist vielseitig und stark interdisziplinär. Die Kompetenzfelder unterscheiden sich zum Teil stark hinsichtlich der Handlungsbedarfe. In allen finden sich jedoch die folgenden übergreifenden Aspekte, die hier nun fokussiert dargestellt werden.

Kompetenzfeld-übergreifende Handlungsempfehlungen zum Kompetenzerhalt und zur Kompetenzentwicklung im Strahlenschutz:

Säule 1: Ausbildung & Lehre

- Verbesserung der Attraktivität von Strahlenschutzthemen (Relevanz und Vielfalt) für Studium und Ausbildung
- Thematische Erweiterung von Lehrplänen
- Kooperationen mit Hochschulen und für Berufsausbildungen

Säule 2: Fort- und Weiterbildung

- Ausbau der Kapazitäten und Diversität bei der Fort- und Weiterbildung
- Schaffung einer bundesweiten Einrichtung für Fort- und Weiterbildung

Säule 3: Wissensbasis

- Stärkung der Kompetenzen im Bereich Strahlenschutzstandards und -konzepte
- Systematisches institutionenübergreifendes Wissensmanagement
- Datenerhebung und Sensibilisierung für den Wissenserhalt

Säulen 4: Gremienarbeit & Netzwerke

- Erhalt und Ausbau von Aktivitäten in Gremien und Netzwerken

Säule 5: Forschung & Entwicklung

- Systematische und zukunftsweisende Ausrichtung von Forschung und Entwicklung
- Stärkung der Infrastruktur für Forschung und Entwicklung
- Spitzenforschung für die Zukunftsthemen durch Vernetzung und interdisziplinäre Ansätze

Abb. 1: Kompetenzfeld-übergreifende Handlungsempfehlungen zum Kompetenzerhalt und zur Kompetenzentwicklung im Strahlenschutz

Säule 1: Ausbildung & Lehre

Verbesserung der Attraktivität:

Zur Deckung der identifizierten Bedarfe ist die Attraktivität beruflicher Perspektiven im Strahlenschutz zu steigern. Öffentlichkeitsarbeit an Schulen, Berufsschulen und Hochschulen sollte deutschlandweit erfolgen – dafür könnte in Zusammenarbeit verschiedener Akteure geeignetes Informationsmaterial erstellt und verbreitet werden. Neben pressewirksamen Maßnahmen und der Nutzung verschiedener Informationskanäle sollte auch eine stärkere Beteiligung an Berufsinformationsmessen verfolgt werden. Insbesondere die neuen (Vollzugs-)Aufgaben im geänderten Strahlenschutzrecht könnten als Anlass für PR-Kampagnen genutzt werden. Wesentlich dabei wäre, nicht nur über den Bedarf an Kompetenzen und die Berufsfelder an sich zu informieren, sondern auch Aufklärung bezüglich der Vielfalt an Strahlenschutzthemen und der Relevanz außerhalb der Kernkraft zu betreiben (im Sinne einer Image-Kampagne). Für eine möglichst effektive und effiziente Umsetzung wird eine sehr breite Beteiligung von Akteuren mit Strahlenschutzbezug empfohlen. Hinsichtlich der erwähnten Informationskanäle, sollten Behörden und weiteren Akteuren mit Strahlenschutzbezug insbesondere Social-Media nutzen und deren Nutzung ausweiten. Neben der Information und Aufklärung von Schüler*innen, Auszubildenden, Studierenden und Hochschulabsolvent*innen, sollten auch Hochschulen und weitere Akteure im Bereich Ausbildung adressiert werden, um diese für die Notwendigkeit einer thematischen Erweiterung von Lehrplänen zu sensibilisieren.

Thematische Erweiterung von Lehrplänen

Aufgrund der vielfältigen Arbeitsmöglichkeiten im Strahlenschutz sollten thematische Erweiterungen in Ausbildung sowie Studium - auch im internationalen Kontext - angeboten werden. Einige Themenfelder des Strahlenschutzes werden unzureichend gelehrt, aus der Ausbildung teilweise herausgenommen (u. a. aufgrund des Schließens von Lehrstühlen und Laboren) oder sind noch gar nicht/kaum vorhanden (bspw. Nichtionisierende Strahlung, Strahlenepidemiologie). Angesichts der kompetenzfeldübergreifenden Problematik der Gewinnung ausreichenden Fachpersonals, sollten Kooperationen von strahlenschutzrelevanten Einrichtungen (u. a. Behörden, Bundesgesellschaften, Wirtschaft etc.) mit Hochschulen besonders in den Blick genommen werden. Ziel sollte sein, schwindende sowie unterrepräsentierte und neue Themen in die Lehre verschiedenster Studiengänge zu integrieren. Ein Beispiel ist das Thema Radon⁵ und dafür relevante Strahlenschutzmaßnahmen, für die beispielsweise in den Ausbildungsplänen für Naturwissenschaften, Architektur, Medizin, Geologie, Geografie und Bauingenieurwesen Kompetenzen aufgebaut werden sollten. Weitere Anregungen befinden sich bei den [Hinweisen zu den Qualifikationsbedarfen je Kompetenzfeld](#) (Anhang 2).

Kooperationen mit Hochschulen und für Berufsausbildungen

Empfehlenswert wären 1. eine interdisziplinäre Ausrichtung von Ausbildung und Lehre sowie 2. die Schaffung von Anreizen für den Nachwuchs etwa durch Praktika, Berufsausbildung und Abschlussarbeiten. Die nur noch wenig vorhandenen Lehrstühle mit Strahlenschutzbezug sollten beispielsweise durch eine dauerhafte, planbare Förderung Aufträge erhalten und unterstützt werden. Zudem sollten Kooperationen in der Berufsausbildung gezielt gefördert und ausgebaut werden, um verbleibende Kompetenzen bestmöglich zu

⁵ Radon ist ein Edelgas, das farblos, geruchslos und geschmacklos ist, sich nicht bindet und über Risse und Spalten aus der Erde in die Atemluft entweicht. Radon existiert nur als radioaktive [Isotope](#). Radon-222 ist das Isotop mit der längsten [Halbwertszeit](#) von fast 4 Tagen. Es ist ein natürliches Zerfallsprodukt der [Uran](#)-Thorium-Reihe, das überall auf der Erde vorkommt und erheblich zur natürlichen Umweltradioaktivität beiträgt.

nutzen. Maßnahmen der Nachwuchsförderung sollten durch die Bereitstellung zusätzlicher Ressourcen (zeitlich, personell, finanziell) unterstützt werden.

Säule 2: Fort- und Weiterbildung

Ausbau der Kapazitäten und Diversität bei der Fort- und Weiterbildung

In der Fort- und Weiterbildung sind national unzureichend Kapazitäten und Anbieter vorhanden. Dies betrifft u. a. Bereiche wie angewandter, medizinischer und beruflicher Strahlenschutz, Radioökologie, CBRN-Gefahrenabwehr⁶ und die Bewältigung nuklearer und anderer radiologischer Lagen. Diese nationalen Lücken können nur z. T. durch internationale Angebote kompensiert werden. Eine Verbesserung des Fort- und Weiterbildungsangebots sowohl inhaltlich als auch kapazitatativ ist deshalb sehr wichtig. Da es sich im angewandten Strahlenschutz wesentlich auch um Erfahrungswissen handelt, das nur bedingt durch Schulungsangebote aufgebaut werden kann, sollten Hospitationen besonders beachtet werden; dies sollte über den nationalen Kontext hinausgehen – zum Beispiel in Form von Hospitationen bei der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO), der Weltgesundheitsorganisation (WHO), den Institutionen und Einrichtungen der Europäischen Union (EU), der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD), aber auch bei anderen nationalen Strahlenschutzbehörden

Schaffung einer bundesweiten Einrichtung für Fort- und Weiterbildung

Angesichts des perspektivisch nicht ausreichenden Angebotes an Fort- und Weiterbildungen im Bereich Strahlenschutz bestehen Überlegungen zur Schaffung einer bundesweiten Weiterbildungseinrichtung. Die Umsetzung sollte zügig geplant und realisiert werden. Konkrete Bedarfe sind in Anhang 2 (Qualifikationsbedarfe) aufgeführt. Die genaue Ausgestaltung einer solchen Einrichtung sollte berücksichtigen, dass bereits bestehenden Angeboten dadurch keine existenzbedrohende Konkurrenz erwächst; dies wäre kontraproduktiv im Hinblick auf die Bedarfserfüllung – sowohl die Kapazitäten als auch die Diversität und Unabhängigkeit von Expert*innen betreffend. Denkbar wäre eine Dachorganisation, die bestehende Angebote vernetzt und um jene Kapazitäten und Inhalte ergänzt, die bislang fehlen oder unzureichend sind. Die koordinierenden Dienstleistungen einer solchen Einrichtung könnten zudem auch die Vermittlung von Hospitationen in zentralen Einrichtungen umfassen. Dieser Ansatz könnte den Vorschlag seitens der Länder berücksichtigen, die den Bedarf für ein institutionalisiertes Verfahren für Hospitationen zwischen den Aufsichtsbehörden der Länder und des Bundes sehen – zum Beispiel für die Begleitung von Genehmigungsverfahren, die Genehmigung und Aufsicht besonderer Betriebszustände und bei Übungen. Wichtig bei der Schaffung einer möglichen Weiterbildungseinrichtung ist dabei auch die Rekrutierung geeigneter Dozent*innen, da sich diese bei bestehenden Anbietern als zunehmend schwierig erweist. Unabhängig von den einzelnen, spezifischen Bedarfen sollte im Strahlenschutzrecht stärker und systematischer geschult werden, auch auf europäischer Ebene. Dabei wären bei der Ausgestaltung sowohl Nichtjurist*innen als auch Jurist*innen zu berücksichtigen.

Säule 3: Wissensbasis

Stärkung der Kompetenzen im Bereich Strahlenschutzstandards und -konzepte

Für die Überprüfung und Weiterentwicklung von Strahlenschutzstandards und -konzepten bedarf es ausreichender Expertise in den Grundlagen des Strahlenschutzes. Zudem werden vielseitige Kompetenzen benötigt, um in die zuständigen nationalen und internationalen Normungsgremien

⁶ Chemische (C), biologische (B), radiologische (R) bzw. nukleare (N) Gefahrstoffe

Strahlenschutzkompetenz einzubringen. Neben spezifischen technischen, ingenieur- und naturwissenschaftlichen Fachkompetenzen werden auch Kenntnisse u. a. zu den (administrativen) Verfahren und Prozessen benötigt. Im regulatorischen Strahlenschutz kommt der Normung eine zunehmende Bedeutung zu. Neben dem normungspolitischen Konzept der Bundesregierung ergibt sich auch mit der neueren Rechtsprechung des EuGH zu harmonisierten Normen eine höhere Rechtsverbindlichkeit von Normen. Die Rechtssetzung fokussiert sich zunehmend auf einen generischen Rechtsrahmen und überlässt die weitergehende Konkretisierung der Normung. Wenden Hersteller europäisch harmonisierte Normen an, dann reicht ein Verweis auf das Erfüllen dieser Normen aus. Normungsaktivitäten erfordern damit einen wichtigen – und zunehmend gewichtigen – Teil der Kapazitäten, die im Strahlenschutz vorgehalten werden müssen.

Systematisches institutionenübergreifendes Wissensmanagement

Hinsichtlich der Wissensbasis besteht ein besonderer Bedarf für den Aufbau, den Erhalt sowie die Fortschreibung eines systematischen **institutionenübergreifenden** Wissensmanagements – in Deutschland und darüber hinaus. Ein reines Informationsmanagement wird für den Großteil der Kompetenzen als nicht ausreichend angesehen, da es sich im angewandten Strahlenschutz zu großen Teilen um Erfahrungswissen handelt. In den Bereich Wissensbasis fällt auch die Analyse, welche Kompetenzen bei den bestehenden Tätigkeiten im Strahlenschutz fehlen und ergänzt werden sollten. So zeigt die Erfahrung mit öffentlich stark diskutierten Themen wie 5G bzw. 6G, Stromnetzausbau und Notfallschutz, dass etwa die angewandte Wissenschafts-, Risiko- und Krisenkommunikation als Schlüsselkompetenz viel stärker Berücksichtigung finden sollte. Nicht zuletzt die Erfahrungen in der Corona-Pandemie haben die Bedeutung dieser Schlüsselkompetenzen bei risikobehafteten Themen noch einmal verdeutlicht. Auch hinsichtlich des Aspekts der Digitalisierung, Archivierung und Vernetzung von Wissen besteht Nachholbedarf. Es ist zu prüfen, in welchen Bereichen Datenbanken oder bundesweite Register mit Informationen sinnvoll und geeignet sind.

Darüber hinaus gilt es, Wissensträger*innen zu identifizieren und deren Wissen zu erhalten. Auch der Erhalt praktischer Laborkenntnisse ist für die Wissensbasis im Strahlenschutz von großer Bedeutung. Laborbetriebe dienen dabei nicht nur als Wissensbasis, sondern auch als Stellen der Wissensschaffung und -erweiterung. Wesentliche Grundlage des Strahlenschutzes ist die Bewertung von Expositionen, Wirkungen und Risiken nach dem Stand von Wissenschaft und Technik.

Datenerhebung und Sensibilisierung für den Wissenserhalt

Beim Aufbau und Erhalt einer angemessenen Wissensbasis sind die verschiedenen Arten von Wissen zu berücksichtigen. Daher ist eine Kombination sich ergänzender Maßnahmen notwendig. Dazu zählen:

- die Schaffung von Bewusstsein für Kompetenz- und Wissenserhalt in relevanten Stellen (u. a. Behörden),
- das Führen von Statistiken über Aus- und Fortbildungen sowie die mit den jeweiligen Stellen verbundenen Aufgaben,
- die Durchführung von Befragungen des jeweiligen Personals, um vorhandene Kompetenzen festzustellen,
- die Verfolgung der Altersstruktur und die damit einhergehende zielgerichtete Nachfolgeplanung, inklusive Altersmischung bei Aufgaben (Tandem-Konzept),
- Dokumentation des impliziten Wissens beim Ausscheiden von Wissensträger*innen sowie
- überlappende Stellenbesetzung, Schulungen und fundierte Einarbeitungskonzepte inklusive Erstellung entsprechender Materialsammlungen wie Datenbanken und digitale Handbücher. Dabei ist auch der Wissenstransfer für die internationale Zusammenarbeit von großer Bedeutung.

Säule 4: Gremienarbeit & Netzwerke

Erhalt und Ausbau der Aktivitäten in Gremien und Netzwerken

Bei Gremienarbeit und Netzwerken ist hervorzuheben, dass - insbesondere national - neben teils gut vernetzten Kompetenzfeldern zusätzlicher Bedarf zur Vernetzung besteht, etwa für die angewandte Risikokommunikation, Radiochemie, NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials), Modellierung⁷ sowie das Notfallmanagement nuklearer und anderer radiologischer Lagen. Ein wichtiges Beispiel ist das medizinische Notfallmanagement. Hier wäre auf nationaler Ebene ein Netzwerk von Bundes- und Landesbehörden, klinischen Einrichtungen sowie Rettungskräften notwendig, um den ressort- und fachübergreifenden Austausch zu Fragen des medizinischen Notfallmanagements im erforderlichen Umfang interdisziplinärer und intensiver organisieren zu können.

In internationalen Gremien ist Deutschland derzeit mit einer Reihe von Strahlenschutzexpert*innen i. d. R. gut vertreten. Um die deutsche Präsenz und die Mitgestaltungsmöglichkeiten in internationalen Gremien zu erhalten, werden auch zukünftig gut ausgebildete Expert*innen auf dem Gebiet des Strahlenschutzes und der Strahlenforschung benötigt.

Säule 5: Forschung & Entwicklung

Systematische und zukunftsweisende Ausrichtung von Forschung und Entwicklung

Ein zentraler Baustein zum Erhalt und vor allem auch Aufbau von Fachwissen und -kapazitäten ist die Forschung. In diesem Zusammenhang spielt die europäische Zusammenarbeit auf den Gebieten Forschung, Aus- und Weiterbildung sowie Erhalt der notwendigen Infrastruktur eine wesentliche Rolle. Bedeutsam für die Entwicklung und gemeinsame Bearbeitung von Projekten, besonders im Rahmen der EURATOM-Ausschreibungen, sind hier die europäischen Strahlenschutz-Plattformen⁸ sowie MEENAS⁹ als Plattform-übergreifendes Konsortium. Diese Entwicklung wurde in Europa gezielt vorangetrieben¹⁰. Vorschläge und Vorlagen dieser Plattformen werden bei der Konzeption neuer EURATOM-Arbeitsprogramme von der EU-Kommission gehört. Ein Nachfolgeprogramm für CONCERT EJP befindet sich derzeit in Vorbereitung. Angestrebt wird hier eine Partnerschaft im Strahlenschutz unter EURATOM – angelehnt an Horizon Europe. Zu nennen sind auch die Ausschreibungen der Europäischen Rahmenprogramme EMRP und EMPIR für die Metrologie unter EURAMET¹¹.

Eine herausgehobene Rolle insbesondere mit Blick auf den Erhalt der Strahlenschutzkompetenz in Deutschland spielt die nationale Forschung. Hier gibt es unterschiedliche Arten wie Forschung durchgeführt bzw. gefördert werden kann: z. B. durch Grundlagen- oder angewandte Forschung (mit den Finanzierungsarten Eigenforschung, Drittmittelforschung und Ressortforschung).

⁷ Mathematische Modellierung kommt meist dann zum Einsatz, wenn entsprechende Experimente in der Praxis schwer auszuführen, zu riskant bzw. zu kostspielig sind oder überhaupt erst geplant werden sollen. Beispiele sind der Transport von Radionukliden mit dem Grundwasser oder der Transport von Strahlung in komplexer Geometrie.

⁸ MELODI, EURADOS, EURAMED, NERIS, ALLIANCE, SHARE

⁹ MEENAS: Konsortium europäischer Strahlenforschungsplattformen (MELODI, EURADOS, EURAMED, NERIS, ALLIANCE, SHARE)

¹⁰ z. B. mithilfe von CONCERT-EJP – European Joint Programme for the Integration of Radiation Protection Research, ID: 662287, einem europäischen Gemeinschaftsprojekt unter Horizon 2020, das auch aktuelle Forschungs- und Innovationsprojekte wie z. B. RadoNORM – ID: 900009 prägt

¹¹ mit Projekten wie MetroERM, MetroDECOM, Preparedness, MetroRadon, RemoteALPHA, traceRadon

Die Grundlagenforschung im Strahlenschutz (vor allem in Form von Eigen- als auch Drittmittelforschung) wird vom BMBF (und den Ländern) gefördert. Die enge Verzahnung von Grundlagenforschung und angewandter Forschung (vor allem in Form von Ressortforschung) ist für den Aufbau und Erhalt von Fachwissen unentbehrlich. Hierbei spielt neben der auch künftig unabdingbaren institutionellen Förderung von Großforschungseinrichtungen im Strahlenschutz für das Thema Drittmittelforschung seit 2007 der vom BMBF und dem BMU gegründete Kompetenzverbund Strahlenforschung (KVVSF) die herausragende Rolle. Der KVVSF berät die beiden Ministerien bei der gezielten Förderung der Strahlenforschung in Deutschland mit dem Ziel, die verschiedenen Bereiche der Strahlenforschung an Universitäten und Forschungseinrichtungen als starke und erfolgreiche Disziplinen zu etablieren, sodass Deutschland über qualifizierte und kompetente Wissenschaftler*innen verfügt. Die Wissenschaftler*innen der Helmholtz-Zentren¹² zählen neben Wissenschaftler*innen von Universitäten und Technischen Hochschulen zu den Forschungsnehmer*innen, die in der Lage sind, erworbenes Fachwissen aus der Grundlagenforschung mit Forschungstätigkeiten aus den Ressortaufgaben zu verknüpfen. Diese Kompetenz in der Helmholtz-Gemeinschaft ist nicht zu ersetzen und daher mit Blick auf die Verantwortung der Bundesregierung für die Grundlagenforschung im Gesundheitsbereich und die durch das neue Strahlenschutzrecht generierten neuen Aufgaben und Fragestellungen im Strahlenschutz langfristig zu erhalten. Damit innerhalb der Spannungsfelder, in denen sich Forschungsreinrichtungen bewegen, der Strahlenschutz nicht zugunsten anderer Themen weiter stark zurückgefahren wird, müssten finanzielle Anreize für die Helmholtz-Institute geschaffen werden, die explizit den Kompetenzerhalt im Blick haben. Eine solche Steuerung könnte auch durch eine generelle schutzbezogene Ko-Förderung von Grundlagenforschung erfolgen: Wenn neue Ansätze und Technologien in der Grundlagenforschung geeignet sind, Strahlung zu erzeugen (wenn auch nur als Nebenprodukt), sollte die Verpflichtung und finanzielle Möglichkeit bestehen, diesen Aspekt auf dem Weg zur Anwendung mit zu erforschen und die zuständigen Behörden darüber zu informieren.

Die angewandte Forschung zu Fragen des Strahlenschutzes liegt im Rahmen der Ressortforschung im Zuständigkeitsbereich des BMU. Dabei hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass es in manchen Forschungsfeldern des Strahlenschutzes schwierig ist, national qualifizierte Forschungsnehmer*innen für die im Ressortforschungsplan ausgeschriebenen Projekte zu finden. Mit dem Ziel, perspektivisch Kompetenzen potentieller Forschungsnehmer*innen im Strahlenschutz in Deutschland aufzubauen und zu erhalten, sollten zum einen an aktuellen Forschungsfragen ausgerichtete Förderprogramme initiiert werden, zum anderen auch die Bedarfe und Interessenslage der Forschungsnehmer*innen im Strahlenschutz konkret erfasst werden, z. B. in Form von Stakeholdergesprächen.

Stärkung der Infrastruktur für Forschung und Entwicklung

Forschung ist die Grundlage für die Risikobewertung und Entwicklung von nationalen und internationalen Regeln, Normen und Empfehlungen für einen Gesundheits-, Umwelt-, Bevölkerungs- und Verbraucherschutz auf hohem Niveau. Die Grundlage für die Forschung wiederum ist die Infrastruktur. Deswegen ist es wichtig, die Attraktivität der Forschung mit radioaktiven Stoffen und ionisierender sowie nichtionisierender Strahlung zu steigern. Dazu gehört eine Qualitätsinfrastruktur, die entsprechende Forschungsarbeiten auf höchstem Niveau ermöglicht. Für eine moderne, erfolgreiche Strahlenschutzforschung ist der langfristige Zugang zu experimentellen Bestrahlungsanlagen wichtig. Dem fortschreitenden Abbau dieser Forschungsinfrastruktur muss entgegengewirkt werden. Zwei Beispiele: Anfang 2020 wurde eine wichtige Mikrostrahlanlage in München stillgelegt (SNAKE: Supraleitendes Nanoskop für angewandte kernphysikalische Experimente). Mit dieser waren gezielte Bestrahlungen z. B. eines Zellkerns mit einzelnen oder abgezählten Ionen möglich. Die

¹² Die Helmholtz-Zentren werden zu 90% vom BMBF und zu 10% von den Sitz-Bundesländern grundfinanziert.

Kombination von molekularbiologischen Studien mit einer derartigen Bestrahlung stellte somit ein ideales Werkzeug dar, um strahlenbiologische Fragestellungen im Hoch- und Niedrigdosisbereich gezielt bearbeiten zu können. Ein weiteres Beispiel ist die Ionenstrahlanlage der PTB (Mikro-Ionenbeam). Der Einsatz wurde bereits zurückgefahren. Nach Abschluss laufender Drittmittelprojekte ist mit einer Schließung zu rechnen.

Spitzenforschung für Zukunftsthemen durch Vernetzung und interdisziplinäre Ansätze

Strahlenforschung zielt nicht nur auf Schutz hin, sondern auch auf Innovation in den betreffenden Disziplinen. Sie ist hochgradig interdisziplinär und bietet enorme Synergieeffekte für viele Zukunftsthemen. Die Bundesregierung hat unter anderem mit der Hightech-Strategie¹³, der Nationalen Dekade gegen Krebs¹⁴ und den Nationalen Strategien für Künstliche Intelligenz¹⁵ sowie zur Energiewende¹⁶ wichtige Ziele gesetzt. Zu diesen kann die Strahlenforschung einen wichtigen Beitrag leisten:

- **Verhalten und Verhältnisse:** Ob Klimawandel, Gesundheit oder auch Stadtentwicklung – es geht immer um zwei Perspektiven – das Verhalten der Menschen und die Verhältnisse, die sie umgeben. Maßnahmen zum UV-Schutz bspw. können nicht nur vor Hautkrebs schützen. Zusammengedacht mit anderen Herausforderungen können Maßnahmen auch zum Schutz vor Hitze, Infektionen, Umwelt u. v. m. beitragen und die Lebensqualität in Stadt und Land erhöhen. Die Verhältnisse, die uns umgeben, beeinflussen unser Verhalten – und umgekehrt. Hier gibt es enorme Potenziale für gemeinsame Forschungsfelder und integrierte Antworten für große gesellschaftliche Herausforderungen.
- **Krisen und Risiken:** Die Corona-Pandemie hat einmal mehr verdeutlicht wie komplex der Umgang mit Krisen und Risiken in unserer Gesellschaft ist. Die Forschung an, mit und durch Laien gewinnt an Bedeutung und erfordert eine viel stärkere Vernetzung der Natur- und Ingenieurwissenschaften mit Sozialwissenschaften und Psychologie. Strahlenschutz kann nicht nur durch die Erfahrung aus den Reaktorkatastrophen in Tschernobyl und Fukushima wichtige Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen für die Krisen- und Risikokommunikation einbringen. Auch die Erfahrungen mit und die Aufklärung zur Energiewende und Digitalisierung (etwa aufgrund des Umgangs mit Ängsten vor Strahlung bei Stromtrassen, 5 G, Elektromobilität etc.) können zu den großen Veränderungsprozessen in unserer Gesellschaft beitragen. Die Anschläge auf 5G-Mobilfunkmasten in Großbritannien im Zusammenhang mit der Corona-Pandemie haben gezeigt, dass die Bevölkerung Verbindungen zwischen Themen herstellt, die zunächst weit entfernt scheinen. Das durch die Folgen der Reaktorkatastrophe von Fukushima in den Fokus gerückte Forschungsfeld zu den psychosozialen Folgen von Krisen bietet auch für viele andere Themenfelder wichtige Anknüpfungspunkte.
- **Arbeits- und Gesundheitsschutz:** Unter anderem das Strahlenschutzthema Radon gewinnt erheblich an Relevanz für den Arbeits- und Gesundheitsschutz. Notwendig ist die weitere Erforschung der Transportprozesse, der Konzentrationen u. a. am Arbeitsplatz und in Gebäuden, der Folgen für die Gesundheit und Methoden zur Vorbeugung und Behandlung. Dabei bietet neben einer singulären Betrachtung von Gefahrstoffen und -quellen, eine Schadstoff-übergreifende Betrachtung großes Potenzial. Ein Anwendungsbeispiel für die Schadstoff-übergreifende Betrachtung könnte die

¹³ <https://www.hightech-strategie.de/>

¹⁴ <https://www.dekade-gegen-krebs.de/>

¹⁵ <https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html>

¹⁶ <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/energiewende.html>

Bewertung recycelter Baustoffe sein. Alternative Ansätze zur Deckung des gesellschaftlichen Ressourcenbedarfs – z. B. Urban Mining¹⁷ – sind ein wichtiges Zukunftsthema. Erkenntnisse aus der Radon-Forschung können andere Disziplinen bereichern und umgekehrt. Hinzu kommt, dass alternative Baustoffe und energetische Sanierungen Einfluss auf Luftströme nehmen – und damit den Transport von Stoffen, auch radioaktiven, beeinflussen. Generell gilt: Statt Risiken nur einzeln und unabhängig voneinander zu beforschen, können zunehmend ganzheitliche Betrachtungen der Umweltmedien „Wasser, Boden und Luft“ wichtige Erkenntnisse liefern. Die Radioökologie natürlicher Nuklide sowie die Nutzung dieser Nuklide als Tracer zur Charakterisierung von Umweltprozessen bieten viel Potenzial für Forschung und Entwicklung.

- **Digitalisierung und neue Technologien:** Nicht nur für die Medizin, auch für die mobile Messtechnik für den radiologischen Notfallschutz und die Überwachung der Umweltradioaktivität bietet die Digitalisierung dringliche Forschungs- und Anwendungsfelder. Beispiele sind die Untersuchung von Mensch-Computer-Interaktionen und der Einsatz Künstlicher Intelligenz. Gerade die Forschung und Entwicklung für eine Individualisierung von Therapie und Diagnostik in der Medizin rückt in den Blickpunkt. Zum Schutz der Gesundheit kommt es dabei immer auf das Abwägen zwischen Nutzen und Risiken an: Wie kann beispielsweise sichergestellt werden, dass von der Künstlichen Intelligenz erstellte Bestrahlungspläne für die Krebstherapie hinreichend sicher sind?

C. Kompetenzfelder im Strahlenschutz

Im Folgenden werden für die einzelnen Kompetenzfelder im Strahlenschutz spezifische Handlungsbedarfe und mögliche Maßnahmen aufgeführt.

Die 17 Kompetenzfelder haben keinen abschließenden Charakter. Im Strahlenschutz kommen laufend neue Anwendungsfelder auf, die vorlaufend zu bewerten sind, d. h. gegebenenfalls sind neue Kompetenzfelder antizipatorisch zu erschließen, derzeit absehbar z. B. in Richtung personalisierter Strahlenschutz für Patient*innen und beruflich strahlenexponierte Personen, Nutzung neuer Frequenzbereiche bei der Datenübertragung.

Eine Reihe von Kompetenzfeldern im Strahlenschutz sind weiterhin für die nukleare Sicherheit, den Rückbau der Kernkraftwerke sowie die Entsorgung radioaktiver Abfälle relevant. Für das BASE ergeben sich Bezüge zum Strahlenschutz bei der Aufsicht über die Endlager radioaktiver Abfälle und die Schachtanlage Asse II, bei Genehmigungsverfahren für den Transport und für die Aufbewahrung von Kernbrennstoffen sowie bei der staatlichen Verwahrung und der Bewertung der nuklearen Sicherheit kerntechnischer Anlagen. Zur Prüfung dieser Sachverhalte müssen Fachkenntnisse im Strahlenschutz beim BASE und seinen hinzugezogenen Sachverständigenorganisationen erworben und erhalten werden. Aufgrund der besonderen Bedeutung des betrieblichen Strahlenschutzes für die Betreibergesellschaften BGE und BGZ wird in Anhang 1 der Spezialfall „Betrieblicher Strahlenschutz in der nuklearen Entsorgung“ gesondert behandelt.

Die folgende Reihenfolge der Kompetenzfelder stellt keine Gewichtung oder Priorisierung dar. **Strahlenschutz umfasst alle Bereiche des Lebens – die dargestellten Handlungsbedarfe und möglichen Maßnahmen sollten daher nicht als einzelne Optionen, sondern als Gesamtkonzept betrachtet werden. Die Tatsache, dass Strahlung für Menschen häufig kaum wahrnehmbar ist, birgt die Gefahr, dass die**

¹⁷ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining#strategie-zur-kreislaufwirtschaft->

Entwicklung hinsichtlich des zur Verfügung stehenden und nachkommenden Fachpersonals und deren Kompetenzen weniger Beachtung erfährt. Daher ist die generelle Sensibilisierung für Strahlenschutzthemen als grundlegende Maßnahme einzubeziehen.

C.1 Strahlung und Gesellschaft

Definition des Kompetenzfeldes: Das Kompetenzfeld „Strahlung und Gesellschaft“ umfasst zwei wesentliche Aspekte: zum einen die angewandte Risiko- und Krisenkommunikation und zum anderen die dafür notwendigen sozialwissenschaftlichen Grundlagen aus Soziologie, Psychologie und Kommunikationswissenschaften. Beide sind erforderlich u. a. für die Entwicklung von Konzepten für eine verständliche und zielgruppengerechte Risiko- und Krisenkommunikation, Evaluation der Wirkungen von Kommunikation, Durchführung von Umfragen zum Umgang der Bevölkerung mit Strahlenrisiken, Durchführung von Studien zur Verarbeitung von Strahlenschutzinformationen und Erarbeitung von Maßnahmen zu Stärkung des Strahlenschutzverhaltens unter Berücksichtigung psychosozialer Folgen.

Zusammenfassend lässt sich für das Kompetenzfeld „Strahlung und Gesellschaft“ feststellen, dass es eine sehr wichtige Schlüsselkompetenz ist, fachlich fundiert und gleichzeitig für die Allgemeinheit verständlich strahlenbedingte Risiken kommunizieren zu können. Für eine adäquate Risiko- und Krisenkommunikation ist eine sozialwissenschaftlich basierte und fundierte Beratung (auf Basis sozialwissenschaftlicher Forschung) notwendig. Beispiele wie der Ausbau von Stromnetzen oder die Einführung neuer Mobilfunkgenerationen (wie 5G) zeigen, welche Auswirkungen die öffentliche Diskussion über Risiko-Themen auf die Wahrnehmung von Infrastrukturprojekten, aber auch auf die empfundene Belastung für die eigene Gesundheit hat. Zu den nichtradiologischen Folgen von Reaktorunfällen (sog. psychosoziale Folgen, z. B. Depressionen, Stigmatisierung) liegen inzwischen zahlreiche Studien vor. Diese Erkenntnisse sollten verstärkt Eingang finden in Schutzkonzepte, Notfallpläne und konkrete Handlungsempfehlungen (vergleichbar der psychosozialen Notfallversorgung (PSNV) bei nichtradiologischen Unfällen). Eine adäquate Risiko- und Krisenkommunikation inklusive sozialwissenschaftlicher Forschung und Beratung sind daher mehr denn je notwendig. In Deutschland gibt es nur sehr wenige Forschungsnehmende mit der kombinierten Kompetenz für Strahlenschutz und Risiko-/Krisenkommunikation. Um im internationalen Vergleich aufzuholen, wäre hier ein breiterer Auf- und Ausbau von Kompetenzen geboten. Strahlenschutz als Anwendungsfall sozialwissenschaftlicher Forschung und Berufstätigkeit sollte daher noch stärker in die Ausbildung aufgenommen werden (zum Beispiel mithilfe der Einbindung strahlenschutzrelevanter Behörden in praktische Teile der Ausbildung).

C.2 Strahlenrisikobewertung

Definition des Kompetenzfeldes: Das Kompetenzfeld „Strahlenrisikobewertung“ umfasst sowohl die Bewertung von Einzelstudien hinsichtlich ihrer Qualität und ihrer Bedeutung für den Gesamtzusammenhang wissenschaftlicher Erkenntnisse als auch die Synthese der Einzelbefunde zu einer Gesamtbewertung. Darüber hinaus werden auf Basis des Wissens über den Dosis-Wirkungszusammenhang Aussagen abgeleitet: 1. zum Risiko für bestimmte Expositionsszenarien, 2. über den Anteil der strahlenbedingten Erkrankungen an der gesamten Krankheitslast in der Bevölkerung und 3. auch über die Wahrscheinlichkeit, dass eine aufgetretene Erkrankung durch Strahlung verursacht worden ist. Die Risikobewertung ist ein wichtiger Pfeiler in der Rechtfertigung regulativer Maßnahmen. Eine qualifizierte Risikobewertung erfordert die Kombination aus breitem interdisziplinärem Fachwissen (Epidemiologie, Strahlenbiologie, Dosimetrie, Strahlenwirkungen, Statistik etc.), das meist über langjährige Erfahrung in dem Tätigkeitsbereich erworben wird. Damit die

Ergebnisse der Strahlenrisikobewertung sinnvoll genutzt und weitergetragen werden können, bedarf es der Kombination mit ausgeprägten kommunikativen Kompetenzen (Siehe C.1.).

Beispiele für kontroverse inhaltliche Themen im Bereich gesundheitlicher Risiken sind Expositionen im Niedrigdosisbereich z. B. bei der Freigabe von Abfällen, Folgen der Reaktorkatastrophe in Fukushima, gepulste Strahlenfelder in der Technik und Medizin, CT-Untersuchungen, mögliche gesundheitliche Wirkungen von Mobilfunk bzw. 5G, Stromnetze. Aber auch zentrale Annahmen im Strahlenschutzsystem müssen fortlaufend aktualisiert und neu bewertet werden (z. B. Gültigkeit der LNT-Hypothese¹⁸, strahlenbedingte Nicht-Krebserkrankungen im Niedrigdosisbereich, individuelle Strahlenempfindlichkeit, Gewebewichtungsfaktoren, RBE¹⁹).

Zusammenfassend lässt sich für das Kompetenzfeld feststellen, dass ausreichend Personen zur Verfügung stehen müssen, die in der Lage sind, gesundheitliche Strahlenrisiken fundiert zu bewerten und diese Bewertungen auch verständlich an verschiedene Zielgruppen zu kommunizieren. Fehlt die Kompetenz, diese Bewertungen fundiert vorzunehmen, ist es kaum möglich, mögliche Risiken adäquat zu untersuchen, auf diese adäquat zu reagieren – ggf. auch regulatorisch - bzw. dazu zu informieren.

C.3 Strahlenbiologie

Definition des Kompetenzfeldes: Das Kompetenzfeld „Strahlenbiologie“ umfasst die Untersuchung biologischer Wirkungen ionisierender Strahlung auf Lebewesen. Dies geschieht über in vivo oder in vitro²⁰ Experimente, aber auch vermehrt retrospektiv unter Verwendung von archiviertem Material. Insgesamt werden durch die Strahlenbiologie wichtige Grundlagen für die Risikoabschätzung und -bewertung ionisierender Strahlung erarbeitet. Wichtige inhaltliche Felder sind verbesserte Kenntnisse zur individuellen Strahlenempfindlichkeit (z. B. Entwicklung von Biomarkern für den Einsatz von Strahlentherapie) und zu Nicht-Krebserkrankungen nach moderaten oder niedrigen Strahlendosen.

Zusammenfassend lässt sich für das Kompetenzfeld feststellen, dass nur noch an wenigen Großforschungseinrichtungen, Universitäten und Hochschulen strahlenbiologische Ausbildung und Forschung betrieben werden. Die Kenntnis biologischer Wirkmechanismen ist jedoch ein wesentlicher Baustein in der Risikobewertung, die wiederum die Grundlage für Strahlenschutzkonzepte bildet. Durch eine gezielte Förderung von Forschungsprojekten in Kooperation mit relevanten Behörden und Akteuren sollte einem Kompetenzverlust entgegengewirkt werden. Im Bereich Forschung und Entwicklung wie auch Lehre und Berufsausbildung wurden bereits wichtige Kooperationen entwickelt, die zukünftig erhalten und ausgebaut werden sollten. Für eine moderne, erfolgreiche Strahlenschutzforschung ist auch der langfristige Zugang zu experimentellen Bestrahlungsanlagen (z. B. Protonen-, Kohlenstoffionenbestrahlung) wichtig. Deshalb sollte dem fortschreitenden Abbau dieser Forschungsinfrastruktur entgegengewirkt werden.

¹⁸ LNT-Hypothese (Linear No-Threshold): Diese Hypothese nimmt einen rein linearen Zusammenhang zwischen Strahlungsdosis und Krebsfällen an.

¹⁹ RBE: relative biologische Wirksamkeit (relative biological effectiveness); der RBE unterscheidet Strahlenarten hinsichtlich ihrer biologischen Effekte.

²⁰ „in vivo“ meint Prozesse, die im lebenden Organismus ablaufen; „in vitro“ demgegenüber „im Glas“ (kontrollierte künstliche Umgebung außerhalb eines lebenden Organismus)

C.4 Beruflicher Strahlenschutz

Definition des Kompetenzfeldes: Der berufliche Strahlenschutz umfasst alle Maßnahmen im Zusammenhang mit der Quantifizierung und Dokumentation der Exposition von Beschäftigten sowie deren Reduzierung oder Vermeidung nach den Vorgaben von Strahlenschutzgesetz und Strahlenschutzverordnung.

Zusammenfassend lässt sich für das Kompetenzfeld „Beruflicher Strahlenschutz“ festhalten, dass insgesamt ein zunehmender Mangel an Expert*innen festzustellen ist. Um diesem Mangel entgegenzuwirken, ist eine gezielte finanzielle Förderung entsprechender Ausbildungskapazitäten (Universitäten etc.) und/oder die Etablierung eines Behörden-Netzwerks zum gezielten Austausch von Wissen und Erfahrung sinnvoll. Auch im Bereich der Gremienarbeit sowie der Forschung und Entwicklung liegt ein Mangel an Fachkräften vor. Hier bedarf es geeigneter Maßnahmen und neuer attraktiverer Rahmenbedingungen für die Personalgewinnung.

Für dieses Kompetenzfeld ist es zudem von Bedeutung, dass an die Messaufgaben im Rahmen der Überwachung der beruflichen Exposition von Notfalleinsatzkräften spezielle Anforderungen zu beachten und die vorzuhaltenden Kapazitäten und Kompetenzen zu erhalten bzw. auszubauen sind (z. B. für die Personendosismessstellen, die Inkorporationsmessstellen, das Strahlenschutzregister).

C.5 Medizinischer Strahlenschutz

Definition des Kompetenzfeldes: Medizinischer Strahlenschutz zielt auf die Sicherheit von Patient*innen und Proband*innen und umfasst Strahlenanwendungen zur Früherkennung, Diagnostik und Therapie. Diese werden aufgrund technologischer Fortschritte immer komplexer und bedürfen unter strahlenhygienischen Gesichtspunkten einer kontinuierlichen Rechtfertigung und Optimierung.

Zusammenfassend lässt sich für das Kompetenzfeld „Medizinischer Strahlenschutz“ feststellen, dass der Schwerpunkt klinisch tätiger Ärzte/Ärztinnen auf der Bewertung neuer Strahlenanwendungen primär bezüglich ihres Nutzens liegt, wohingegen strahlenhygienische Aspekte oft nur am Rande und fachlich oftmals nicht qualifiziert berücksichtigt werden (insbesondere zu Aspekten der Dosimetrie, Risikobewertung und Qualitätssicherung). Da die Forschungsförderung auf nationaler wie auf europäischer Ebene oftmals auf die Beantwortung grundsätzlicher Fragestellungen in längerfristigen Projekten abzielt, ist eine derartige Forschungsförderung zu langsam, um mit dem rasanten technologischen Fortschritt mithalten zu können. Es gilt, neuartige Geräte- und Softwaretechnologien und Strahlenanwendungen in der Medizin konsequent während der initialen Erprobungsphase, d. h. vor dem breiten Einsatz in der Heilkunde auch hinsichtlich strahlenhygienischer Aspekte (Rechtfertigung, Optimierung und Qualitätssicherung) zeitnah zu bewerten und damit die Sicherheit von Patient*innen zu erhöhen. Darüber hinaus wird – als weiterer Aspekt zur Steigerung der Sicherheit von Patient*innen – ein bundesweites Register zur Erfassung detaillierter Informationen zu Exposition von Patient*innen (wie bereits in den USA und skandinavischen Ländern praktiziert) empfohlen. Eine besondere Herausforderung stellt der Einsatz der künstlichen Intelligenz insbesondere in der bildgebenden Diagnostik dar, hier sind Kompetenzen erforderlich um beispielsweise Qualitätsanforderungen an KI-Verfahren festzulegen.

C.6 Medizinphysik (Patientendosimetrie)

Definition des Kompetenzfeldes: Medizinphysik umfasst vielfältige Aufgaben in der medizinischen Früherkennung, Diagnostik und Therapie von Patient*innen (u. a. Patientendosimetrie, Optimierung, Bestrahlungsplanung, Qualitätssicherung und Forschung).

Zusammenfassend ist für das Kompetenzfeld „Medizinphysik“ wichtig, dass nach dem neuen Strahlenschutzrecht vielfältige Aufgaben für Medizinphysik-Expert*innen in der klinischen Routine festgelegt wurden. Für die Umsetzung der Regelungen bedarf es vermehrter Anstrengungen zur Erlangung ausreichend qualifizierten Personals.

C.7 Radiologischer Notfallschutz: Medizinische Versorgung und Betreuung

Definition des Kompetenzfeldes: Jeder EU-Mitgliedstaat muss ein Notfallmanagementsystem etablieren und hat in Notfallexpositionssituationen dafür zu sorgen, dass Vorkehrungen für die Organisation der medizinischen Behandlung (möglicherweise) exponierter Personen getroffen werden (Artikel 69 Absatz 5 Richtlinie 2013/59 Euratom). Das Kompetenzfeld umfasst in diesem Zusammenhang die Tätigkeiten des medizinischen und nicht-medizinischen Personals, das bei der Bewältigung nuklearer und anderer radiologischer Notfälle die medizinische Versorgung und Betreuung von (möglicherweise) exponierten Personen zu gewährleisten hat. Diese werden gemäß der in 2017 von der SSK verabschiedeten Empfehlung „Erforderliche medizinische Kapazitäten für die Versorgung und Betreuung der Bevölkerung im radiologischen und nuklearen Notfall“ in erster Linie in einer qualifizierten Beratung in strahlenmedizinischen Fragen bestehen (u. a. Identifizierung von Patient*innen, die unmittelbar einer stationären Therapie bedürfen). Im weiteren Sinne geht es auch um die Ausweitung der Konzepte der psychosozialen Notfallversorgung für radiologische bzw. nukleare Notfälle.

Zusammenfassend lässt sich für das Kompetenzfeld „Radiologischer Notfallschutz: Medizinische Versorgung und Betreuung“ festhalten, dass angesichts der Seltenheit nuklearer und anderer radiologischer Notfälle sowie bisher fehlender Ausbildungsanreize hinsichtlich der Strahlenschutzkenntnisse des in Deutschland tätigen medizinischen und nicht-medizinischen Personals, das in solchen Situationen die Versorgung von exponierten Personen zu gewährleisten hat, teilweise erhebliche Defizite bestehen. Diese können Fehleinschätzungen bezüglich des Ausmaßes der potentiellen Eigen- und Fremdgefährdung bedingen und einer angemessenen Versorgungsqualität entgegenstehen. Zum Kompetenzaufbau bedarf es bundesweit und interdisziplinär abgestimmter Konzepte zur Etablierung einer geschützten Zusatzqualifikation für die im medizinischen Bereich des Notfalls tätigen Einsatzkräfte (Fachkunden „Strahlennotfallmanagement“ und „Strahlennotfallarzt“, wie von der SSK empfohlen; „Erforderliche medizinische Kapazitäten für die Versorgung und Betreuung der Bevölkerung im radiologischen und nuklearen Notfall - Ausbildungsqualifikation“, 2017).

C.8 Angewandter Strahlenschutz

Definition des Kompetenzfeldes: Das Kompetenzfeld „Angewandter Strahlenschutz“ umfasst ein breites Spektrum an Tätigkeiten und Know-how wie Dosimetrie, rechtliche Regelungen, Grenz- und Richtwerte, Beurteilung von Strahlenschutzproblemen, retrospektive Bestimmung der Effektiven Dosis sowie nationale und internationale Empfehlungen. Damit umfasst es Kompetenzen in den Bereichen Strahlenphysik, Dosimetrie, Metrologie und Messtechnik, Technologie, radiologische und nukleare Gefahrenabwehr sowie Kompetenzen in Bezug auf anzuwendende Gesetze und Normen. Der angewandte Strahlenschutz hat das Ziel, den Schutz des Menschen vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung zu gewährleisten.

Zusammenfassend lässt sich für das Kompetenzfeld „Angewandter Strahlenschutz“ festhalten, dass aufgrund des umfassenden Themen- und Tätigkeitsspektrums Generalist*innen mit Expertise in Strahlenphysik, Dosimetrie, Metrologie und Messtechnik, Technologie, radiologischer und nuklearer Gefahrenabwehr und

mit Kenntnis der einschlägigen Gesetze und Normen gefragt sind. Um genügend ausgebildetes Personal zu erhalten, besteht weiterhin der Bedarf an einer Zusatzausbildung im Strahlenschutz, damit Personen z. B. als Strahlenschutzbeauftragte*r tätig werden können. Insbesondere im Bereich des Notfallschutzes sollten Kooperationen für ein gemeinsames Fortbildungsprogramm und den zielgerichteten Wissens- und Informationsaustausch für die mit der CBRN-Gefahrenabwehr befassten Institutionen (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Technisches Hilfswerk, Feuerwehren) vorangetrieben werden. Die Kerntechnische Hilfsdienst GmbH ist hier ein weiterer wichtiger Wissensträger, dem eine langfristige Perspektive über den „Atomausstieg“ hinaus gegeben werden sollte.

C.9 Arbeiten in starken Gamma- und Neutronenstrahlenfeldern

Definition des Kompetenzfeldes: Das Kompetenzfeld „Arbeiten in starken Gamma- und Neutronenstrahlenfeldern“ umfasst vor allem Messungen der Dosisleistung in starken Strahlenfeldern (ab einigen zehn mGy/h bis viele Gy/h; Gy gibt die durch ionisierende Strahlung verursachte Energiedosis an), den Umgang mit Fernhantierungstechnik (u.a. Reduzierung der Ausfallrisiken von technischen Geräten) sowie die Bewältigung von Fällen des Missbrauchs von hochradioaktiven Strahlenquellen (HRQ; u.a. Auffinden, Identifizieren und Bergen von starken Quellen/radioaktivem Material). Insbesondere die Messungen der Dosisleistung sind bei Funden von Material außerhalb der regulativen Kontrolle (MORC) wesentlich.

Zusammenfassend lässt sich für das Kompetenzfeld „Arbeiten in starken Gamma- und Neutronenstrahlenfeldern“ feststellen, dass ein erheblicher Bedarf an der Sicherung des Wissens bei der Kerntechnischen Hilfsdienst GmbH besteht. National bestehen kaum Austauschmöglichkeiten; diese sollten zukünftig über ein Netzwerk und gemeinsame Projekte im Rahmen der Forschung und Entwicklung geschaffen werden (auch unter Einbezug internationaler Partner*innen). Zudem sollten speziell zugeschnittene Kurse zum Einsatz mobiler Messtechnik sowie zum Einsatz von Fernhantierungstechnik (z.B. ferngelenkte Manipulatoren) geschaffen werden, um das Personal der Katastrophenschutz- und Sicherheitsbehörden regelmäßig darin auszubilden. Die Messung von Neutronen stellt eine besondere Herausforderung dar. In Deutschland ist ausschließlich die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) noch in der Lage, die Fluenz von Neutronen unterschiedlicher Energie absolut zu bestimmen. Die Kapazitäten und Kompetenzen in diesem Bereich werden zudem weiter reduziert.

C.10 Labor-Messmethoden (u.a. radiochemische und kernphysikalische Analysen)

Definition des Kompetenzfeldes: Das Kompetenzfeld umfasst den Betrieb von radiochemischen Laboren und die Weiterentwicklung von Verfahren zur Analyse von Radionukliden in unterschiedlichen Matrices sowie die Entwicklung von insbesondere kernphysikalischen Messmethoden. Es umfasst Kompetenzen aus den Bereichen radioanalytischer Chemie, Lebensmittelchemie, Physik und Geowissenschaften.

Zusammenfassend lässt sich für das Kompetenzfeld „Labor-Messmethoden (u.a. radiochemische und kernphysikalische Analysen)“ feststellen, dass auch in anderen Forschungs- und Anwendungsfeldern diese Messtechnik und Kompetenzen benötigt werden. Die Qualitätsinfrastruktur in diesem Feld ist sehr aufwendig. Das Forschungsfeld leidet unter der Abnahme von qualitativ attraktiver Infrastruktur. Der Einsatz der Massenspektrometrie liefert neue attraktive Forschungsmöglichkeiten bzgl. des Radionuklidtransports im Ökosystem. Beides wird aus Ressourcenmangel in Deutschland nur an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) eingesetzt. Aufgrund des Wegfalls vieler Aufgaben der Überwachungstätigkeiten in kerntechnischen Anlagen wird das Gebiet einen gewissen Kompetenzverlust erleiden. Diesem sollte durch

den Ausbau von Weiterbildungsangeboten und Kooperationen im Bereich Forschung und Entwicklung begegnet werden, insbesondere hinsichtlich der Entwicklung von Messtechnik in neuen Strahlungsfeldern in Medizin und Technik.

C.11 Nukleare Forensik

Definition des Kompetenzfeldes: Das Kompetenzfeld „Nukleare Forensik“ liefert mit analytischen Methoden Informationen zur Herkunftsermittlung von Strahlenquellen bzw. nuklearem Material außerhalb regulatorischer Kontrolle oder im Kontext von Straftatbeständen und schätzt damit verbundene Gefahren für die Bevölkerung und Einsatzkräfte ab.

Zusammenfassend ist für das Kompetenzfeld „Nukleare Forensik“ die Gefahrenlage durch unsachgemäße oder gar missbräuchliche Anwendung von radioaktivem Material bis hin zu terroristischen Bedrohungslagen besonders relevant, da sie eine entsprechend qualifizierte Gefahrenabwehr erfordert. Weitreichende Kenntnisse in Radiochemie sowie bezüglich Auftreten und Verwendung von Radioisotopen in Industrie und Handel sind notwendig. Dies gilt insbesondere für die zuständigen Behörden der Gefahrenabwehr (Innen- und Umweltbehörden der Länder, Bundespolizei BPOL, Bundeskriminalamt BKA, Zoll, Havariekommando etc.). Bei der „Nuklearen Forensik“ handelt es sich nicht um eine einzelne Ausbildungsrichtung; sie ist zu speziell und enthält Bereiche der Radiochemie, Kernphysik und Messtechnik sowie der Spurenanalyse. An der Universität Hannover existiert das Institut für Strahlenschutz und Radioökologie (IRS) als eines der wenigen universitären Institute, die für diesen Bereich relevant sind.

C.12 Radioökologie und Strahlenschutz

Definition des Kompetenzfeldes: Das Kompetenzfeld „Radioökologie und Strahlenschutz“ umfasst die Modellierung von radioökologischen Modellen, die Modellierung der Ausbreitung von radioaktiven Stoffen in der Umwelt inklusive präventiver Abschätzung sowie die Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radioaktivität in der Umwelt. Wichtig hierfür sind Kenntnisse in Physik, Umwelt, Biologie, Geowissenschaften, Meteorologie und Softwareentwicklung.

Zusammenfassend lässt sich für das Kompetenzfeld „Radioökologie und Strahlenschutz“ festhalten, dass zu erwarten ist, dass langfristig Lücken in diesem Kompetenzfeld entstehen werden, da in der Vergangenheit Ausbreitungsmodellierungen sehr stark durch Kernkraftwerksbetreiber und Aufsichtsbehörden angewendet und finanziert wurden. Durch den Atomausstieg fällt dies weg. Allerdings bestehen synergistische Effekte mit anderen nichtnuklearen Aufgabenfeldern. Die Radioökologie natürlicher Nuklide sowie die Nutzung dieser Nuklide als Tracer zur Charakterisierung von Umweltprozessen spielen dabei eine wichtige Rolle. Insbesondere im Bereich Forschung und Entwicklung sollte eine stärkere Vernetzung relevanter Akteure angestrebt werden.

C.13 Radon und NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials)

Definition des Kompetenzfeldes: Das Kompetenzfeld „Radon und NORM“ umfasst die geostatistische Modellierung von Radonvorsorgegebieten, die Entwicklung von Modellen zur Strahlenexposition von Radionukliden in der Umwelt (NORM, Baustoffe, Altlasten etc.), die Datenerhebung und Durchführung von Surveys, die Analyse großer Datenmengen zu Radon in Häusern und an Arbeitsplätzen, die Durchführung der Radon-Messung (inkl. Bodenluft) sowie die Radon-Metrologie. Wichtige Felder sind dabei die Geowissenschaften, Geostatistik, Geophysik, Kernphysik, Strahlungsphysik, Bauphysik, Metrologie und Messtechnik, Bergbau, Innenraumhygiene, Luftchemie und Aerosolphysik.

Zusammenfassend wird für das Kompetenzfeld „Radon und NORM“ empfohlen, insbesondere Grundlagenforschung zu Radon und NORM – die derzeit national noch wenig stattfindet, zu initiieren, indem beispielsweise langfristige Forschungsförderung eingesetzt wird. Darüber hinaus sollte ein fachübergreifender Austausch sowohl für Radon als auch für NORM angestrebt werden, insbesondere um einen Informationsfluss zu generieren und damit die Wissensbasis zu stärken. Wichtig dabei ist der Einbezug der verschiedenen Ressorts und Stakeholder – für Radon wären die Bereiche Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz, Verbraucherschutz, Bautechnik und gesundheitliche Aufklärung relevant, für NORM insbesondere die Bereiche traditionelles Rückstandsmanagement, Altlasten und Bodenschutz.

C.14 Prognostische und diagnostische Dosisabschätzung

Definition des Kompetenzfeldes: Das Kompetenzfeld „Prognostische und diagnostische Dosisabschätzung“ umfasst die Modellierung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Umwelt sowie die daraus resultierende Dosisabschätzung (und basiert damit auf der Radioökologie, C12). Es geht um die Bestimmung der Exposition und Inkorporation. Wichtige Felder sind dabei die Ausbreitungsrechnung und Aerosolphysik, um zu primären Abschätzungen der Umweltkontamination zu gelangen. Die Modellierung der daraus folgenden Dosen erfolgt dann auf der Grundlage von radioökologischen und biokinetischen Modellen sowie der internen Dosimetrie. Diese drei letztgenannten Wissensfelder sind den Kompetenzfeldern „Beruflicher Strahlenschutz“ und „Medizinphysik“ zuzuordnen.

Zusammenfassend lässt sich für das Kompetenzfeld festhalten, dass die Modellierung der Ausbreitung von radioaktiven Stoffen in der Umwelt und über die Nahrungskette sowie die Bestimmung der Exposition und Inkorporation ein umfassendes Wissensgebiet ist, das durch den Wegfall der anlagenbezogenen Überwachung an Bedeutung verliert und daher ein entsprechender Kompetenzverlust absehbar ist. Gleichwohl benötigt das Radiologische Lagezentrum²¹ hier eine große Expertise, um seine Aufgaben zu erfüllen. Hierzu zählen auch die Kapazitäten der internen Dosimetrie bzw. Inkorporationsüberwachung, die in Zukunft stark zurückgehen werden. Besonders relevant sind für dieses Kompetenzfeld Maßnahmen, um den Austausch mit internationalen Partner*innen auszuweiten und zu intensivieren, um sowohl im Bereich Fort- und Weiterbildung als auch Forschung und Entwicklung die internationale Expertise nutzbar zu machen und somit die Kompetenz in Deutschland zu erhalten.

C.15 Biologische Dosimetrie

Definition des Kompetenzfeldes: Das Kompetenzfeld „Biologische Dosimetrie“ umfasst den retrospektiven Nachweis und die Dosisabschätzung mit biologischen Markern beim Menschen, auch wenn keine direkte Strahlung mehr gemessen werden kann.

Zusammenfassend lässt sich für das Kompetenzfeld „Biologische Dosimetrie“ feststellen, dass in Deutschland zwei Labore für „Biologische Dosimetrie“ betrieben werden, die auch bei einem Strahlenunfall zum Einsatz kommen würden (eins am Bundesamt für Strahlenschutz als nationales Referenzlabor und eins am Institut für Radiobiologie der Bundeswehr). Die Aufrechterhaltung der Expertise in diesem Bereich ist unerlässlich für die optimale medizinische Behandlung von Strahlenopfern, aber auch für vertrauensbildende Maßnahmen in der Bevölkerung im Falle unklarer Expositionssituationen (Unfall, Terroranschlag). Relevant ist insbesondere die Europäische Zusammenarbeit und Vernetzung für den Fall eines radiologischen Großereignisses und für strahlenbiologische Forschung im Bereich des Strahlenschutzes. Wichtig wäre die

²¹ https://www.bfs.de/DE/themen/ion/notfallschutz/bfs/rlz/rlz_node.html

Aufnahme der „Biologischen Dosimetrie“ in Strahlenschutzkursen und die Durchführung von Informationsveranstaltungen für mögliche „Stakeholder“ wie z. B. Berufsgenossenschaften, Arbeitsmediziner*innen, Polizei, Feuerwehr und technisches Hilfswerk (THW). Die Erfahrungen haben gezeigt, dass Kenntnisse über diese Methode häufig gar nicht vorhanden sind. Wichtige Zukunftsthemen für die Forschung sind die Automatisierung der Methoden und der Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Bilderkennung und -verarbeitung (wodurch zusätzlich die Einsatzmöglichkeit zur Forschung im Niedrigdosisbereich besteht).

C.16 Strahlenepidemiologie

Definition des Kompetenzfeldes: Beim Kompetenzfeld „Strahlenepidemiologie“ geht es um Beobachtungsstudien am Menschen zur Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen Strahlenexposition und bestimmten Erkrankungen und darauf aufbauend der Quantifizierung des strahlenbedingten Risikos.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass epidemiologische Studien eine wesentliche Grundlage zur Risikobewertung im Strahlenschutz sind, da in ihnen die Folgen realer Expositionen unter realistischen Bedingungen direkt am Menschen untersucht werden. Für das Kompetenzfeld „Strahlenepidemiologie“ gibt es nur noch wenige Institute in Deutschland (z. B. Universitätsmedizin Mainz, Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie BIPS in Bremen, Bundesamt für Strahlenschutz), die über entsprechende Kompetenzen verfügen und es lassen sich kaum Forschungsnehmer*innen zu strahlenepidemiologischen Fragen finden. Für den Bereich nichtionisierende Strahlung (NIR) ist das Fehlen von Expertise in epidemiologischer Forschung noch ausgeprägter als bei ionisierender Strahlung. Das Fehlen epidemiologischer Kompetenz erschwert sowohl die Bewertung der Risiken, zum Beispiel von neuen Technologien, als auch die Risikokommunikation in diesem Bereich. Mögliche Ansätze zur Verbesserung der Situation wären eine stärkere Förderung von epidemiologischen Forschungsprojekten und verstärkte Netzwerkaktivitäten national und international. Somit ließe sich die Attraktivität für potenzielle Forschungsnehmer*innen erhöhen. Eine Möglichkeit hierfür könnte eine verstärkte Implementation strahlenepidemiologischer Fragestellungen in bereits existierende bevölkerungsbasierende Kohortenstudien (z. B. Die Nationale Kohorte NAKO) darstellen.

C.17 Nichtionisierende Strahlung

Definition des Kompetenzfeldes: Als nichtionisierende Strahlung bezeichnet man elektromagnetische Felder, die keine Ionisationsvorgänge an Atomen oder Molekülen auslösen können. Nichtionisierende Strahlung wird unterteilt in statische elektrische und magnetische Felder (Frequenzbereich 0 Hertz) – zum Beispiel das Erdmagnetfeld –, niederfrequente elektrische und magnetische Felder (Frequenzbereich kleiner 100 kHz) – zum Beispiel beim technischen Wechselstrom –, hochfrequente elektromagnetische Felder (Frequenzbereich 100 kHz - 300 GHz) – zum Beispiel Radio- und Mikrowellen –, sowie optische Strahlung (Wellenlängenbereich 100 nm – 1 mm) – Infrarotstrahlung, sichtbares Licht und UV-Strahlung. Wichtige Kompetenzen in diesem Feld umfassen die Dosimetrie (Expositionsanlagen, Messungen) natürlich wie künstlich erzeugter Strahlung, biologische Forschung zu Strahlungswirkungen (*in vitro*, *in vivo*, Humanstudien), Epidemiologie, Statistik und Soziologie, die Risikobewertung, die Entwicklung und Etablierung von Strahlenschutzkonzepten und Präventionsmaßnahmen und die zielgruppenspezifische Information sowie Kommunikation.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass im gesamten Kompetenzfeld Expertise stärker auf- und ausgebaut werden sollte, insbesondere in den Bereichen Dosimetrie, biologische Forschung, Epidemiologie und Soziologie, da sich nur wenig Forschungsnehmer*innen zur Durchführung von Forschungsvorhaben finden. Auf europäischer Ebene sind diese zumindest in geringer Zahl vorhanden, weshalb europaweite Ausschreibungen von Forschungsprojekten verwaltungstechnisch ermöglicht bzw. erleichtert werden sollten. Darüber hinaus sollten für die Ausbildung sowie Fort- und Weiterbildung auf nationaler Ebene Maßnahmen initiiert werden, die für eine Ergänzung universitärer Curricula sorgen, um langfristig genügend Expertise in Deutschland zu schaffen. Diese ist vor allem angesichts der gesundheitlichen und umweltbelastenden Konsequenzen optischer Strahlung auf Mensch und Umwelt von besonderer Bedeutung. Hinzu kommen die Konflikte um den Ausbau von Stromtrassen und Mobilfunknetzen (und der damit einhergehenden Forderung nach mehr Forschung und Bewertung). Darüber hinaus erfordert die qualifizierte Risikobewertung die Kombination aus breitem interdisziplinärem Fachwissen (Epidemiologie, Biologie, Physik, Statistik, Dosimetrie, Strahlenwirkung etc.), ausgeprägten kommunikativen Kompetenzen (zur verständlichen Vermittlung komplexer Sachverhalte) und möglichst langjähriger Erfahrung in der Tätigkeit.

D. Anhang

D.1 Anhang 1: Betrieblicher Strahlenschutz in der nuklearen Entsorgung

Das im Folgenden dargestellte Kompetenzfeld „Betrieblicher Strahlenschutz in der nuklearen Entsorgung“ basiert auf den Einschätzungen der Betreibergesellschaften BGZ und BGE und wurde von der AG Entsorgung für diese Analyse erstellt. Das Kompetenzfeld vereint eine Reihe von Kompetenzfeldern des Strahlenschutzes, geht aber punktuell auch darüber hinaus.

Definition: Der betriebliche Strahlenschutz in der nuklearen Entsorgung beschäftigt sich mit dem Schutz von Mensch und Umwelt vor den schädigenden Wirkungen von ionisierender Strahlung im Allgemeinen sowie mit Kompetenzen und spezifischem Wissen, welche im Zusammenhang mit der Zwischen- und Endlagerung benötigt werden im Speziellen. Zu den wesentlichen Themenfeldern in der betrieblichen Praxis zählen: Gamma- und Neutronenstrahlung, Kritikalität, Abschirmung, Moderation, biologische Wirksamkeit von ionisierender Strahlung sowie die Umgebungsüberwachung. Letztere setzt sich insbesondere mit Fragestellungen auseinander wie: Wie wird das gemacht? Wie erfolgt die Auswertung? Welche Szenarien liegen zu Grunde? Welche Rückschlüsse kann man daraus ziehen? etc.

Ausbildung und Lehre: Bundesweit gibt es für den betrieblichen Strahlenschutz derzeit diverse Ausbildungsmöglichkeiten an Hoch- und Fachhochschulen, z. B. in Karlsruhe an der DHBW - Dualen Hochschule Baden-Württemberg oder in Gießen an der Technischen Hochschule Mittelhessen. Diese sind meist als Bachelor- bzw. Master-Studiengang Strahlenschutz / Sicherheitswesen ausgelegt. Ergänzend gibt es zahlreiche Ausbildungsmöglichkeiten an Hochschulen als Vertiefungsfächer (im Rahmen von Bachelor, Master oder Promotion) allgemeiner naturwissenschaftlicher Studiengänge wie Chemie, Physik, Biologie, Maschinenbau. Beispiele hierfür sind das Karlsruher Institut für Technologie, das Forschungszentrum Jülich, die Universität Mainz oder die Universität Hannover. Daneben existieren verschiedene praktische Ausbildungsmöglichkeiten bei IHKs (IHK Nord-Schwarzwald, IHK Aachen) oder der VGB PowerTech für Strahlenschutz-Werker, Strahlenschutz-Techniker und Strahlenschutz-Ingenieure. In der Schweiz gibt es auch noch Ausbildungsmöglichkeiten am Paul Scherrer Institut (PSI) zum Strahlenschutz-Assistenten. Dieser Abschluss ist vergleichbar zu Strahlenschutz-Werker der IHKs. Kurzfristig sind keine Lücken bei der Ausbildung und Lehre zu erkennen. Die Perspektiven und Berufsbilder im Strahlenschutz (insbesondere in der Kerntechnik) könnten bei jüngeren Personen aber besser kommuniziert werden. In den kommenden zehn Jahren sind national keine fachlichen Defizite zu erwarten. Die Anzahl der Wechselwilligen wird in diesem Zeitraum aller Voraussicht nach aber sehr niedrig sein, da das vorhandene Personal noch mit Rückbauaktivität beschäftigt ist. Deshalb gilt es Motivation und Begeisterung für Berufe im Strahlenschutz schaffen, um für dieses Tätigkeitsfeld neue Interessenten zu finden. Mit Blick auf die Mitte des Jahrhunderts ist national mit fachlichen Defiziten im Hinblick auf den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen zurechnen. Es ist davon auszugehen, dass es kaum Nachwuchs im Bereich des technischen Strahlenschutzes geben wird, da nicht mehr viele Beschäftigungsfelder existieren. Eine Intensivierung der Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität der Berufsbilder im betrieblichen Strahlenschutz in der nuklearen Entsorgung ist deshalb geboten.

Fort- und Weiterbildung: In Deutschland sind in der Gegenwart zum betrieblichen Strahlenschutz noch zahlreiche Fort- und Weiterbildungsmöglichkeiten vorhanden. Diese befinden sich meist an anerkannten Kursstätten, wie z. B. dem Haus der Technik in Essen, dem Helmholtz-Zentrum in München, der Landesanstalt

für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung (LPS) in Berlin, der Strahlenschutz-Akademie Dresden (SAD), dem Umweltinstitut in Offenbach oder dem Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt (FTU) in Karlsruhe. Die dort angebotenen Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen sind in der Regel als mehrtägiger Kurs mit Abschluss ‚Fachkunde im Strahlenschutz‘ gemäß Fachkunderichtlinie angelegt. Zudem gibt es diverse Symposien und Fachtagungen wie beispielsweise vom TÜV, dem Fachverband für Strahlenschutz oder dem LPS Berlin. Auf internationaler Ebene bieten Tagungen von IAEA, Internationale Strahlenschutzkommission (International Commission on Radiological Protection, ICRP) oder International Radiation Protection Association (IRPA) die Möglichkeit zum fachlichen Austausch und zur Aktualisierung des persönlichen Kenntnisstandes. Auch in zehn Jahren werden anerkannte Kursstätten weiterhin existieren, da Schulungsbedarf im medizinischen und in technischen Bereichen, insbesondere im Umgang mit umschlossenen radioaktiven Stoffen, weiterhin besteht. Die Kursangebote für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen werden hingegen zurückgehen, da es vermutlich weniger Bedarf gibt. Die anerkannten Kursstätten werden auch 2050 immer noch existieren, da weiterhin Schulungsbedarf in medizinischen und in technischen Bereichen, insbesondere im Umgang mit umschlossenen radioaktiven Stoffen, besteht. Die Kursangebote für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen werden hingegen minimal sein, da es nur noch vereinzelte Anwendungsfelder geben wird (Forschungseinrichtungen, Nuklidlabore etc.).

Wissensbasis: Alle Grundlagen sind in Büchern, Broschüren, Internet etc. mehr oder weniger im In- und Ausland frei verfügbar. Konkretes praxisbezogenes Wissen findet man in Genehmigungsunterlagen, Betriebshandbüchern sowie weiteren untergeordneten Arbeitsanweisungen (bezogen auf das Ausland findet man diese Form des Wissens eher weniger, da die praktische Auslegung im Strahlenschutz länderspezifisch ist). Darüber hinaus ist individuelles Wissen bei den Mitarbeitern der kerntechnischen Einrichtung vorhanden. Die gegenwärtige Situation ist davon geprägt, dass die Zahl der Personen, die sich dieses Fachwissen aneignen möchten, sehr beschränkt ist. Es gilt deshalb Motivation und Begeisterung für die dauerhafte Beschäftigung mit dem Thema betrieblicher Strahlenschutz in der nuklearen Entsorgung zu schaffen. In den kommenden zehn Jahren wird das individuelle Wissen (insbesondere praxisbezogenes Wissen) bei den Mitarbeitern kerntechnischer Einrichtungen weniger, da viele Wissensträger in den Ruhestand gehen. Dieser Wissensverlust lässt sich durch rechtzeitig eingeleitete Transfermaßnahmen (z. B. z. B. Wissensstafetten) eindämmen. Diese Entwicklung verstetigt sich bis 2050, sofern nicht mit systematischen Entwicklungs- und Know-how-Sicherungsmaßnahmen der kontinuierlichen Erosion des Wissens begegnet wird.

Gremienarbeit und Netzwerke: Gremien und Netzwerke sind in Deutschland zahlreich vorhanden, z. B. Fachverband für Strahlenschutz, VGB PowerTech oder KernD (Kerntechnik Deutschland e. V.). Das Gleiche gilt auf internationaler Ebene, hier gibt es beispielsweise IRPA (International Radiation Protection Association), ENISS (European Nuclear Installations Safety Standards), IAEO (Internationale Atomenergie-Organisation), WNA (World Nuclear Association), NEA (Nuclear Energy Agency), ICRP (International Commission on Radiological Protection), ISO (International Organization for Standardization) oder ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements). Ergänzungsbedarf gibt es derzeit keinen. Für die kommenden zehn Jahre ist in Deutschland aufgrund des Ausstiegs aus der Kernenergie ein Wegfall industrienaher Gremien zu erwarten. Diesem Trend sollte frühzeitig durch Bildung von Nachfolgegremien, die die Aktivitäten fortführen, entgegengewirkt werden. International sind kaum Veränderungen zu erwarten. Bis zur Mitte dieses Jahrhunderts ist mit dem Wegfall der industrienahen Gremien in Deutschland zu rechnen. Die bereits genannten Maßnahmen sind deshalb weiterzuentwickeln bzw. fortzuführen. International sind keine gravierenden Änderungen abzusehen.

Forschung & Entwicklung: Die Forschung zum betrieblichen Strahlenschutz in der nuklearen Entsorgung erfolgt an Universitäten sowie Fachhochschulen oder im Rahmen von Industrieprojekten. Bis zum Jahr 2030 wird Forschung in Deutschland vermutlich nur noch an wenigen Universitäten und Fachhochschulen betrieben. Durch Kooperationen von Betreibern und Universitäten / Fachhochschulen lässt sich die benötigte anwendungsbezogene F&E aber aufrechterhalten. Bis Mitte des Jahrhunderts wird diese Entwicklung weiter anhalten. Aus diesem Grund sind die genannten Maßnahmen weiter fortzuführen.

D.2 Anhang 2: Qualifikationsbedarfe

Die nachfolgende Tabelle enthält die Qualifikationsbedarfe je Kompetenzfeld sowie eine abschließende Nennung wesentlicher kompetenzfeldübergreifender Qualifikationsbedarfe.

Nr.	Kompetenzfeld	Qualifikationsbedarfe 1. Ausbildung (Studium/Berufsausbildung) 2. Fort- und Weiterbildung
1	Strahlung und Gesellschaft	<p>1. Studium in Wissenschaftskommunikation, Wissenschaftsjournalismus, Kommunikationswissenschaft, Soziologie, Psychologie, Medienpädagogik, Medienwissenschaften, Didaktik der Naturwissenschaften (Beispiel-Studiengänge: Wissenschaft – Medien – Kommunikation am Karlsruher Institut für Technologie, Wissenschaftsjournalismus an der TU Dortmund)</p> <p>2. Weiterbildung in Krisenkommunikation, Risikokommunikation, Wissenschaftskommunikation (<i>Hinweis: Hierbei ist eine stärkere Verknüpfung mit Strahlenschutzthemen anzustreben</i>)</p>
2	Risikobewertung	<p>1. Master in Epidemiologie, Public Health oder andere naturwissenschaftliche/medizinische Ausrichtung, die eine Gesamtschau und Bewertung des wissenschaftlichen Stands von epidemiologischen Studien, Tierexperimenten, Zellstudien etc. zu einem Thema ermöglicht</p> <p>2. Fortbildung- und Trainingskurse, Training-on-the-Job* (<i>Hinweis: Erforderlich ist die Schaffung von speziellen Aus- und Weiterbildungsangeboten zur Risikobewertung; derzeit erfolgt die Qualifikation durch Training-on-the-Job</i>)</p>
3	Strahlenbiologie	<p>1. Studium in Biologie (vorzugsweise Masterstudium in Strahlenbiologie) Ausbildung zur/zum Biologielaborantin/Biologielaboranten inkl. der Themen Strahlenschutz/Strahlenbiologie (<i>Hinweis: Benötigt werden duale Studiengänge, die eine berufliche Ausbildung zum/zur Biologielaborant*in mit einem Modul für Strahlenschutz/Strahlenbiologie mit der gleichzeitigen Perspektive eines Studienabschlusses (Bachelor) ermöglichen</i>)</p> <p>2. Grundsätzlich erforderlich sind Fortbildungs- und Trainingskurse für Strahlenbiologie, insbesondere interdisziplinäre Fortbildungskurse an Universitäten, Forschungseinrichtungen und Behörden</p>
4	Beruflicher Strahlenschutz	<p>1. Studium einer naturwissenschaftlichen (vorzugsweise Physik) oder technischen Disziplin</p> <p>2. Erwerb der Fachkunde im Strahlenschutz im jeweiligen Anwendungsbereich sowie von praktischen Erfahrungen durch Training-on-the-Job*</p>
5	Medizinischer Strahlenschutz	1. Studium der Humanmedizin

		2. Klinische Weiterbildung zum Arzt mit Fachkunde im Strahlenschutz und ggf. zum Facharzt auf den Gebieten der Radiologie, Nuklearmedizin und Strahlentherapie (<i>Hinweis: Erforderlich ist ein höherer Anteil von Strahlenschutzthemen in der Fort- und Weiterbildung für Radiolog*innen / Ärzte/Ärztinnen mit einer Teilgebietfachkunde</i>)
6	Medizinphysik (Patientendosimetrie)	1. Hochschulstudium, vorzugsweise in medizinischer Physik 2. Für den Erwerb der Fachkunde im Strahlenschutz für Medizinphysik-Expert*innen ist der Besuch entsprechender Strahlenschutzkurse (Fachkunde) sowie eine zweijährige praktische berufsbegleitende Weiterbildung in einer klinischen Einrichtung (Sachkunde) erforderlich (<i>Hinweis: Es besteht ein erheblicher Bedarf an Weiterbildungsstellen zum Erwerb der nach StrlSchG/StrlSchV erforderlichen Sachkunde</i>)
7	Radiologischer Notfallschutz: Medizinische Versorgung und Betreuung	1. Studium der Humanmedizin 2. Erwerb theoretischer Kenntnisse und klinischer Erfahrungen in der Behandlung und Versorgung von Strahlenunfallopfern (<i>Hinweis: Erforderlich ist eine geschützte Zusatzqualifikation für Einsatzkräfte zur Bewältigung radiologischer Lagen, die es derzeit nicht gibt. Von der SSK wurde die Einrichtung der Fachkunden „Strahlennotfallmanagement“ und „Strahlennotfallarzt“ empfohlen; vgl. „Erforderliche medizinische Kapazitäten für die Versorgung und Betreuung der Bevölkerung im radiologischen und nuklearen Notfall - Ausbildungsqualifikation“, 2017</i>)
8	Angewandter Strahlenschutz	1. Wissenschaftlich-technisches Studium 2. Fortbildung im Rahmen der Zusammenarbeit des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS), der Bundespolizei (BPOL), des Bundeskriminalamtes (BKA), des Technischen Hilfswerks (THW) und der Feuerwehren (<i>Hinweis: Bedarf des Ausbaus, z. B. durch eine gemeinsame Entwicklung und Durchführung von Fortbildungsprogrammen der in der CBRN-Gefahrenabwehr</i>)
9	Arbeiten in starken Gamma- und Neutronenstrahlenfeldern	1. Wissenschaftlich-technisches Studium 2. Training-on-the-Job*, internationale Trainingsmöglichkeiten (<i>Hinweis: Bedarf an einem speziellen Kursangebot „Messen in hohen Strahlenfeldern“</i>)
10	Labor-Messmethoden (u.a. radiochemische und kernphysikalische Analysen)	1. Master- und Promotionsstudium Physik, Chemie oder vergleichbar mit Schwerpunkt Analytik- oder Strahlungsmessungen 2. Fortbildung zu speziellen Analysen- und Messtechniken; Training-on-the-Job*
11	Nukleare Forensik	1. Naturwissenschaftliches Studium mit Vertiefung von Radiochemie, Kernphysik oder Messtechnik 2. Fortbildung zu speziellen Analysen- und Messtechniken, Training-on-the-Job*, internationale Trainingsmöglichkeiten (<i>Hinweis: Auf nationaler Ebene bestehen keine speziellen Ausbildungsangebote für diesen Bereich</i>)
12	Radioökologie und Strahlenschutz	1. Naturwissenschaftliches Studium 2. Fortbildung im Bereich Umwelttransportprozesse, Umweltphysik

13	Radon und NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials)	<p>1. Naturwissenschaftliches Studium, indem die Radioökologie natürlicher Radionuklide vertieft wird (<i>Hinweis: erforderlich ist, dass die Radioökologie natürlicher Radionuklide künftig als eigenständiges Thema in der Lehre etabliert wird – was derzeit in Deutschland nicht der Fall ist; um die erforderliche Qualifikation zu erhalten, sollten Radon und das sich daraus ergebende Gesundheitsrisiko zudem fester Bestandteil von Ausbildungsplänen vieler Berufsgruppen werden, z. B. Architekt*innen, Ärzte/Ärztinnen, Geolog*innen, Geograf*innen, Bausachverständigen, Baugrundgutachter*innen</i>)</p> <p>2. Training-on-the-Job*</p>
14	Prognostische und diagnostische Dosisabschätzung	<p>1. Studium in Mathematik, Physik, Chemie, oder Meteorologie sowie die für die Kompetenzfelder B1 (Beruflicher Strahlenschutz) und B3 (Medizin-Physik, Patientendosimetrie) relevanten Fächer.</p> <p>2. Training-on-the-Job*, internationale Trainingsmöglichkeiten</p> <p><i>(Hinweis: Auf nationaler Ebene bestehen keine speziellen Ausbildungsangebote für diesen Bereich, daher könnte auch die Rekrutierung internationalen Fachpersonals erwogen werden)</i></p>
15	Biologische Dosimetrie	<p>1. Masterstudium z. B. in Strahlenbiologie (mit entsprechenden Inhalten zur biologischen Dosimetrie) (<i>Ein eigener Masterstudiengang ist nicht erforderlich, es wäre aber wünschenswert, wenn eine Vorlesung (u./o. Praktika) in Masterstudiengänge für Strahlenbiologie aufgenommen werden würde; ist z. B. an der TU München erfolgt</i>)</p> <p>2. Training-on-the-Job* (<i>Hinweis: Benötigt wird die Integration dieses Themas in die Fortbildung für Mediziner*innen, was derzeit nicht oder in nur sehr geringem Maße erfolgt</i>)</p>
16	Strahlenepidemiologie	<p>1. Studium in Epidemiologie, wobei eine Spezialisierung auf Strahlenepidemiologie benötigt wird (<i>Hinweis: Diese Spezialisierung wird deutschlandweit kaum angeboten, sodass hier die Schaffung entsprechender Angebote erforderlich ist</i>)</p> <p>2. Fortbildungs- und Trainingskurse, Training-on-the-Job*</p>
17	Nichtionisierende Strahlung	<p>1. Studium (Master) in Biologie (Biochemie, Photobiologie oder Molekularbiologie) oder Medizin, welches die biologischen Wirkmechanismen und gesundheitlichen Folgen nichtionisierender Strahlung behandelt; Studium in Physik, Medizinphysik (Master) oder elektrotechnische/messtechnische Ausbildungen, welche Kenntnisse bzgl. der physikalischen Eigenschaften nichtionisierender Strahlung sowie Messverfahren und Sensortechnik vermittelt (<i>Hinweis: dies ist derzeit nicht der Fall, sodass ein erheblicher Personalmangel insbesondere im Bereich Forschung besteht</i>)</p> <p>2. Fortbildungs- und Trainingskurse für Messtechnik, Messverfahren, Laserschutz und Sensortechnik; Training-on-the-Job*</p>
Kompetenzfeld-übergreifende Kompetenzen		<ul style="list-style-type: none"> • Normung: neben spezifischen technischen, ingenieurwissenschaftlichen und naturwissenschaftlichen Fähigkeiten werden auch Kenntnisse u. a. zu den Verfahren und Prozessen benötigt • Kenntnisse im Strahlenschutzrecht

E. Abkürzungsverzeichnis

5G	Fünfte Generation (Standard für mobiles Internet und Mobiltelefonie)
ACR	American College of Radiology
ADORE	Application of cytogenetic and EPR/OSL techniques for biological dosimetry and physical retrospective dosimetry
AKNAT	Arbeitskreises natürliche Radioaktivität des Fachverbandes für Strahlenschutz
AKNZ	Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz
ALLIANCE	European Radioecology Alliance
ALMERA	Analytical Laboratories for the Measurement of Environmental Radioactivity Network
BBK	Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BEIR	National Academy of Sciences Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation
BASE	Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
BGZ	BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH
BIPS	Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie
BIOPROTA	International collaborative forum designed to support resolution of key issues in biosphere aspects of assessments of the long-term impact of contaminant releases associated with radioactive waste management
BIR	Bundeswehr Institut für Radiobiologie
BKA	Bundeskriminalamt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BPOL	Bundespolizei
CBRN-Gefahren	Chemische (C), biologische (B) oder radiologische (R) bzw. nukleare (N) Gefahrstoffe
DEGRO	Deutsche Gesellschaft für Radioonkologie e.V.
DGMP	Deutsche Gesellschaft für Medizinische Physik e.V.
DGN	Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V.
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft e.V.
DIN	Deutsche Institut für Normung e. V.
DRG	Deutsche Röntgengesellschaft e.V.
EJP CONCERT	European Joint Programme for the Integration of Radiation Protection Research
EMF	Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder

EMPIR	European Metrology Programme for Innovation and Research
EMRP	European Metrology Research Programme
ENA	European NORM Association
ENNIS	European Nuclear Installations Safety Standards
ERA	European Radon Association
E&T	Education and Training
EU	Europäische Union
EuGH	Gerichtshof der Europäischen Union
EURADOS	European Radiation Dosimetry Group
EURAMED	European Alliance for Medical Radiation Protection Research
EURAMET	European Association of National Metrology Institutes
EURATOM	European Atomic Energy Community
FAS	Fachausschuss Strahlenschutz
FS	Fachverband für Strahlenschutz e. V.
FTU	Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH
HERCA	Heads of the European Radiological Protection Competent Authorities
HMGU	Helmholtz Zentrum München
HRQ	Hochradioaktive Strahlenquellen
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IHK	Industrie- und Handelskammer
INT	Fraunhofer Institut für Naturwissenschaftliche Trendanalysen
IRPA	International Radiation Protection Association
IRS	Institut für Strahlenschutz und Radioökologie
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
ISO	Internationale Organisation für Normung
ITWG	Nuclear Forensics International Technical Working Group
JRC	European Commission Joint Research Centre
KAH	Kraftanlagen Gruppe
KernD	Kerntechnik Deutschland e. V.
KHG	Kerntechnische Hilfsdienst GmbH
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
KVSF	Kompetenzverbund Strahlenforschung

LA-RöV	Länderausschuss Röntgenverordnung
LNT	Linear No-Threshold
LPS	Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutzausbildung
MEENAS	Consortium of European Radiation Research Platforms
MELODI	Multidisciplinary European Low Dose Initiative
MetroDECOM	Metrology for Decommissioning Nuclear Facilities
MetroERM	Metrology for Radiological Early Warning Networks in Europe
MetroRadon	Metrology for Radon Monitoring
MINT	zusammenfassende Bezeichnung von Unterrichts- und Studienfächern aus den Bereichen Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik
MODARIA	Modelling and Data for Radiological Impact Assessments
MORC	Material Out of Regulatory Control
MPE	Medizinphysik-Expertin / -Experte
NAR	Normenausschuss Radiologie
NEA	Nuclear Energy Agency (der OECD)
NERIS	European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery
NGA	Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr
NIR	Nichtionisierende Strahlung
NORM	Naturally Occurring Radioactive Materials
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
Preparedness	Metrology for Mobile Detection of Ionising Radiation Following a Nuclear or Radiological Incident.
PSI	Paul Scherrer Institut
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
RadoNorm	EURATOM-Project: Towards Effective Radiation Protection Based on Improved Scientific Evidence and Social Considerations – Focus on Radon and NORM
RANET	Response and Assistance Network
RBE	relative biological effectiveness
RemoteALPHA	Remote and real-time optical detection of alpha-emitting radionuclides in the environment
REMPAN	Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network
RENEB	Running the European Network of biological and retrospective physical dosimetry
RODOS	Realtime Online Decision Support System for nuclear emergency management
SAD	Strahlenschutz-Akademie Dresden
SCHEER	Scientific Committee on Health, Environment and Emerging Risks
SHARE	European Platform for Social Sciences and Humanities Research Relating to Ionizing

	Radiation
SNAKE	Supraleitendes Nanoskop für angewandte kernphysikalische Experimente
SSM	Swedish Radiation Safety Authority
SSK	Strahlenschutzkommission
StrlSchG	Strahlenschutzgesetz
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
STUK	Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority
THW	Technisches Hilfswerk
TMT	Triage, Monitoring and Treatment of People Exposed to Ionising Radiation Following a Malevolent Act
traceRadon	Radon metrology for use in climate change observation and radiation protection at the environmental level
TÜV	Technischer Überwachungsverein
UBA	Umweltbundesamt
UKP	Ultrakurzpulslaser
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
UV	Ultraviolettstrahlung
WHO	World Health Organization
WHO-CC	World Health Organization Collaborating Centre
WNA	World Nuclear Association