

Bedarfsanalyse für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung

AUSARBEITUNG DES PROJEKTTEAMS

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

Februar 2020

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 und
- BGZ - Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH.

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	3
I. Einleitung	6
II. Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen	8
1. Ausbildung & Lehre	8
2. Fort- & Weiterbildung	10
3. Wissensbasis	12
4. Gremienarbeit & Netzwerke	13
5. Forschung & Entwicklung	14
III. Kompetenzfelder	17
1. Langzeitsicherheitsanalysen und Standortvergleich Endlager für hochradioaktive Abfälle ...	17
2. Information der Öffentlichkeit und (Risiko-)Kommunikation	21
3. Öffentlichkeitsbeteiligung/Partizipation	22
4. Dokumentation und Langzeitarchivierung	23
5. Betriebssicherheit bei der Endlagerung	24
6. Sicherheit bei der Zwischenlagerung	28
7. Sicherheit bei Transporten und Behältern	32
8. Sicherheitskultur/-Management	34
9. Alterungsmanagement	36
10. Abfalllogistik	38
11. Sicherung	40
12. Endlagerbergbau und Rückholung	42

Abkürzungsverzeichnis

ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ANDRA	Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs, Frankreich
ANSTO	Australian Nuclear Science and Technology Organisation
avP	atomrechtlich verantwortliche Person
AZ	ESK-Ausschuss Abfallkonditionierung, Transport und Zwischenlagerung
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BDG	Berufsverband Deutscher Geowissenschaftler e. V.
BfE	Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BGZ	BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH
BIM	Building Information Modeling
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CAD	computer aided design
DAEF	Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung
DECOVALEX	DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DGG	Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e. V.
DGGT	Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V.
DGGV	Deutsche Geologische Gesellschaft – Geologische Vereinigung
DGQ	Deutsche Gesellschaft für Qualität e. V.
DHBW	Duale Hochschule Baden-Württemberg
DMV	Deutscher Markscheider-Verein e. V.
DVGeo	Dachverband der Geowissenschaften e. V.
EAN	European ALARA-Network
EDRAM	International Association for Environmentally Safe Disposal of Radioactive Materials
EMiNA	European Master of Sciences in Nuclear Applications
EPRI	Electric Power Research Institute

ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
ESCP	Extended Storage Collaboration Program
ESK	Entsorgungskommission
EU	Europäische Union
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EWN	Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH
FEP	Features, Events and Processes
FH	Fachhochschule
FhG	Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.
FH-DGGV	Fachsektion Hydrogeologie in der DGGV
GDMB	Gesellschaft der Metallurgen und Bergleute e. V.
GfWM	Gesellschaft für Wissensmanagement e. V.
GNS	GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH
HAW	High Active Waste
HGF	Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e. V.
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation
IAEO/GEOSAF	IAEO/Demonstrating the Safety of Geological Disposal
IAEO/HIDRA	IAEO/Human Intrusion in the Context of Disposal of Radioactive Waste
IAEO CRP	IAEO Coordinated Research Project
IGD-TP	EU Implementing Geological Disposal of radioactive waste Technology Platform
ILL	Institut Laue-Langevin
ILW	Intermediate Level Waste
INFCIS	Integrated Nuclear Fuel Cycle Information System
ISRM	International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KIT-INE	Institut für Nukleare Entsorgung des KIT
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
LAA	Länderausschuss für Atomkernenergie
LAB	Bund-Länder-Ausschuss Bergbau
LaMEP	Long-term investigations on metal seals, elastomer seals, and polymers
LLW	Low Level Waste
MSCA	Marie-Sklódowska-Curie-Actions

MPG	Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V.
NWZ	Norddeutsches Wasserzentrum
NAGRA	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Schweiz
NEBOSH	National Examination Board in Occupational Safety and Health
OECD/NEA	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung/Nukleare Energiebehörde
OECD/NEA CNRA	OECD/NEA Committee on Nuclear Regulatory Activities
OECD/NEA IGSC	OECD/NEA Integration Group for the Safety Case
OECD/NEA RWMC	OECD/NEA Radioactive Waste Management Committee
OECD/NEA SCIP	OECD/NEA Studsvik Cladding Integrity Project
RSK	Reaktorsicherheitskommission
RWM	Radioactive Waste Management, Großbritannien
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
SEWD	Sonstige Einwirkungen Dritter
SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB, Schweden
SSK	Sicherheitskommission
StandAG	Standortauswahlgesetz
TU	Technische Universität
TÜV	Technischer Überwachungsverein
UNECE	Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
VdTÜV	Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e. V.
WTI	Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH

I. Einleitung

Im Bereich der nuklearen Entsorgung sind die Aktivitäten aller Beteiligten darauf ausgerichtet, die radioaktiven Abfallstoffe – insbesondere aus der Nutzung der Kernenergie – sicher und mit möglichst geringen Lasten für zukünftige Generationen zu entsorgen: Die Anlagenbetreiber für Zwischenlager und Endlager verbinden mit ihrer Tätigkeit das theoretische Wissen zur nuklearen Entsorgung mit der praktischen Umsetzung und tragen für den sicheren Betrieb Verantwortung. Die Behörden (Bund und Länder) achten durch ihre Genehmigungs- und Aufsichtstätigkeit auf die Einhaltung dieses Rahmens, entwickeln untergesetzliches Regelwerk und sprechen Empfehlungen für die Politik aus. Wissenschafts-, Gutachter- und Sachverständigenorganisationen unterstützen dabei alle Institutionen/Akteure und erforschen die Grundlagen für die (Weiter-)Entwicklung von Technologien und Verfahren. Die Öffentlichkeit spielt im Bereich der Sicherheit der nuklearen Entsorgung eine besonders wichtige Rolle: Im jeweiligen Aufgabengebiet sind alle Akteure verantwortlich, über die Ergebnisse ihrer Arbeit zu informieren. Zunehmend fordern die Bürger*innen eine aktive Beteiligung an den politischen Entscheidungsverfahren, so auch bei der nuklearen Entsorgung. Gesetzlich verankert ist eine breite Öffentlichkeitsbeteiligung bei der Standortsuche für ein Endlager hochradioaktiver Abfälle.

Durch den Ausstieg aus der kommerziellen Stromerzeugung mittels Kernenergie bis 2022 wird die Sicherheit der nuklearen Entsorgung zum Schwerpunkt für den langfristigen Kompetenzerhalt im Bereich der nuklearen Sicherheit. Der Erhalt und die gezielte Weiterentwicklung von Wissen und Fähigkeiten in diesem Bereich sind neben der Schaffung von Möglichkeiten zum Erwerb der gesetzlich vorgeschriebenen Fachkunde notwendige Voraussetzungen, um die oben genannten Aufgaben verantwortungsvoll durchführen zu können.

Durch die Neuordnung der Organisationsstrukturen im Bereich der nuklearen Entsorgung liegt die Hauptverantwortung hierfür beim Bund. Im Bereich der nuklearen Sicherheit und des Strahlenschutzes hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) daher eine Projektgruppe verschiedener Akteure gegründet, die ein Konzept zum perspektivischen Erhalt von Fachwissen und -personal erarbeitet. Zur Erstellung der Bedarfsanalysen für die entsprechenden Themenbereiche wurden innerhalb der Projektgruppe Arbeitsgruppen eingerichtet. Für den Bereich der nuklearen Entsorgung wurde eine Arbeitsgemeinschaft bestehend aus Vertretern des BMU, des Bundesamtes für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE als Koordinator der Arbeitsgruppe), der BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH und der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) gegründet.

Die vorliegende Bedarfsanalyse ist das Arbeitsergebnis der Arbeitsgruppe Sicherheit der nuklearen Entsorgung und orientiert sich an der Säulenstruktur, die im Strategischen Papier der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) zur Ausbildung und Weiterbildung in der nuklearen Sicherheit angelegt ist. Die Säulen umfassen: 1. Ausbildung und Lehre, 2. Fort- und Weiterbildung, 3. Wissensbasis, 4. Gremienarbeit und Netzwerke, 5. Forschung und Entwicklung. Die Bedarfe werden an den Kompetenzfeldern im Bereich der nuklearen Entsorgung über die beteiligten Akteure hinweg gespiegelt. Die betrachteten Kompetenzfelder reichen dabei von der Standortauswahl über die Errichtung, Offenhaltung, Rückholung, Stilllegung und den sicheren Betrieb von Endlagern, der sicheren Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle bis hin zu Öffentlichkeitsbeteiligung. Zu den Bedarfen werden spezifische sowie übergreifende Handlungsoptionen aufgezeigt.

Die Bedarfsanalyse zeigt, dass aufgrund der sich ändernden Randbedingungen im Bereich der nuklearen Entsorgung diverse Herausforderungen verbunden mit unterschiedlichen Ereignissen zu bewältigen sind. In den kommenden Jahren und Jahrzehnten stehen auf allen

Kompetenzfeldern Veränderungen bevor, die Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Fachpersonal, auf die Anforderungen an die gesetzlichen Regelwerke oder auf die Forschungs- und Gutachterlandschaft in Deutschland haben werden (vgl. hierzu Abbildung 1).

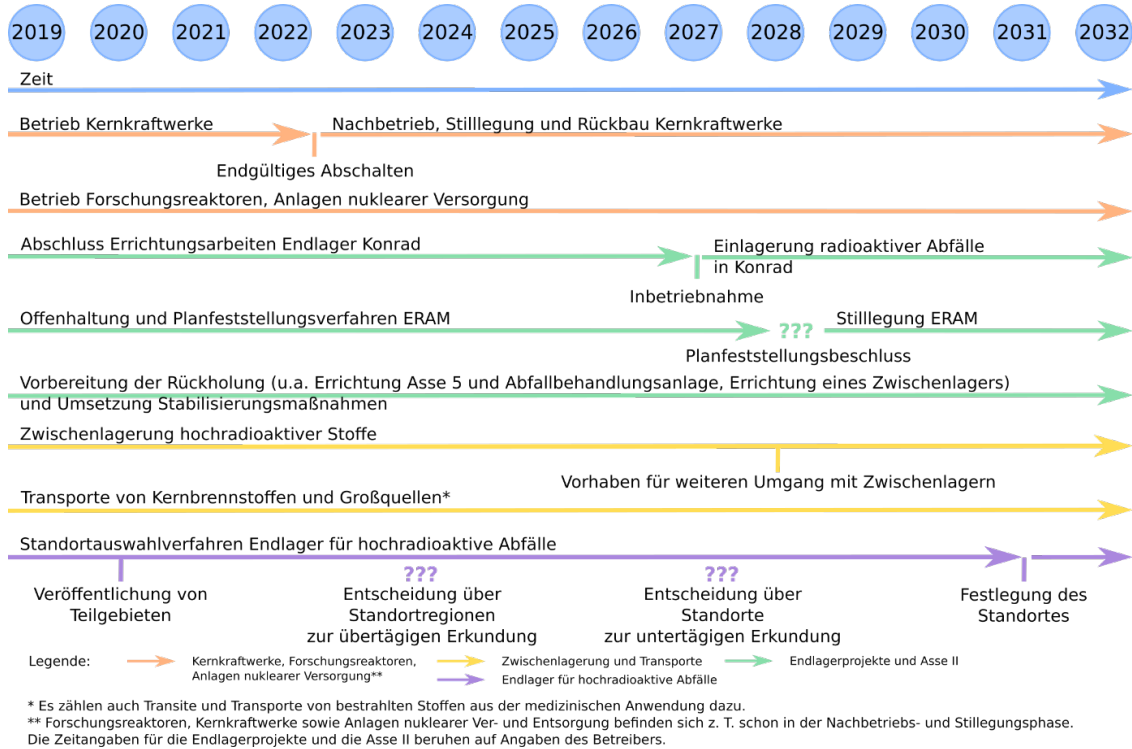


Abbildung 1: Zeitliche Einordnung sich ändernder Rahmenbedingungen inklusive Meilensteine bis 2032

Abhängig von den originär zu erfüllenden Aufgaben können diese in Teilen durch die Beteiligten selbst gelöst werden. Dies gilt etwa für den Erhalt von Fachwissen, indem jeweilige interne Strukturen an die neuen Anforderungen ausgerichtet werden. Darüber hinaus können die Beteiligten Kooperationen und Partnerschaften eingehen, um ihr Fachwissen zu erweitern und im Austausch mit anderen Institutionen auf nationaler, europäischer sowie auf internationaler Ebene fortzuentwickeln. Voraussetzung für die Umsetzung dieser Gestaltungsmöglichkeiten ist, dass das Umfeld hierfür geeignete Randbedingungen zur Verfügung stellt. Gleiches gilt, wenn es um grundsätzliche Randbedingungen, wie etwa die Bildung, Ausbildung oder Forschung, geht. Hier ist es erforderlich, dass lenkende Maßnahmen getroffen werden, um für alle Beteiligten verlässliche Randbedingungen zur fortlaufenden Gewährleistung der nuklearen Sicherheit und des Strahlenschutzes zu schaffen.

Die vorliegende Analyse fasst vor diesem Hintergrund die Empfehlungen der für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung verantwortlichen Institutionen zusammen und zeigt denkbare Handlungsansätze auf.

II. Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen

1. Ausbildung & Lehre

Stärkung der (Fach-)Hochschulen

Für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung sind bereits heute Engpässe hinsichtlich der Ausbildung von Fachkräften erkennbar: Infolge des Ausstiegs aus der Kernenergieerzeugung und des Rückgangs an bergmännischer Rohstoffgewinnung ist ein fortschreitender Rückgang an Studienanfänger*innen auf den Gebieten der kerntechnischen Sicherheit und des Bergbaus zu verzeichnen. Hinzu kommt eine starke Konkurrenz um Bewerber*innen mit anderen Beteiligten im Standortauswahlverfahren oder mit ausländischen Arbeitgebern, die ähnliche Fachkompetenzen aufbauen. Für diverse weitere spezielle Kompetenzfelder sind bei Ausbildung & Lehre starke Defizite absehbar, da Forschungsinstitutionen sich neuen Themenfeldern nach dem Ausstieg aus der kommerziellen Kernenergiegewinnung hinwenden und bereits heute die Anzahl der Studienabsolvent*innen in diesen Bereichen sinkt.

Dem müssen geeignete Maßnahmen entgegengestellt werden. So könnten entsprechende Fachthemen der nuklearen Entsorgungssicherheit in **Umweltstudiengängen** verankert werden, d. h. ausgewählte Lehrangebote und Kurse zu regulatorischen und betrieblichen Themen aufgenommen werden. **Graduiertenkollegs** zu Themen der Endlagerung könnten an Hochschulen geschaffen und Sommerschulen dazu angeboten werden. Auch die Einrichtung zusätzlicher **Lehrstühle** für Sicherheitsforschung im Nuklearbereich und speziell Endlagersicherheit würde bei der Ausbildung des qualifizierten Personals über lange Zeiträume hinweghelfen. Vom Berufsverband Deutscher Geowissenschaftler e. V. (BDG) wird die Schaffung von mindestens fünf zusätzlichen Professuren für die Endlagerforschung und Deponierung radioaktiver Abfälle empfohlen. Nicht zuletzt ist hierbei auch an ausreichend verwaltungsrechtliche Ausbildungen für den hochspezialisierten Teil des Atomrechts zu denken.

Die **Kooperation** von Betreibern, Vorhabenträger sowie Aufsichts- und Genehmigungsbehörden **mit (Fach-)Hochschulen** wird als ein wesentlicher Baustein für den Erhalt von Fachwissen und -personal im Bereich der Ausbildung & Lehre erachtet. Diese Kooperationen sollen in beide Richtungen erfolgen. Durch das Anbieten von Fachthemen, die Betreuung und Förderung **universitärer Abschlussarbeiten** mit einem überschaubaren und dezidierten Programm können Spezialkenntnisse sowohl wissenschaftlich-technischer als auch regulatorischer Art vermittelt, aber auch Studierende insbesondere für Spezialisierungsrichtungen motiviert werden. So plant beispielsweise das BfE wie auch die BGE eine **Doktoranden- beziehungsweise Beflissenenausbildung** in Kooperation mit (Fach-)Hochschulen und Forschungseinrichtungen und die BGZ in Kooperation mit der FH¹ Aachen die Etablierung eines **Vertiefungsfeldes** „Nuclear Waste Management“ in Verbindung mit dem Masterstudiengang EMIINA („European Master of Sciences in Nuclear Applications“).

Andererseits kann ein Erfahrungsaustausch durch Beiträge von Mitarbeitenden der Institutionen bei Lehrveranstaltungen und Kolloquien gefördert werden.

Die Ausschreibung eines von verschiedenen Institutionen gemeinsam getragenen **Forschungspreises oder Prämien** zu Fragestellungen der Sicherheit bei der nuklearen Entsorgung könnte die Attraktivität für die Arbeit in diesem Bereich steigern.

¹ FH - Fachhochschule

Des Weiteren ist zur Nachwuchsförderung der Aufbau von **Trainee-Programmen** empfohlen, bei denen Universitätsabsolvent*innen mit endlagerrelevanten und fachverwandten Studienabschlüssen durch den Einsatz in verschiedenen Abteilungen/verschiedenen Gesellschaften der Arbeitsgruppe Sicherheit der nuklearen Entsorgung/bei externen Partnern ein breites Spektrum an endlagerrelevanter Fachexpertise gewinnen und im besten Fall nach Absolvieren des Trainee-Programms weiterhin an die Organisation gebunden werden können.

Die Herausforderung als solche wurde ebenfalls von den Experten der IRRS-Mission 2019 erkannt, die darauf hingewiesen haben, dass es notwendig ist, Maßnahmen zu ergreifen, um eine ausreichende Anzahl von qualifizierten Mitarbeiter*innen, insbesondere mit Ingenieurausbildung zu binden.

Internationaler Austausch

Der internationale Austausch und die Förderung von Nachwuchswissenschaftler*innen sollten in Zukunft verstärkt stattfinden, da die Anzahl der Absolvent*innen mit Kenntnissen im Bereich der nuklearen Entsorgung begrenzt bleiben wird. Dies kann auch zum unmittelbaren Wissens-Transfer im Bereich der Bewertungskompetenz für ausländische Entsorgungskonzepte beitragen. Durch diese Art der internationalen Zusammenarbeit könnte auch die aktive Rolle der Bundesrepublik Deutschland in der Regelwerksentwicklung bei der nuklearen Entsorgung erhalten bleiben.

Auf internationaler Ebene könnte die verstärkte Vergabe von **Stipendien** zur Förderung von Wissenschaftler*innen auf dem Gebiet der nuklearen Entsorgung hilfreich sein. Eine Möglichkeit sind Marie-Sklodowska-Curie-Actions (MSCA) aus dem EURATOM-Programm. Stipendien könnten auch von den Institutionen selbst ausgeschrieben werden, um nationale wie internationale Bewerber*innen anzuwerben. Dies würde zu einer Internationalisierung der Einrichtungen selbst beitragen. Derzeit stammen Bewerber*innen vor allem aus dem deutschsprachigen Raum. Durch ein Qualifizierungsprogramm für einzelne Personen könnten Sprachhürden abgebaut werden, da bei rechtlichen Fragen oder der Dokumentation von relevantem Wissen weiterhin Deutsch als Sprache verwendet werden wird. Um eine Willkommenskultur zu etablieren, ist eine Sensibilisierung des Bestandspersonals für interkulturelle Fragen und Sprachfortbildung sinnvoll.

Aus den Rückläufern der Fragebogenaktion des BMU ergaben sich weitere Hinweise zu Bedarfen und Empfehlungen für Maßnahmen, die einen perspektivischen Erhalt von Fachwissen und – personal sicherstellen sollen:

a) Schulen: Interesse an einschlägigen Studienfächern wecken

Das Interesse für die einschlägigen Studienfächer, vor allem für naturwissenschaftlich-technische Fragestellungen, sollte bereits in der Schule vermittelt werden. Parallelen zu anderen Berufen und die gesamtgesellschaftliche Aufgabe bei der nuklearen Entsorgung könnten dabei betont werden. So kann die Attraktivität des Berufsfeldes vermittelt und bereits Schüler*innen für die Themen der nuklearen Entsorgung begeistert werden.

b) Ausbau entsorgungs- und endlagerspezifischer Ausbildungen

Der allgemeine Vorschlag, entsorgungs- und endlagerspezifische Ausbildungen auszubauen, wird in den folgenden Kapiteln für die Kompetenzfelder unter den entsprechenden Abschnitten „Ausbildung & Lehre“ detailliert ausformuliert.

2. Fort- & Weiterbildung

Die sehr spezialisierten Aufgaben erfordern es, die mit der benötigten grundlegenden Ausbildung eingestellten Personen in den jeweiligen Kompetenzfeldern einzuarbeiten und kontinuierlich fortzubilden. Fortbildung ist auch eine notwendige Voraussetzung, dass die verantwortlichen Organisationen in der Lage sind, den sich weiterentwickelnden Stand von Wissenschaft und Technik aktiv verfolgen zu können. Für diese Ziele müssen alle der folgenden Bausteine der **internen und externen Qualifizierung** zusammenwirken:

- strukturierte fachliche Einarbeitung durch im Fachgebiet vorhandenes qualifiziertes Personal, dazu rechtzeitige Einarbeitung von neuem Personal parallel zu zukünftig ausscheidenden Erfahrungsträgern,
- Rotationsprogramm für Expert*innenlaufbahnen mit externen Einsätzen,
- Standardisierte Qualifizierungsprogramme für fachverwandte Ausgelernte/ Studienabsolvent*innen,
- interne Wissensvermittlung (z. B. Kolloquien, Mentor*innenprogramm),
- Stärkung des internationalen Personalmarketings/internationaler Kampagnen,
- Lehrgänge bei externen Anbietern,
- Mitwirkung mit eigenen Beiträgen oder auch nur Teilnahme an einschlägigen nationalen und internationalen Veranstaltungen (Konferenzen, Workshops, ...),
- Mitwirkung in Fachgremien, Austausch mit anderen Akteuren (Betreibern, Behörden etc.) sowie
- Begleitung/Durchführung von Forschungsvorhaben.

Derzeit gibt es verschiedene spezialisierte Fachveranstaltungen, die Mitarbeiter*innen notwendiges vertiefendes Wissen vermitteln. Dabei handelt es sich um Wissen, das über das im Studium vermittelte Wissen hinausgeht und für die praktische Aufgabenerledigung benötigt wird. Beispiele hierfür sind

- Strahlenschutzkurse,
- themenbezogene Fachveranstaltungen von Gutachterorganisationen,
- Kommunikations- und Medientrainings,
- Mediator*innenausbildungen und
- Sprachkurse.

Dieses Angebot ist jedoch nur sehr begrenzt und fachlich oftmals nicht passgenau für die nukleare Entsorgungssicherheit.

Nationaler und internationaler Austausch

Für die Fort- und Weiterbildung des Personals in der Aufsichts- und Genehmigungsbehörde wie auch des Vorhabenträgers, Antragstellers und Betreibers ist die regelmäßige Teilnahme an nationalen und internationalen Workshops, Tagungen und Konferenzen erforderlich und sollte ausgebaut werden, um den Stand von Wissenschaft und Technik sowie rechtliche Entwicklungen zu verfolgen. Der Austausch mit nationalen und internationalen Behörden, anderen Vorhabenträgern/Betreibern im Rahmen von Gremien, in Form bilateraler Treffen, aber auch im Rahmen von Hospitationen sowie Praktika ist dabei eine weitere Säule. Insbesondere Fachveranstaltungen im internationalen Rahmen dienen dazu, dass auch nach dem Ausstieg aus der Kernenergienutzung die Kompetenzen auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik gehalten werden.

(Fortbildungs-)Akademie zur Schließung der Lücke zwischen Ausbildung und Anforderungen des Berufs und als Instrument eines selbstlernenden Verfahrens

Es ist anzunehmen, dass auch in der Zukunft zwischen den Inhalten, die in Studium und Lehre standardmäßig vermittelt werden, und den Inhalten, die konkret für die Ausübung von Tätigkeiten in der nuklearen Entsorgung benötigt werden, eine Lücke besteht. Dies betrifft sowohl Beschäftigte von Betreibern, Behörden als auch von Sachverständigenorganisationen.

Auch nach der Einarbeitungsphase sichern Fort- und Weiterbildungen eine gleichbleibend hohe Qualität bei allen Entscheidungen und Arbeiten von der Zwischen- bis zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. Die bislang verfügbaren Angebote für Fort- und Weiterbildungen werden voraussichtlich in den nächsten Jahren zurückgehen, da mit dem Ausstieg aus der kommerziellen Kernenergienutzung der Bedarf bei der kerntechnischen Industrie sinkt.

Insbesondere ist der Erwerb und Erhalt spezieller erforderlicher **Fachkunde** der für die Errichtung, Leitung und Beaufsichtigung des Betriebs der Anlage verantwortlichen Personen Genehmigungsvoraussetzung für Zwischen- und Endlager. Die notwendigen Fachkundekurse sind auf dem Markt zunehmend schwieriger erhältlich, doch ohne die nachweislich entsprechend qualifizierten Personen dürfen die Anlagen nicht betrieben werden.

Eine **Fortbildungsakademie**, die speziell die Sicherheitsfragen in der nuklearen Entsorgung umfassend adressiert, könnte eine Maßnahme zum Schließen der oben definierten Lücke sein und sollte eine von verschiedenen Institutionen gemeinsam getragene Einrichtung sein. Diese könnte als eine Institution aufgebaut werden, die Bildungsveranstaltungen koordiniert und das Fachwissen dafür aus den beteiligten Institutionen bezieht. Wichtig ist, dass die Programmentwicklung bedarfsgerecht auf die Anforderungen einer sicheren nuklearen Entsorgung zugeschnitten wird. Eine solche Akademie müsste nicht notwendigerweise eigene Schulungsgebäude vorhalten, sondern könnte auf bestehende Strukturen aufbauen. Schwerpunktmäßig würde die Akademie die Schulungsbedarfe erfassen und ein Curriculum erstellen. Ihr käme so eine koordinierende Rolle zu. Inhaltlich würden neben rein fachlichen, meist naturwissenschaftlich-technischen, rechtlichen oder kaufmännischen, auch kommunikative Inhalte vermittelt werden. Verschiedene Aspekte/Anforderungen der Personalentwicklung könnten so miteinander vereint werden. Entscheidend ist auch, dass im Falle einer gemeinsamen Einrichtung die funktionale Trennung zwischen Aufsichts-/Genehmigungsbehörde und Antragssteller unangetastet bleibt.

Von den Landesbehörden² wurde im Rahmen der Fragebogenaktion ebenfalls eine zentrale Bildungs- und Koordinierungseinrichtung des Bundes vorgeschlagen, die bei der fortlaufenden Aktualisierung des Standes von Wissenschaft und Technik mitwirkt, Ausbildungsangebote externer Dienstleister verfolgt und koordiniert, gegebenenfalls zentrale eigene Ausbildungskurse, auch e-learning, kurzfristig anbietet sowie die entsprechenden Materialien elektronisch in einer Schulungs-Datenbank dauerhaft verfügbar macht. Eine vertiefte Zusammenarbeit zwischen Bund und Ländern bei der Fort- und Weiterbildung des Personals sollte diesbezüglich angestrebt werden.

² Mit der Bezeichnung „Landesbehörden“ sind Behörden der Bundesländer Sachsen, Nordrhein-Westfalen, Schleswig-Holstein, Baden-Württemberg, Bayern, Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Saarland gemeint, die ebenfalls Kompetenzen im Bereich der nuklearen Sicherheit und dem Strahlenschutz vorhalten müssen. Da bei der Darstellung der Bedarfe und entsprechender Empfehlungen für die Umsetzungsmaßnahmen die einzelnen Behörden ähnliche Schwerpunkte gesetzt haben, wird zwecks Lesbarkeit im Folgenden von „den Landesbehörden“ gesprochen.

Masterstudiengang/Referendarausbildung

Beispielsweise wäre auch ein nicht-konsekutiver Masterabschluss oder eine Referendarausbildung denkbar, um z. B. für Endlagerung, Zwischenlagerung oder Stilllegung die Wissenslücken zu schließen. Ebenso zielen Maßnahmen wie die Implementierung des Vertiefungsfeldes „Nuclear Waste Management“ im Rahmen des Masterstudiengangs EMiNA („European Master of Sciences in Nuclear Applications“) an der FH Aachen darauf ab, dringend benötigten akademischen Nachwuchs zu entwickeln.

Kommunikative Kompetenzen

Eine zentrale Rolle spielt weiterhin die Kommunikationsfähigkeit der Mitarbeiter*innen gegenüber der Öffentlichkeit: Insbesondere im Rahmen der Standortauswahl und den damit verbundenen Partizipationsprozessen, aber auch in den anderen Feldern der nuklearen Sicherheit, ist die Kommunikation mit und Beteiligung der Öffentlichkeit ein integraler Bestandteil der Arbeit. Hierfür ist eine systematische und praxisorientierte Fortbildung notwendig, da diese Fähigkeiten im Regelfall nicht im Studium erworben werden.

3. Wissensbasis³

Die Dokumentation erfolgt bei Behörden und Betreibern nach den allgemeinen Anforderungen an die Schriftgutverwaltung und genehmigungsrechtlichen Vorgaben derzeit teilweise in Papierform und elektronisch. Die Daten und Dokumente müssen qualifiziert aufbereitet und in Systeme zur dauerhaften Speicherung bzw. zum Wissensmanagement integriert werden.

Um das Wissen für Sicherheitsbewertungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik auch nach dem endgültigen Ausstieg aus der Kernenergienutzung zu gewährleisten, sollte eine tiefere **Vernetzung** der noch vorhandenen Akteure auf nationaler und internationaler Ebene in Bezug auf ihre gesammelten Fachinformationen angestrebt werden. Mit einer Öffnung von Wissensdatenbanken und einer übergreifenden und offen zugänglichen Forschungsdatenbank könnten eventuell zu befürchtende Wissensverluste vermieden werden.

Für eine solche Literatur- und Forschungsdatenbank sollte eine organisationsübergreifende, online-gestützte Infrastruktur aufgebaut werden. Die Forschungsdatenbank sollte Informationen über Forschungsprojekte und leicht verständliche Zusammenfassungen ihrer Ergebnisse enthalten. Auf diese Weise würde eine Wissensbasis sowohl für die Öffentlichkeit als auch für die mit der Zwischen- und Endlagerung betrauten Organisationen geschaffen werden. Eine wichtige Säule ist hierbei die Qualitätssicherung der Forschungsergebnisse. Die Literaturdatenbank sollte

³ Anmerkung zur Definition von Wissensbasis:

Im Kontext dieses Projekts werden unter Wissensbasis „Maßnahmen, die erforderlich sind, um eine wissensbasierte Sammlung systematisch aufzubauen, zu erhalten und fortzuschreiben“ verstanden. Mit Blick auf ganzheitliche Interpretationen dieses Begriffs, bei denen die Dimensionen Mensch - Infrastruktur - Inhalte betrachtet werden (s. Wissensmanagement-Modell der Gesellschaft für Wissensmanagement e. V. [<https://www.gfwm.de/gfwm-wm-modell/>]), fokussiert sich diese Definition auf Inhalte und die zugehörige Infrastruktur (z. B. Archive, Bibliotheken, Datenbanken, Expertensysteme). Der Mensch als Wissensträger sowie als Nutzer von Infrastruktur und Inhalten findet hingegen keine Berücksichtigung. Dieser Umstand ist hier vertretbar einerseits, da das Projekt die Aus- und Weiterbildung von Personen zum Ziel hat (sie damit systematisch zum Wissensträger aufgebaut werden) und andererseits unter der Voraussetzung, dass die Anschlussfähigkeit zwischen den bereitgestellten Inhalten und dem Kenntnisstand des sie nutzenden Menschen gegeben ist.

zwecks einer einfachen Verfügbarkeit der relevanten Literatur die bibliographischen Informationen enthalten (Metadaten) und einen Zugang zu den Volltexten ermöglichen.

Vom BDG wird die Entwicklung und Bereitstellung einer Datenbasis für die geologischen Daten, die für die Endlagerung relevant sind, empfohlen. Vorhandenes Wissen über den geologischen Untergrund, hydrogeologische Provinzen und geotektonische Störungszonen potentieller Zwischen- und Endlager, ebenso über die petrographischen und physikalischen Eigenschaften der dort vorhandenen Gesteine, sollte in der Datenbank gesichert werden und einem großen Expert*innenkreis möglichst digital zur Verfügung stehen. Neue Erkenntnisse sollten problemlos hinzugefügt werden können.

Im Bereich der Zwischen- und Endlagerung radioaktiver Abfälle stehen die Betreiberorganisationen in der Verantwortung, alle bei Ihnen entstehenden Daten zu archivieren. Das BfE hat gemäß § 38 Standortauswahlgesetz (StandAG) die Aufgabe, eine umfassende Archivierung aller relevanten Daten und Dokumente (Speicherdaten) vorzunehmen und ihre Nutzbarkeit für zukünftige Generationen zu gewährleisten. Dieses einzigartige Aufgabenspektrum erfordert sowohl einen interdisziplinären Kompetenzaufbau als auch Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten.

4. Gremienarbeit & Netzwerke

Es existiert eine Reihe von Gremien und Netzwerken, die auf nationaler und internationaler Ebene für die Entwicklung von gesetzlichem und untergesetzlichem Regelwerk und für einen Erfahrungsaustausch relevant sind.

Dazu zählen unter anderem

- Länderausschuss für Atomkernenergie (LAA),
- Beratungskommissionen des Bundes (ESK - Entsorgungs-, SSK - Strahlenschutz-, RSK - Reaktorsicherheitskommission),
- regelgebende Gremien (KTA - Kerntechnischer Ausschuss, VDI - Verein Deutscher Ingenieure e. V., DIN - Deutsches Institut für Normung e. V., ...),
- Forschungsnetzwerke (Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung - DAEF), ...)
- Internationale Gremien (Gremien und Netzwerke der IAEO und Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung/Nukleare Energiebehörde – OECD/NEA).

Gremienarbeit an die zukünftigen Aufgaben ausrichten

Die Fortführung und Weiterentwicklung dieser Gremien in Bezug auf die sich verändernden Anforderungen der Zwischen- und Endlagerung sollte frühzeitig geprüft werden, auch um die Prüfmaßstäbe an den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen. Ein maßgeschneidertes, **untergesetzliches Regelwerk für die Zwischen- und Endlagerung** sollte weiterentwickelt werden.

Die existierenden Gremien und Netzwerke sollten im Zuge eines Rückzugs bisher aktiv Beteiligter überprüft und gegebenenfalls andere Gremien im Sinne eines Kompetenzerhalts gestärkt werden.

Stärkung und Koordinierung der deutschen Beteiligung in Gremien & Netzwerken

Der Austausch in nationalen wie internationalen Gremien, der internationale Erfahrungsaustausch und die Verfolgung des Standes von Wissenschaft und Technik sind für die

anforderungsgerechte und langfristig qualitativ hochwertige Aufgabenerfüllung insbesondere für die Institutionen mit Verantwortung im Entsorgungsbereich essentiell. Die Federführung für die Darstellung der nuklearen Sicherheit gegenüber internationalen Institutionen und Partnern liegt beim BMU. Die im April 2019 in Deutschland durchgeführte IRRS-Mission kam zu dem Ergebnis, dass eine direktere Beteiligung gerade der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden am internationalen Erfahrungsaustausch gestärkt werden sollte.

Vor dem Hintergrund der Vielzahl der Gremien und der Anzahl der Akteure sollte sichergestellt werden, dass die aus nationaler Sicht jeweils relevanten Gremien und Netzwerke, in denen z. B. die Weiterentwicklung des Regelwerks unter Berücksichtigung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik vorangetrieben und ein Austausch über Betriebserfahrungen ermöglicht wird, kontinuierlich identifiziert und jeweils angemessen durch die jeweiligen Akteure besetzt werden.

Die Landesbehörden sehen im Bereich der nuklearen Entsorgung ebenfalls einen erhöhten Bedarf für eine Teilnahme an Fachtagungen, Workshops, internationalen Gutachter-Missionen und ähnlichen. Die Teilnahme sollte durch entsprechende finanzielle Ressourcen unterstützt werden. Die Zusammenarbeit zwischen Bundes- und Länderbehörden könnte zudem durch Hospitationen gestärkt werden.

Internationales Netzwerk

Insbesondere kann die Arbeit der Bundesrepublik Deutschland in internationalen Gremien und Netzwerken mit Bezug zur Sicherheit der nuklearen Entsorgung noch ausgebaut werden. Um einen Erfahrungsaustausch über den Kompetenzerhalt für nukleare Sicherheit nach einem Ausstieg aus der Kernenergieerzeugung zu gewährleisten, könnte zudem speziell hierfür ein **internationales Netzwerk** von Regulierungsbehörden geschaffen werden, deren Länder diesen Prozess derzeit auch durchlaufen oder durchlaufen haben. Ebenfalls könnte für den Erfahrungsaustausch zwischen den Betreibern ein internationales Netzwerk im Bereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle den Kompetenzerhalt fördern.

5. Forschung & Entwicklung

Der Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie lässt ein sinkendes Interesse an Forschung und Lehre auf diesem Gebiet erwarten und führt damit zu einer nachlassenden Attraktivität des Forschungsfeldes „Sicherheit kerntechnischer Anlagen und nuklearer Entsorgung“. Zeitgleich ist deutschlandweit der sukzessive Ausstieg aus bergbaulichen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu beobachten. Der Forschungs- und Entwicklungsbedarf hinsichtlich des hochspezialisierten Aufgabenfeldes der Sicherheit der nuklearen Entsorgung wird aber nach wie vor bleiben, um das Sicherheitsniveau weiterhin zu halten. Forschungs- und Entwicklungsbedarf ist zu verzeichnen bei einer längerfristigen Zwischenlagerung, dem Alterungsmanagement, der wirtsgesteinsübergreifenden Standortauswahl für ein Endlager, bei Dokumentation und Langzeitarchivierung sowie Öffentlichkeitsbeteiligung/Partizipation.

Die beiden Säulen Ausbildung & Lehre sowie Forschung & Entwicklung sind naturgemäß eng miteinander verzahnt, da im deutschen (Fach-)Hochschulsystem eine Einheit zwischen Forschung und Lehre herrscht. Für die Säule Ausbildung & Lehre vorgeschlagene Maßnahmen zur Stärkung der (Fach-)Hochschulen würden ihre Wirkung ebenfalls für die Forschung & Entwicklung entfalten. Die begleitende Betreuung von Abschlussarbeiten (Bachelor/Master) birgt daher in mehrfacherweise Vorteile: Eine frühzeitige Bindung potenzieller Mitarbeitender an die Betreiber

bzw. die Behörden, eine enge Zusammenarbeit in aktuellen Forschungsfragen zwischen (Fach-)Hochschulen und den „Anwendern“ der Forschungsergebnisse sowie eine Vernetzung zentraler Akteure.

Forschungsnehmer*innen

Im nationalen Umfeld stammen - insbesondere in den Forschungsfeldern Zwischenlagerung und Transporte - die Forschungsnehmer*innen aktuell vor allem aus dem Bereich der Sachverständigenorganisationen (z. B. GRS - Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH, Technische Überwachungsvereine - TÜV, Öko-Institut e. V. und Ähnliche), die bereits über langjährige, fachspezifische Expertise verfügen. Im Bereich Standortauswahlverfahren kommen verstärkt auch Universitäten und Forschungsinstitute hinzu. Die Forschungsnehmer*innen stammen überwiegend aus dem deutschsprachigen Raum.

Die Diversität der Forschungsnehmer*innen und Sachverständigenorganisationen ist bereits heute unter Druck geraten und muss unbedingt weiterhin gewährleistet werden. Forschung der behördlichen Aufsicht muss unabhängig von der des Betreibers erfolgen. Dies erfordert eine stärkere Internationalisierung bei der Ausschreibung der Forschungs- und Entwicklungsvorhaben.

Aufbau von langfristigen Kooperationen mit wissenschaftlichen Einrichtungen

Eine stärkere Anbindung einzelner Mitarbeiter*innen an Universitäten und Forschungseinrichtungen (z. B. über Lehraufträge, außerplanmäßige Professuren oder perspektivisch gemeinsame Berufungen) wird angestrebt, um gezielt Maßnahmen der Nachwuchsförderung und des Kompetenzerhalts ein- und umsetzen zu können. Dies beinhaltet ebenfalls die aktive Beteiligung an nationalen (z. B. bei der Deutschen Forschungs-Gemeinschaft) und internationalen (EURATOM, Europäische Union - EU) Drittmittelprojekten im Rahmen von Projekt-Kooperationen. Hier könnte auch ein multilateraler Zusammenschluss von Regierungsbehörden zum Zwecke der Forschung im Bereich der nuklearen Sicherheit beziehungsweise Entsorgung zielführend sein.

Koordination der sicherheitsgerichteten Forschung

Die regulatorische Forschung muss streng von der Forschung der Betreiberorganisationen getrennt bleiben, Dopplungen in den Forschungsprogrammen der Beteiligten sollten jedoch minimiert werden, insbesondere vor dem Hintergrund der begrenzten Forschungslandschaft in diesem Bereich. Insgesamt ist eine Koordinierung der bundeseigenen Forschung im Bereich der nuklearen Entsorgung notwendig, damit Ergebnisse in ausreichender Qualität und zum Zeitpunkt des tatsächlichen Bedarfs zur Verfügung stehen. Die Forschungsaktivitäten sollten von denjenigen Organisationen definiert werden, die in ihren unterschiedlichen Funktionen für die Sicherheit Verantwortung tragen. In der Zukunft werden von der Industrie weniger Forschungs- und Entwicklungsvorhaben angestoßen werden, da die Zuständigkeiten seit der Neuordnung der Verantwortung in der nuklearen Entsorgung auf staatliche Akteure verteilt sind. Eine zentrale Koordinierung der bundeseigenen Forschung sollte beim BfE mit dem Ziel erfolgen, ein bedarfsgerechtes Forschungsprogramm zu entwickeln, forschende Einrichtungen zu erfassen und Vorschläge für den Erhalt oder Aufbau von Forschungseinrichtungen zu erarbeiten.

Unberührt hiervon ist es anderen Akteuren unbenommen und erforderlich im Rahmen des gesetzlichen Auftrags für ihre Zwecke eigenständig Forschung zu betreiben. So stellen BGE und

BGZ eigene Forschungsprogramme auf und führen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben durch. Nach den Empfehlungen der Endlagerkommission sind die BGE und die BGZ als Vorhabenträger, Antragsteller beziehungsweise Betreiber dafür verantwortlich, dass die für die Wahrnehmung der übertragenen Aufgaben erforderlichen wissenschaftlichen Erkenntnisse und Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung rechtzeitig und vollumfänglich zur Verfügung stehen. Dies erfordert eine vom Regulierer unabhängige Forschung in ihren Kernaufgaben und eine Forschungs koordinierung mit beispielsweise den jeweiligen Auftragnehmer*innen.

Wissenschaftliche Foren schaffen

Um einen kontinuierlichen Austausch zwischen der Wissenschaft und den zuständigen Behörden beziehungsweise Betreibern zu ermöglichen, könnten wiederkehrende Foren und Konferenzformate eingerichtet werden. Diese könnten auch zur Weiterentwicklung von Forschungsprogrammen sowie zur Identifikation von verbleibenden Ungewissheiten und Wissenslücken genutzt werden. Außerdem wären sie eine Gelegenheit zu einer regelmäßigen Evaluierung, ob ausreichend und strukturell vielfältiger, externer Sachverstand vorhanden ist, um rechtzeitig drohenden Kompetenzverlust zu erkennen und entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Wichtig für den Kompetenzerhalt ist zudem die **internationale Zusammenarbeit** bei Forschungsfragen. Hier sollten internationale Projektgruppen, Veröffentlichungen in internationalen Journals und der Austausch auf internationalen Fachkonferenzen gefördert werden.

Stärkung durch Sonderforschungsbereich

Forschung zur Sicherheit in der Endlagerung würde langfristig gestärkt werden, würden sich Forschungseinrichtungen erfolgreich um einen Sonderforschungsbereich bewerben. Ein thematischer Schwerpunkt könnte beispielsweise bei Sicherheitsanalytik im Bereich der Endlagerung mit technischen und sozialwissenschaftlichen Kompetenzen liegen.

III. Kompetenzfelder

Im Aufgabenbereich der Arbeitsgruppe Entsorgung wurden zwölf Kompetenzfelder ermittelt, die sich an den inhaltlichen Themenfeldern orientieren und in unterschiedlicher Ausprägung Relevanz für die jeweilige Aufgabenstellung (Regulierung, Genehmigung, Aufsicht, Betrieb, Vorhabenträgerschaft) haben:

1.	Langzeitsicherheitsanalysen und Standortvergleich für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle
2.	Information der Öffentlichkeit und (Risiko-)Kommunikation
3.	Öffentlichkeitsbeteiligung/Partizipation
4.	Dokumentation und Langzeitarchivierung
5.	Betriebssicherheit bei der Endlagerung
6.	Sicherheit bei der Zwischenlagerung
7.	Sicherheit bei Transporten
8.	Sicherheitskultur/Qualitätsmanagement
9.	Alterungsmanagement
10.	Abfalllogistik
11.	Sicherung
12.	Endlagerbergbau und Rückholung

Das Kompetenzfeld „Betrieblicher Strahlenschutz“ wird in dieser Bedarfsanalyse nicht ausdrücklich behandelt, sondern ist Teil der Bedarfsanalyse der Arbeitsgruppe „Strahlenschutz“. Im Folgenden werden jedoch die Bedarfe für Ausbildungsberufe und Studiengänge mit Bezug zum Strahlenschutz in den einzelnen Kompetenzfeldern der Vollständigkeit halber aufgeführt.

1. Langzeitsicherheitsanalysen und Standortvergleich Endlager für hochradioaktive Abfälle

i. Kurzbeschreibung

Mit dem Standortauswahlverfahren soll in einem mehrstufigen Prozess bis zum Jahr 2031 ein tiefegeologischer Endlagerstandort mit der bestmöglichen Sicherheit für die hochradioaktiven Abfälle gefunden werden. Gerade das innovative Verfahren zur Standortsuche und der notwendige wirtsgesteinsübergreifende Standortvergleich erfordern eine Entwicklung von umfangreichen Methoden und Kompetenzen in den Bereichen Genehmigungsverfahren, Geoinformationen und Langzeitsicherheitsanalysen, so dass sich

die Anforderungen an das Fachwissen und -personal in den unterschiedlichen Phasen verändern werden.

ii. Ausbildung & Lehre

Notwendige Studiengänge, die insbesondere die Kompetenzen für das Thema vermitteln, sind:

- Geologie (einschl. Geochemie, Hydrogeologie, Ingenieurgeologie, Gebirgsmechanik, Georessourcenmanagement),
- Geotechnik,
- Geoinformatik,
- Physik,
- Geophysik,
- Chemie,
- Geografie,
- Bergbau,
- Bergvermessungswesen (Markscheidekunde),
- Maschinenbau,
- Elektrotechnik,
- Umweltingenieurwesen,
- Sicherheitsingenieurwesen,
- Mathematik,
- Informatik,
- Meteorologie,
- Biologie und
- Rechtswissenschaften.

Notwendige Ausbildungsberufe, die insbesondere die Kompetenzen für das Thema vermitteln, sind:

- Bergmechaniker*in/Bergbaufacharbeiter*in und
- Bergvermessungstechniker*in.

Das Personal, das die Standortauswahl naturwissenschaftlich-technisch und juristisch durchführt und von Seiten der Aufsicht begleitet, wird derzeit aufgebaut. Qualifizierte Bewerber*innen aus den Geowissenschaften können derzeit in ausreichender Anzahl gewonnen werden. Ein deutlicher **Mangel** an Bewerber*innen zeichnet sich bei allen Kompetenzen, die in den Studienfächern **Bergbau und Kerntechnik** vermittelt werden, ab.

Eine **aktive Werbung** für endlagerrelevante Studiengänge könnte etabliert werden. Hier sollte vor allem die Jugend angesprochen werden. Thematisiert werden könnten die einzigartige technische und kommunikative Herausforderung und die große gesellschaftliche Verantwortung, die dem Thema innewohnt. Außerdem sollte gezeigt werden, dass durch den Langzeitaspekt in der Implementierung eines Endlagers eine langfristige berufliche Option besteht. Forschungsvorhaben der jeweiligen Akteure sollten ebenfalls zur Werbung für diese Studiengänge genutzt werden.

Die Organisation einer regelmäßigen internationalen **Summer School** für die Sicherheit nuklearer Entsorgung könnte den internationalen Austausch fördern und Wissenschaftler*innen verschiedener Qualifikationsstufen weiterbilden. Es würde auch die

Sichtbarkeit und Attraktivität des deutschen Arbeitsmarkts für ausländische Wissenschaftler steigern.

iii. Fort- & Weiterbildung

Die Absolvent*innen haben in den allermeisten Fällen noch keine spezialisierten Kenntnisse, wie sie für den Standortvergleich notwendig sind. Eine umfassende Fortbildung ist daher notwendig, die Voraussetzungen hierfür aber sehr begrenzt. Institutionenübergreifende Fortbildungsangebote sind notwendig. Dazu können z. B. folgende Fachtagungen und Kolloquien genutzt werden:

- Tagung Bergbau, Energie und Rohstoffe (Deutscher Markscheider Verein e. V. - DMV),
- Ingenieurvermessungskurs (TU⁴ München, TU Graz, TU Zürich),
- Geokinematischer Tag (TU Bergakademie Freiberg),
- Tagung Geomonitoring (TU Clausthal, Leibniz Universität Hannover, TU Braunschweig),
- Geotechnik-Kolloquium (TU Bergakademie Freiberg/Institut für Gebirgsmechanik GmbH Leipzig/Österreichische Gesellschaft für Geomechanik) ,
- Kolloquium Bauen in Boden und Fels (Technische Akademie Esslingen e. V.),
- Messen im Bauwesen (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung),
- Messen in der Geotechnik (TU Braunschweig),
- Geotechnisches Seminar (TU Bergakademie Freiberg),
- Tunnelbausymposium (Ludwig-Maximilians Universität München),
- Felsmechanik- und Tunnelbautag (Wittke Beratende Ingenieure),
- Altbergbaukolloquium (TU Clausthal/ TU Bergakademie Freiberg/ Montanuniversität Leoben),
- Symposium FreiBERGbau (TU Bergakademie Freiberg),
- Stuva-Tagung (Stuva e. V.) sowie
- Spreng- oder Fördertechnisches Kolloquium (TU Clausthal).

iv. Wissensbasis

Siehe „*Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen*“.

v. Gremienarbeit & Netzwerke

Derzeit ist das BfE als Aufsichtsbehörde aufbaubedingt noch nicht in allen nationalen und internationalen Gremienstrukturen, insbesondere auch zum regulatorischen Erfahrungsaustausch sowie zur Weiterentwicklung aufsichtlicher Methoden und Instrumente integriert. Die Mitgliedschaften der BGE in Gremien und Netzwerken sind bereits etabliert, jedoch im Licht der neuen Herausforderungen noch ausbaufähig. Zur mittel- und langfristigen Ausgestaltung der Tätigkeiten ist es notwendig, in denjenigen Gremien vertreten zu sein, die einen Austausch auf nationaler, aber auch auf internationaler Ebene, gewährleisten.

In Bezug auf den Kompetenzfeldbereich *Langzeitsicherheitsanalysen* ist die Mitarbeit in Gremien folgender internationaler Organisationen notwendig:

⁴ TU – Technische Universität

- IAEA (z. B. Projekte HIDRA - Human Intrusion in the Context of Disposal of Radioactive Waste, GEOSAF - Demonstrating the Safety of Geological Disposal),
- OECD/NEA (Radioactive Waste Management Committee – RWMC, Integration Group for the Safety Case - IGSC),
- Working Party on Information, Data and Knowledge Management (WP IDKM),
- FEP (Features, Events and Processes) Data Base Project und
- EU Implementing Geological Disposal of radioactive waste Technology Platform (IGD-TP).

In Bezug auf den Kompetenzfeldbereich *Geoinformation* ist die Mitarbeit in folgenden Berufsverbänden, Fachverbänden und Gremien anzustreben:

- DMV,
- Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e. V. (DGG),
- Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT),
- Verein Freiburger Geotechniker e. V.,
- International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM),
- Gesellschaft der Metallurgen und Bergleute e. V. (GDMB),
- Norddeutsches Wasserzentrum (NWZ),
- BDG,
- Arbeitsausschuss Markscheidewesen im DIN-Normenausschuss Bauwesen, hier Normung des Bergmännischen Risswerks,
- Mitarbeit im Arbeitskreis 02.10 der DGGT "Geomesstechnik",
- Deutsche Geologische Gesellschaft – Geologische Vereinigung (DGGV) und
- Fachsektion Hydrogeologie in der DGGV Deutsche Geologische Gesellschaft – Geologische Vereinigung (FH-DGGV).

vi. Forschung & Entwicklung

Die Anforderungen an die Forschung und Entwicklung im Bereich der Standortauswahl sind aufgrund des besonderen Verfahrens hoch und werden sich mit den einzelnen Phasen des Standortauswahlverfahrens verändern.

Forschungsbedarf wurde in den folgenden Themenbereichen identifiziert:

- Umsetzung des Standortauswahlverfahrens,
- Anforderungen und Kriterien des Standortauswahlgesetzes,
- Methoden zur Erkundung, Untersuchung und Auswertung,
- Sicherheitskonzepte und Bewertungsmethoden,
- Szenarien-Entwicklung,
- Sicherheitsbetrachtungen,
- Nachweisführung für die technische Machbarkeit von Endlagerkomponenten,
- Bewertungsmaßstäbe und Vergleichsmöglichkeiten sowie
- Automatisierung, Fernsteuerung und Prozesssteuerung im Unter-Tage-Einsatz unter Berücksichtigung des kerntechnischen Regelwerks.

Wissenschaftlicher Austausch in dem Bereich der Endlagersicherheit findet im Rahmen der Mitwirkungen an den OECD/NEA/RWMC/IGSC/Clay Club, Salt Club und Crystalline Club statt. Die Beteiligung deutscher Institutionen an internationalen Untertagelaboren soll ausgebaut werden. Ebenso wird vermehrt eine Mitarbeit im internationalen Forschungsnetzwerk/-

konsortium wie DECOVALEX (DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments) und EU-Projekten angestrebt.

Für die naturwissenschaftlich-technischen Fragestellungen in der Standortauswahl wird eine Vergrößerung der bestehenden Forschungstätigkeiten unbedingt notwendig sein.

2. Information der Öffentlichkeit und (Risiko-)Kommunikation

i. Kurzbeschreibung

Um das Interesse der Bürger*innen an Themen der nuklearen Entsorgung zu wecken oder dem bestehenden Wunsch nach Information zu grundlegenden und aktuellen Fragen nachzukommen, werden breitenwirksame Informationsangebote durch zielgruppenspezifische Aufbereitung erarbeitet und weiterentwickelt. Jede Institution informiert ihrer Rolle entsprechend proaktiv die Öffentlichkeit. Hierzu gehören sowohl Aspekte des Anlagenbetriebs, der Anlagenüberwachung als auch Informationen zu Verfahren. Risikokommunikation spielt dabei eine wichtige Rolle. Entscheidend für den Erfolg des Standortauswahlverfahrens ist eine Verzahnung von naturwissenschaftlich-technischer Kompetenz mit kommunikativer Kompetenz.

ii. Ausbildung & Lehre

Notwendige Studiengänge, die insbesondere die Kompetenzen für das Thema vermitteln, sind:

- Medienwissenschaften,
- Kommunikationswissenschaften,
- Sozialwissenschaften und
- Journalismus.

Absolvent*innen dieser Studiengänge sind grundsätzlich in ausreichender Zahl vorhanden.

iii. Fort- & Weiterbildung

Die kommunikativ hochkomplexe Aufgabe der Standortauswahl erfordert eine spezielle Weiterbildung für Absolvent*innen der oben genannten Studiengänge. Hierfür wäre eine übergreifende Fortbildungsakademie von großem Nutzen.

iv. Wissensbasis

Siehe „*Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen*“.

v. Gremienarbeit & Netzwerke

Formalisierte nationale und internationale Gremien und Netzwerke zu diesen Kompetenzen im Bereich der nuklearen Entsorgung existieren fast gar nicht. Insbesondere sollte daher eine Vernetzung mit bestehenden Strukturen in verwandten Thematiken stattfinden.

vi. Forschung & Entwicklung

Fragen zur Information der Öffentlichkeit und der (Risiko-)Kommunikation gehören zu den übergreifenden und methodischen Forschungsthemen.

3. Öffentlichkeitsbeteiligung/Partizipation

i. Kurzbeschreibung

Die frühzeitige Beteiligung der Öffentlichkeit ist eine der Voraussetzungen für die gesellschaftliche Glaubwürdigkeit des Standortauswahlverfahrens. Den ermittelten Standort werden die Betroffenen nur dann tolerieren können, wenn die Standortentscheidung nachvollziehbar ist. Dafür ist die Öffentlichkeitsbeteiligung in einem vergleichenden, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbsthinterfragenden und lernenden Verfahren eine entscheidende Grundlage.

Öffentlichkeitsbeteiligung ist nicht nur auf das Standortauswahlverfahren beschränkt, für das eine Reihe von formellen und informellen Formaten vorgesehen ist. Auch für die weiteren Themenkomplexe der nuklearen Entsorgung, wie der Zwischenlagerung und den Transporten radioaktiver Abfälle, findet formalisierte Beteiligung statt beziehungsweise werden neue Wege und Formen des Dialoges mit der Öffentlichkeit erprobt.

Das Kompetenzfeld „Öffentlichkeitsbeteiligung“ baut auf der „Information der Öffentlichkeit und (Risiko-)Kommunikation“ auf, da gute Beteiligungsprozesse eine entsprechende Informationsbasis voraussetzen.

ii. Ausbildung & Lehre

Notwendige Studiengänge, die insbesondere die Kompetenzen für das Thema vermitteln, sind:

- Sozial- und Geisteswissenschaften,
- Umweltwissenschaften,
- Mediations- und Moderationsausbildung und
- Kommunikationswissenschaften.

Eine ausreichende Anzahl von qualifizierten Bewerber*innen ist vorhanden (weitere Erläuterungen sind im Kapitel „*Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen*“).

iii. Fort- & Weiterbildung

Eine fachliche Einarbeitung erfolgt durch strukturierte Einarbeitungsprogramme. Die kommunikativ hochkomplexe Aufgabe der Standortauswahl erfordert eine spezielle Weiterbildung für Absolvent*innen der oben genannten Studiengänge. Hierfür wäre eine institutionenübergreifende Fortbildungsakademie von großem Nutzen.

iv. Wissensbasis

Siehe „*Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen*“.

v. Gremienarbeit & Netzwerke

Formalisierte nationale und internationale Gremien und Netzwerke zu diesen Kompetenzen im Bereich der nuklearen Entsorgung existieren fast gar nicht. Insbesondere sollte daher eine Vernetzung mit bestehenden Strukturen in verwandten Thematiken stattfinden.

vi. Forschung & Entwicklung

Im Bereich der Öffentlichkeitsbeteiligung ist mit einer gleichbleibenden, gegebenenfalls sogar zunehmenden Anzahl potentieller Auftragnehmer*innen zu rechnen. Um dieses Potential von Auftragnehmer*innen zu erschließen, können jedoch Anpassungen in der Ausgestaltung von Forschungsvorhaben notwendig werden. Forschungsinstitute und Universitäten bevorzugen Projekte, die weniger starr als bei der klassischen Auftragsforschung angelegt sind und Spielräume bei der Entwicklung eigener Ideen und Ansätze bieten.

4. Dokumentation und Langzeitarchivierung

i. Kurzbeschreibung

Die vollständige Erfassung und dauerhafte Speicherung aller relevanten Daten und Dokumente (Speicherdaten) bei der Zwischen- und Endlagerung ist unabdingbare Voraussetzung, um das Wissen in diesen Bereichen auch für den Fall ungünstiger Entwicklungen kurz-, mittel- und langfristig systematisch zu erhalten. Im Rahmen des Managements von Speicherdaten und ihrer Langzeitarchivierung muss eine anforderungsgerechte, vollständige und dauerhafte Informationsbasis für die Zwischen- und Endlager in der Bundesrepublik Deutschland weitergeführt bzw. aufgebaut und weiterentwickelt werden. In sehr langfristiger Perspektive müssen Konzepte entwickelt werden, damit auch zukünftige Generationen die Daten und Dokumente lesen und verstehen können.

ii. Ausbildung & Lehre

Studiengänge, die notwendige Kompetenzen für das Thema in besonderem Maße vermitteln, sind:

- Archivwissenschaften,
- Informationswissenschaften,
- Geschichtswissenschaften und
- Verwaltungswissenschaften.

iii. Fort- & Weiterbildung

Mitarbeiter*innen mit den oben genannten Abschlüssen müssen gezielt für die Zwecke der Dokumentation und Langzeitarchivierung zwischen- und endlagerrelevanter Informationen geschult werden. Neben einem Austausch auf internationaler Ebene sollten dafür interne Weiterbildungen hinsichtlich spezifischer Anforderungen in diesen Bereichen angeboten werden.

iv. Wissensbasis

Die Speicherung, Bewertung und Auswahl der Daten und Dokumente für die Langzeitarchivierung erfordert die Weiterentwicklung bestehender Dokumentationssysteme beziehungsweise für das BfE als zentrale Institution den Aufbau eines Systems, das den Anforderungen der neuen Dokumentationsaufgabe des Standortauswahlgesetzes gerecht wird. In diesem Zusammenhang muss in einem ersten Schritt sichergestellt werden, dass alle Daten und Dokumente gespeichert werden. Die dafür nötige IT-Infrastruktur sollte leistungsstark genug sein, um mit großen Datenmengen sicher und stabil umgehen zu können.

Das Wissen über diese Daten und Dokumente (Kontext) ist mitzuführen, da sonst die gespeicherten Informationen in Zukunft zwar lesbar, aber nicht mehr interpretierbar sind.

v. Gremienarbeit & Netzwerke

Die Wahrnehmung der Aufgaben der Langzeitarchivierung sollten durch den Aufbau eines Netzwerkes im Bereich der klassischen Archivierung unterstützt werden. Im digitalen Bereich sind die Arbeitsergebnisse des Kompetenznetzwerkes für digitale Langzeitarchivierung „nestor“ zu beachten und eine aktive Zusammenarbeit anzustreben. Eine aktive Teilnahme an internationalen Gremien (OECD/NEA) ist fortzuführen und anzustreben.

vi. Forschung & Entwicklung

Die Entwicklung zukünftiger Speichermedien muss unter dem Aspekt der Langzeitarchivierung kontinuierlich verfolgt und bewertet werden. Darüber hinaus müssen in langfristiger Perspektive Maßnahmen entwickelt werden, um das jeweils vorhandene endlagerspezifische Wissen von Generation zu Generation aktiv weitergeben zu können.

5. Betriebssicherheit bei der Endlagerung

i. Kurzbeschreibung

Zu den Endlagern radioaktiver Abfälle zählen neben dem geplanten Endlager für hochradioaktive Abfälle auch das Endlager Konrad und das Endlager Morsleben. Im Falle der Schachanlage Asse II müssen die Abfälle zurückgeholt werden und bis dahin die Anlage sicher betrieben werden. Unter dem Kompetenzfeld wird hier der gesamte Prozess von der Genehmigung über Betrieb und Aufsicht bis zum endgültigen Verschluss des Bergwerkes verstanden. Die Betriebssicherheit wird mittels Sicherheitsanalysen auf Unterkritikalität und mögliche Störfälle analysiert. Dazu gehören deterministische und probabilistische Ereignisanalysen, Ausbreitungs- und Dosisberechnungen, Behälterkonzepte und das Freisetzungsverhalten radioaktiver Stoffe. Es werden dabei maßgebliche Aufgaben von Betreiberorganisation, Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde sowie Sachverständigen wahrgenommen.

Um die Endlager sicher betreiben zu können, werden Maßnahmen bezüglich Arbeits-, Immissions-, Strahlen- und weiterer Belange des Umweltschutzes bewertet, festgelegt und durchgeführt. Die sicherheitsrelevanten Einrichtungen müssen weiterentwickelt, die Betriebsabläufe auf die besonderen Anforderungen der sicheren Endlagerung radioaktiver

Stoffe angepasst und ständig kontrolliert werden. Unvorhergesehene Ereignisse müssen zentral gemeldet und bewertet werden. Das BfE betreibt hierzu die Störfallmeldestelle.

Ein weiteres Aufgabenfeld umfasst die Beobachtung relevanter technischer Entwicklungen. Die Akzeptanz der gesetzlich festgelegten tiefeingeologischen Endlagerung aller radioaktiven Abfälle in Deutschland hängt maßgeblich davon ab, inwieweit ebenfalls kontinuierlich erläutert werden kann, dass andere Optionen nicht vorzuziehen sind. Dieses Thema wurde bereits von der Endlagerkommission behandelt. Aufgrund kontinuierlicher wissenschaftlicher Entwicklungen und Presseberichterstattung auf diesem Gebiet besteht auch weiterhin gegenüber der Öffentlichkeit Erläuterungsbedarf. Die wissenschaftlichen Entwicklungen zu Transmutationstechnologien und neuen Reaktorkonzepten müssen insoweit beobachtet werden, um im Rahmen von öffentlichen Diskussionen fachlich fundiert Einordnungen liefern zu können. Es ist darauf zu achten, dass dabei keine direkte oder indirekte Unterstützung bei der Entwicklung neuer Konzepte zur Kernenergie erfolgt, sondern die Sicherheitsfragen im Fokus stehen.

ii. Ausbildung & Lehre

Notwendige Studiengänge und Ausbildungsberufe, die insbesondere die Kompetenzen für das Thema vermitteln, sind:

- Strahlenschutz-/Sicherheitstechnik,
- Bau- und Kerntechnik,
- Elektrotechnik (z. B. Leit- und Nachrichtentechnik),
- Maschinenbau,
- Naturwissenschaften (z. B. Physik, Chemie mit Vertiefungen zu Computersimulationen),
- Meteorologie,
- Werkstoffwissenschaften,
- Materialwissenschaften,
- Bergbau,
- Bergvermessungswesen (Markscheidekunde),
- Umweltingenieurwesen,
- Geologie und
- Anlagenbau (z. B. Brandschutz, Lüftungsbau).

Der Bedarf an Fachpersonal ist nicht statisch, sondern wird sich im Laufe der Zeit wandeln. Ebenso ändern sich Tiefe oder Schwerpunkt des benötigten Vorwissens teils nach Erreichen grundlegender Meilensteine und hängen unter anderem von den Implementierungsphasen der jeweiligen Endlager ab. In einzelnen Feldern wie dem Strahlenschutz oder Bergbau sind durch die Ausstiege bei der Nutzung von Kernenergie und aus dem Rückgang der bergmännischen Rohstoffgewinnung in Deutschland heute schon Einschränkungen vorhanden. Ebenso ist anzunehmen, dass die Möglichkeiten zur beruflichen Spezialisierung und Qualifikation für endlagerrelevante Themen sehr begrenzt sein werden. Im Bereich der Ingenieurwissenschaften werden Absolvent*innen mit Vertiefungsrichtung Strahlenschutz und Anlagensicherheit benötigt.

Inhaltliche Lücken zwischen den etablierten Studiengängen und dem benötigten Fachwissen werden sich in Zukunft nicht vermeiden lassen. Eine Zusammenarbeit mit Hochschulen bzgl. der Einrichtung technisch-juristischer Studienrichtungen „Endlagerbergbau“ oder „Nukleare Entsorgung“ ergänzt mit verwaltungsrechtlichen Inhalten oder gar der Aufbau einer eigenen

Akademie, die zugleich Fort- und Weiterbildungen für das bestehende Personal anbietet, könnte diese Lücke schließen.

Das BfE stimmt derzeit mit dem BDG und dem Dachverband Geowissenschaften e. V. (DVGeo) ein Mentoring-Programm ab und nimmt am Mentoring des DVGeo teil.

Die BGE bietet im Fach „Strahlenschutz“ in Kooperation mit der DHBW Karlsruhe seit einigen Jahren bereits ein Studium zur eigenen Nachwuchsförderung und zum Kompetenzaufbau an. Daneben wurden aktuell Kooperationsverträge hinsichtlich der oben benannten Studiengänge (Übernahme von Fachveranstaltungen, Betreuung von Bachelor-/Masterarbeiten etc.) mit den Technischen Universitäten Aachen, Braunschweig und Clausthal abgeschlossen.

iii. Fort- & Weiterbildung

Für den Betrieb von Endlagern ist es eine zwingende Genehmigungsvoraussetzung, dass die für die Errichtung, Leitung und Beaufsichtigung des Betriebs der Anlage verantwortlichen Personen die erforderliche Fachkunde besitzen. Diese ist – neben einer einschlägigen Berufsausbildung – regelmäßig durch Teilnahme an entsprechenden Fortbildungskursen nachzuweisen und erstreckt sich für die jeweils z. B. atomrechtlich, bergrechtlich oder strahlenschutzrechtlich verantwortliche Person interdisziplinär unter anderem auf folgende Themenbereiche, die detailliert in untergesetzlichen Vorschriften festgelegt sind. Diese sind z. B.

- Strahlenschutz, Umgang mit radioaktiven Stoffen, Strahlenmesstechnik,
- Anlagen- und Sicherheitstechnik (Betriebsmanagement, Betriebs- und Störfallverhalten der Anlage, Vorkehrungen für unvorhergesehene Ereignisabläufe),
- Rechtskenntnisse, einschließlich kerntechnisches Regelwerk sowie
- Bergbautechnik, Werkstoffwissenschaften, Verfahrenstechnik.

Es zeigt sich bereits jetzt, dass Kurse mit den notwendigen fachlichen Inhalten auf dem Markt zunehmend schwieriger erhältlich sind. Ohne die nachweislich entsprechend qualifizierten Personen dürfen die Anlagen jedoch nicht betrieben werden. Diese Kurse müssen daher bereitgestellt werden.

Für die Sicherstellung der Betriebssicherheit in Bezug auf endlagerspezifische Abfalleinlagerung sind weiterhin Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen zu folgenden fachspezifischen Bereichen notwendig:

- Korrosionsverhalten und Beständigkeit von Werkstoffen,
- Behälter- und Apparatekonstruktion (z. B. CAD-Konstruktion: computer aided design),
- Technische Erprobung und Zulassungsverfahren,
- Strahlenschutzüberwachung/Messtechnik und Strahlenwirkung,
- Einschluss und Ausbreitung radioaktiver Stoffe in unterschiedlichen Medien,
- Kritikalität,
- Strahlenschutzkurse (Module GH, OH, K),
- Kurse zur Abfalldokumentation,
- Kurs des Fortbildungszentrums für Technik und Umwelt „Radioaktive Abfälle“ und
- Kurse der Fachkunde avP (atomrechtlich verantwortliche Person) Produktkontrolle.

iv. Wissensbasis

Der Aufbau und die Fortführung von Datenbanken zu Sicherheitsanalysen, Safety Case und Betriebsunterlagen sind notwendig. Diese Datenbanken werden vom Betreiber geführt, da dieser die Daten erhebt und benötigt, und von der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde unabhängig geprüft.

Der Aufbau und die Fortführung einer Ereignisdatenbank beim BfE sind essentiell, um den Erfahrungs- und Wissenstransfer zu gewährleisten.

v. Gremienarbeit & Netzwerke

Mit Errichtung des BfE wurde erstmals auch auf gesetzlicher Ebene eine Aufsicht nach § 19 Atomgesetz (AtG) über Endlagerprojekte eingeführt. Derzeit ist das BfE als Aufsichtsbehörde noch nicht in alle etablierten nationalen und internationalen Gremienstrukturen, insbesondere auch zum regulatorischen Erfahrungsaustausch sowie zur Weiterentwicklung aufsichtlicher Methoden und Instrumente integriert. Zur mittel- und langfristigen Ausgestaltung der aufsichtlichen Tätigkeiten ist es notwendig, in denjenigen Gremien vertreten zu sein, die einen regulatorischen Austausch zwischen nationalen Behörden, aber auch auf internationaler Ebene gewährleisten. Für die Sicherung des Wissenstransfers im Bereich Betriebssicherheit ist die Mitarbeit in folgenden Gremien und Netzwerken für das BfE sinnvoll:

- LAA,
- Regulatorische Gremien der OECD-NEA (z. B. CNRA - Committee on Nuclear Regulatory Activities und Arbeitsgruppen, RWMC-RF),
- IAEA Regelwerks-gremien,
- Konventionen sowie
- Netzwerke mit anderen Aufsichtsbehörden/Betreibergesellschaften (national und international).

Für die BGE sind in Bezug auf die Betriebssicherheit von Endlagern und einen Wissensaustausch zu diesem Thema folgende Gremien und Netzwerke relevant:

- International Association for Environmentally Safe Disposal of Radioactive Materials (EDRAM),
- LAA Fachausschuss Nukleare Ver- und Entsorgung (unter anderem Arbeitskreis Landessammelstellen,
- ESK-Ausschuss Abfallkonditionierung, Transport und Zwischenlagerung (AZ),
- Arbeitskreis HAW-Produkte am Institut für Nukleare Entsorgung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT-INE),
- Fachverband für Strahlenschutz e. V.,
- IAEA,
- OECD/NEA und
- European ALARA-Network (EAN).

vi. Forschung & Entwicklung

Forschung und Entwicklung ist in allen Bereich der Betriebssicherheit von Endlagern notwendig, um die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden zu gewährleisten. Dies gilt besonders für die wissenschaftliche und technische Entwicklung, jedoch ist auch eine stetige Weiterentwicklung regulatorischer Instrumente notwendig.

Konkrete Herausforderungen ergeben sich auch mit dem Ausstieg aus dem (Kohle-)Bergbau in Deutschland. Dadurch wird sich die Anzahl geeigneter Auftragnehmer*innen mit spezifischen bergbaulichen und bergrechtlichen Kompetenzen einschränken. Für die Langzeitsicherheit ist Forschung & Entwicklung z. B. zur Korrosionsbeständigkeit von Werkstoffen sowie zur Sicherstellung der Integritätsnachweisführung für mindestens 500 Jahre notwendig.

6. Sicherheit bei der Zwischenlagerung

i. Kurzbeschreibung

Zwischenlager müssen für alle Arten radioaktiver Abfälle sicher betrieben werden, bis eine Endlagerung in tiefen geologischen Schichten erfolgen kann. Der Betrieb wird von den zuständigen Behörden genehmigt und beaufsichtigt. Genehmigungsverfahren müssen für die folgenden Sachverhalte vorliegen:

1. Aufbewahrung von Kernbrennstoffen in Form von bestrahlten Brennelementen aus Leichtwasser-/Forschungsreaktoren oder in Form von verfestigten hochradioaktiven Spaltproduktlösungen (High Active Waste-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung,
2. zum Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen in Form der Zwischenlagerung und
3. für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen und Einrichtungen nach Baurecht, Eisenbahnrecht, Wasserrecht sowie weiteren Rechtsgebieten.

Wesentlicher Sicherheitsbaustein bei der Zwischenlagerung ist der Behälter. Dieser trägt wesentlich zur Einhaltung der Schutzziele

- sicherer Einschluss der radioaktiven Stoffe,
- sichere Abfuhr der Zerfallswärme,
- sichere Einhaltung der Unterkritikalität und
- Vermeidung unnötiger Strahlenexposition

bei.

Im Hinblick auf diese Schutzziele ist auch ein numerischer und experimenteller Nachweis über die Dauer der Zwischenlagerung hinweg bis einschließlich zum Abtransport zu erbringen.

Für den sicheren Betrieb eines Zwischenlagers ist auch das Themengebiet der Instandhaltung bedeutend. Instandhaltung betrifft die technischen Systeme, Bauelemente, Geräte und Betriebsmittel zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit von Lagern/Anlagen oder deren Wiederherstellung bei Ausfall mittels Wartung, Inspektion und Verbesserung sowie die Instandsetzung.

Für die Prüfung von Antrags- und Änderungsunterlagen in Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren werden nach § 20 AtG Sachverständige durch die zuständigen Behörden hinzugezogen. Vor dem Hintergrund des Ausstiegs aus der friedlichen Nutzung der

Kernenergie ist nicht sicher davon auszugehen, dass die Sachverständigenorganisationen entsprechende Kapazitäten dauerhaft vorhalten werden. Für die Zukunft ist zu berücksichtigen, inwiefern gegebenenfalls wegen des schwierigen Marktumfeldes wegbrechende Kapazitäten und Kompetenzen kompensiert werden können, um die sachgerechte Bearbeitung von Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren sicherzustellen.

Zudem müssen unvorhergesehene Ereignisse zentral gemeldet und bewertet werden. Das BfE betreibt hierzu die Störfallmeldestelle.

ii. Ausbildung & Lehre

Sei es für die Genehmigung, die Aufsicht oder den Betrieb von Zwischenlagern, es wird Personal mit Studienabschlüssen der Natur- und Ingenieurwissenschaften benötigt. Zusätzlich sind Promotionen besonders bei den Naturwissenschaften teilweise erwünscht. Speziell für die mit Verwaltungsverfahren betrauten Mitarbeiter*innen der Zwischenlagerbetreiber, sind gegebenenfalls Referendariate bei Behörden mit Abschluss zum Assessor geeignet, um entsprechende Fachkenntnisse in Verwaltungsverfahren zu erlangen.

Für die Genehmigungsverfahren ist gegenwärtig eine ausreichende Personalausstattung vorhanden, bei Besetzungsverfahren zeichnen sich aber bereits heute Engpässe ab. Im Hinblick auf die Instandhaltung ist davon auszugehen, dass Bewerber*innen für die Instandhaltung von Industrieanlagen immer in ausreichender Anzahl und Qualifizierung auf dem Arbeitsmarkt vorhanden sein werden, sollten die handwerklichen Ausbildungen weiter bestehen bleiben. Um den Negativtrend bei handwerklichen Ausbildungen aufzuhalten, sollten handwerkliche Berufe bereits in der Schule positiver dargestellt werden.

Notwendige Studiengänge, die insbesondere die Kompetenzen für das Thema vermitteln, sind:

- Physik,
- Chemie,
- Mineralogie,
- Werkstofftechnik,
- Maschinenbau,
- Materialwissenschaften,
- Kerntechnik,
- Strahlenschutz (Ingenieur*innen oder Naturwissenschaftler*innen mit entsprechender Qualifizierung),
- Leit-, Nachrichten- und Elektrotechnik,
- Verfahrenstechnik,
- Wirtschaftsingenieurwesen und
- Bauwesen.

Zusätzlich müssen folgende elektrotechnische Ausbildungsberufe vorgehalten werden:

- Elektriker*in,
- Elektroniker*in,
- Leit- und Nachrichtentechniker*in sowie
- Informatiker*in.

Bedarfe bei der Ausbildung & Lehre wurden im Bereich der Ausbildung zum Schweißer*in und Fügedeckelschweißer*in (Ausbildung aufrechterhalten), dem Strahlenschutz auf akademischer wie praktisch-operativer Ebene und der Arbeitgeberattraktivität bei Absolvent*innen elektrotechnischer Ausbildungsberufe identifiziert. Eine zentrale Ausbildungsstelle für alle zwischenlager-spezifischen Bedarfe könnte auch unter dem Dach einer Aus- und Fortbildungsakademie gebündelt werden (siehe Kapitel „*Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen*“).

Bisher stammen die Absolvent*innen, die für den Bereich der Sicherheit des Brennelementverhaltens benötigt werden, größtenteils aus den Studiengängen der klassischen Physik/Materialwissenschaften/Chemie deutscher (Fach-)Hochschulen, die für ihre spezifische Arbeitsaufgabe betrieblich qualifiziert wurden. Die spezialisierten Bachelorstudiengänge der Kerntechnik in Karlsruhe und in München sowie die Masterstudiengänge an der Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen, in Karlsruhe und in München oder die Masterstudiengänge im Fachbereich Chemie und Maschinenbau in Aachen/Jülich und Dresden alleine können auf Grund der geringen Absolvent*innenzahlen den Personalbedarf nicht vollständig decken.

Thematische Schwerpunkte der Studiengänge decken nur mittelbar den Bedarf des Kompetenzfeldes ab. Sie beschränken sich zumeist auf die kerntechnische, thermohydraulische Modellierung, die Anwendung von numerischen Strömungsmechanik-Programmen und -Techniken sowie die Modellierung von Neutronendiffusion und den Neutronentransport. Interdisziplinäre Studiengänge an Universitäten/(Fach-)Hochschulen werden benötigt, welche sich mit der Untersuchung von breitgefächerten Themengebieten beschäftigen. Das Spektrum sollte Themen, wie beispielsweise Kritikalität von nuklearen Konfigurationen, Neutronen-Einfluss auf Reaktorkomponenten und Konstruktionsmaterialien, metallphysikalische Fragestellungen der Strahlungs-Materie-Wechselwirkung, ab-initio-basierte Thermodynamik, Phasenübergänge in Metallen, Zugfestigkeit und Verformbarkeit von Metallen mit klarem Bezug zu Reaktorkonstruktionswerkstoffen beziehungsweise Hüllrohrwerkstoffen umfassen. Die im Kapitel „*Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen*“ beschriebene Aus- und Fortbildungsakademie könnte den Kompetenzerhalt flankieren.

iii. Fort- & Weiterbildung

Eine qualifizierte Fort- & Weiterbildung wird (noch) durch diverse Kurse und Lehrgänge in den Bereichen Genehmigungsverfahren, Strahlenschutz, Erdbebensicherheit, Brandschutz, Schweißtechnik sowie zum Brennelementverhalten ermöglicht. Postgraduale Studiengänge (Promotion) an Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e. V. (HGF), Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. (FhG), Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. (MPG) oder Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz e. V. sowie Fachkundefachlehrgänge (Schweißfachingenieur*in, Strahlenschutz, zerstörungsfreie Prüfung usw.) werden bislang genutzt. Auf der internationalen Ebene stehen zu Fort- & Weiterbildungszwecken die Summer Schools der IAEA und der OECD/NEA im „advanced numerical modeling“ zur Verfügung.

Es ist auch in Zukunft sicherzustellen, dass die entsprechenden nationalen Fort- & Weiterbildungsangebote verfügbar sind und eventuell mit einer Fortbildungsakademie abgedeckt werden (siehe Kapitel „*Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen*“). Schon heute decken die thematischen Schwerpunkte der Fortbildungsangebote den

gewünschten Umfang im Bereich der Sicherheit des Brennelementverhaltens nicht ab. Akademische Ausbildung auf dem Gebiet Metallurgie/Werkstoffwissenschaften wird benötigt (Fortbildungsangebot mit Fokus auf kerntechnischen Werkstoffen), ebenso fehlen interdisziplinäre Fortbildungsangebote.

Auf Grund dieses Mangels sollen Fortbildungsangebote, die die Interdisziplinarität des Kompetenzfeldes „Sicherheit Brennelementverhalten“ abbilden, aufgebaut werden. Die Lehrinhalte sollten Themen wie Radiolyse, Korrosion, zirkoniumbasierte Legierungen, Punktdefekte, Zwillingskorngrenzen, Carbonatisierung, Metallhydride, Brennelementverhalten unter Trockenlagerungsbedingungen und Alterungsmanagement enthalten. Kompetenzen in der zerstörungsfreien Durchstrahlungs- und Materialprüfung sollen erhalten und ausgebaut werden. Auch sollte die Anzahl postgradualer Studiengänge konstant bleiben, um zum Beispiel neutronenspektroskopische und -dosimetrische Verfahren zu vermitteln. Vorhandene Kapazitäten an nationalen Neutronenquellen sollten erhalten oder die Möglichkeit zur Nutzung internationaler Großforschungseinrichtungen (z. B. ANSTO - Australian Nuclear Science and Technology Organisation und ILL - Institut Laue-Langevin) sichergestellt werden. National fehlen ausreichend postgraduale Studiengänge auf Grund der begrenzten Anzahl an nationalen Neutronenquellen und Großforschungseinrichtungen, die mit ionisierenden Strahlen umgehen.

Ab ca. 2027 endet die Praxis der Behälterbeladung, so dass das Risiko besteht, dass Kompetenzen und Erfahrungen danach sukzessive verloren gehen. National besteht keine Möglichkeit mehr, die praktischen Fertigkeiten der Beladung von Behältern mit Inventar zu erhalten. Diese können nur noch im Ausland erworben werden (wenn nicht frühzeitig Maßnahmen ergriffen werden). Es könnte ein Erfahrungsaustausch mit ausländischen Betreibern und Behörden, die entsprechende Kenntnisse besitzen, durchgeführt werden.

iv. Wissensbasis

Das Wissen für das Führen von Aufbewahrungsgenehmigungen ist auf verschiedene Akteure verteilt (Betreiber der Zwischenlager, Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden, Behälterhersteller, Sachverständigenorganisationen, Kerntechnischer Ausschuss, DIN) und findet Eingang in die Erweiterung und Aktualisierung des entsprechenden gesetzlichen und untergesetzlichen Regelwerks.

Um die für die Genehmigungsverfahren notwendigen externen Kompetenzen bei Behälterherstellern, Ingenieurbüros und Sachverständigen zu erhalten, müssen strategische Vorbereitungen getroffen werden, da diese Kompetenzen mittelfristig wegzubrechen drohen.

Langfristig muss das Wissen über die Eigenschaften von Brennelementen und den praktischen wie administrativen Umgang mit diesen erhalten bleiben, auch wenn dies in Deutschland nicht mehr trainiert werden kann.

Das relevante Wissen muss daher dokumentiert und erhalten werden (siehe hierzu auch das Kompetenzfeld „*Dokumentation und Langzeitarchivierung*“). Ein Kompetenztransfer und Erfahrungsaustausch zum Degradations- und mechanischen Verhalten von Brennelementen ist erforderlich. Das Wissen der nationalen, kerntechnischen Industrie sollte durch Publikation der Ergebnisse aus der Industrieforschung gesichert werden.

Externe Datenbanken wie die INFCIS (Integrated Nuclear Fuel Cycle Information System) der IAEA führen Informationen zu Zwischenlagern zusammen. Für den Wissenserhalt ist eine

frühzeitige Anbahnung von Kontakten ins Ausland mit dem Ziel des Wissenserhalts unerlässlich.

v. Gremienarbeit & Netzwerke

Ein bestehendes Gremium ist der Arbeitskreis Behälterbeladung und -abfertigung des VGB Powertech e. V. (technischer Verband der Energieanlagen-Betreiber). Ab 2027 werden Brennelemente von Leistungsreaktoren nicht mehr aktiv gehandhabt. Es ist davon auszugehen, dass der Erfahrungsaustausch in Gremien wie dem VGB Powertech e. V. dann abnimmt. Die Aktivitäten sollten auf der nationalen und internationalen Ebene fortgeführt werden.

Nationale Laboratorien zum Umgang mit Brennelementen werden rar und es ist kein bestrahlter Brennstoff als Grundlage für relevante Experimente, z. B. zu den mit Hochabbrand verbundenen Effekten mehr vorhanden. Beides führt dazu, dass die nationale Beteiligung in IAEA Coordinated Research Project (CRP) Spent Fuel Performance Assessment and Research sukzessive zurückgefahren werden muss.

vi. Forschung & Entwicklung

Das Brennelementverhalten auch im Hinblick verlängerter Zwischenlagerung ist bereits Forschungsthema. Offene Fragen bestehen noch in Bezug auf die Hüllrohre von Brennelementen hohen Abbrands sowie auf korrosionsbeständigere Zirkoniumlegierungen, um die Auswirkung von Abbrandeffekten sowie Werkstofftextur auf die Hüllrohrbelastbarkeit während und nach einer längerfristigen Zwischenlagerung sicher prognostizieren zu können.

Eine Beteiligung an dem OECD/NEA Studsvik Cladding Integrity Project (SCIP IV) und dem IAEA CRP Spent fuel performance assessment and research IV ist anzustreben.

Die Schnittstelle von der Zwischen- zur Endlagerung ist Gegenstand laufender Forschungen. Nach der Entwicklung eines Endlagerkonzeptes werden die Konditionierung der Brennelemente (Umpacken etc.) sowie die Entwicklung eines Endlagerbehälters nach Maßgabe der Endlager-Einlagerungsbedingungen der BGE in den Fokus rücken.

Auf dem Gebiet der zustandsorientierten Instandhaltung wird aktuell sehr intensiv aufgrund von Kostenoptimierung geforscht, zum Beispiel werden Schwingungsüberwachungssysteme für Lüftungsanlagen, und hier im Speziellen für die Lagerschadenüberwachung, untersucht. Eine Abkehr von der ausfallorientierten Instandhaltung ist zu beobachten.

7. Sicherheit bei Transporten und Behältern

i. Kurzbeschreibung

Die Schutzziele sowie viele der Anforderungen an den Kompetenzerhalt beim Transport radioaktiver Abfälle decken sich mit denen bei der Zwischen- und Endlagerung und werden deshalb nicht erneut aufgezählt. Eine Schnittstelle zwischen den einzelnen Stationen des Entsorgungspfades sind die Transport- und Lagerbehälter. Die Bedarfe, die im Zusammenhang mit den Transport- und Zwischenlagerbehältern identifiziert wurden, werden hier dargestellt. Behälterkonzepte für die Endlagerung müssen zusammen mit dem Endlagerkonzept erst noch entwickelt werden und gehören daher zu den Fragen des

Standortauswahlverfahrens und später zum Endlager. Der Bedarf an Fachwissen und -personal ist jedoch voraussichtlich davon relativ unabhängig, ob die Behälter für die Zwischen- oder Endlagerung vorgesehen werden. Nur die Anforderungen an die Behälter als solche werden sich ändern.

Kenntnisse über das Werkstoff- und Materialverhalten beladener Transport- und Lagerbehälter unter den Randbedingungen der trockenen Zwischenlagerung sind für die zukünftige Nachweisführung für atomrechtliche Genehmigungen und für den Abtransport nach der Zwischenlagerung erforderlich.

Ebenso sind die praktischen Fähigkeiten der Behälterhandhabung und -abfertigung, nachdem alle Brennelemente in Transport- und Lagerbehälter verbracht worden sind, sowie der Erneuerung austauschbarer Behälterkomponenten und Handhabungen im Einklang mit dem Endlagerungskonzept zu erhalten.

ii. Ausbildung & Lehre

Das Fachwissen für die Transporte wird in den folgenden Studienfächern vermittelt:

- Physik,
- Chemie,
- Mineralogie,
- Werkstofftechnik,
- Maschinenbau,
- Kerntechnik,
- Strahlenschutz (Ingenieur*innen oder Naturwissenschaftler*innen mit entsprechender Qualifizierung) und
- Verfahrenstechnik.

Für die Genehmigungsverfahren konnten bislang ausreichend Bewerber*innen mit entsprechender Qualifikation gefunden werden.

Für den Bereich Transport- und Lagerbehälter ist eine Ausbildung für die Behälterfertigung und -abfertigung, Fertigkeiten in der mechanischen Bearbeitung von Behälterrohlingen sowie für Testverfahren zur fertigungsbegleitenden Qualitätssicherung bei der Gesellschaft für Nuklear-Service mbH (GNS) noch vorhanden. Externe Fachunternehmen (wie z. B. GNS, WTI - Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH und Orano/TN International) besitzen das Fachpersonal und -wissen für die Nachweisführung für Genehmigungs- und Zulassungsverfahren.

In Bezug auf Behälterabfertigung sowie für die Herstellung von Zulieferteilen und deren spezifikationsgerechter Austausch am beladenen Behälter sollten Kompetenzen auch perspektivisch erhalten bleiben. Gleiches gilt für den Kompetenzerhalt hinsichtlich der Nachweisführung (Mechanik, Kritikalität, Abschirmung, Thermik und Freisetzung).

iii. Fort- & Weiterbildung

Fort- und Weiterbildungen im Bereich der Transport- und Lagerbehälter werden von der GNS, dem Haus der Technik (Fachkunde für Zerstörungsfreie Prüfungen) und anderen Organisationen angeboten. Um die Kompetenzen und Fertigkeiten bei Fügedeckelschweißen, zum De- und Assemblieren austauschbarer Behälterkomponenten und in der Behälterhandhabung zu erhalten, sollten Kurse mit praktischen Übungen

weiterhin angeboten werden. Daneben sind auch die bereits im Bereich Zwischenlagerung genannten Anforderungen an den Kompetenzerhalt relevant. Dazu sollten die Angebote der im Bereich Zwischenlagerung genannten Institutionen weiterhin genutzt werden.

iv. Wissensbasis

Zusätzlich zu der Wissensbasis, die bereits für die Zwischenlagerung beschrieben wurde, tragen EPRI-Berichte (Electric Power Research Institute), Tagungsbeiträge, Material- und Werkstoffdatenbanken, Richtlinien der IAEA sowie technische Dokumentationen zum Wissenserhalt und -ausbau bei.

Behälter- und Werkstoffdaten sollen aus der Literatur systematisch aufgebaut und verfügbare Behälterdaten aus der Behälterdokumentation elektronisch erfasst werden.

v. Gremienarbeit & Netzwerke

Ein Gremium zur Sicherstellung eines bedarfsgerechten und störungsminimierten Materialflusses zur Endlagerung sollte etabliert werden. Ein Arbeitskreis zur Handhabung von Brennelementen sollte national aufgebaut werden. Auch eine Beteiligung an internationalen und regelsetzenden Gremien sollte vorangetrieben werden.

Das Personal der zuständigen Behörden sollte weiterhin aktiv in den internationalen Gremien zur Regelsetzung (z. B. IAEA Transport Safety Standards Committee, UNECE - Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen - Working Party on the Transport of Dangerous Goods) mitarbeiten. Zudem sollte ein intensiver Austausch zwischen den für Beförderungsgenehmigungen beteiligten nationalen als auch zwischen den zuständigen internationalen Behörden (z. B. European Association of Competent Authorities) stattfinden.

vi. Forschung & Entwicklung

Das Langzeitverhalten der sicherheitstechnisch bedeutsamen Metalledichtungen der Transport- und Lagerbehälter wird im Projekt „LaMEP“ (Long-term investigations on metal seals, elastomer seals, and polymers) und das Brennelementverhalten im High Burnup Dry Storage Cask Research and Development Project untersucht. Im Rahmen des Extended Storage Collaboration Program (ESCP) werden aktuelle thermische Modellierungswerkzeuge validiert und der Handlungsbedarf zum Schließen von technischen Wissenslücken bewertet.

Für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle müssen die technischen Voraussetzungen geschaffen werden, um die beladenen Brennelementebehälter öffnen zu können. Diese sollten sich an der Konzeption der vor Ort zu errichtenden Konditionierungseinrichtung zur endlagergerechten Verpackung von hochradioaktiven Abfällen orientieren. Die für die Endlagerung erforderlichen Konditionierungsschritte sowie die dafür erforderlichen Techniken müssen entwickelt und untersucht werden.

8. Sicherheitskultur/-Management

i. Kurzbeschreibung

Eine organisationsinterne Sicherheitskultur muss in allen Bereichen der nuklearen Entsorgung aufgebaut, erhalten und kontinuierlich weiterentwickelt werden. Dies gilt sowohl

für die ausführenden (Projektgesellschaften und/oder Betreiber) als auch die regulierenden Organisationen (Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden).

Die zuständigen Behörden des Bundes und der Länder zur Genehmigung und Aufsicht von kerntechnischen Einrichtungen und Kernbrennstofftransporten sind in diesem Zusammenhang übereingekommen, ein gemeinsames Verständnis ihrer Sicherheitskultur zu erarbeiten. Das erarbeitete Grundsatzpapier „Sicherheitskultur in atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden“ benennt und erläutert die Prinzipien eines gemeinsam entwickelten Verständnisses zur Sicherheitskultur.

Das Managementsystem muss geeignet sein, die einschlägigen Bedarfe, z. B. aus verschiedenen Bereichen des Qualitäts-, Umwelt- und Prozessmanagements anforderungsgerecht abzubilden.

ii. Ausbildung & Lehre

Eine hohe Sicherheitskultur greift auf verschiedenen Ebenen einer Organisation und erfordert eine Reihe von Kompetenzen, die meist nicht in einem Studiengang allein erworben werden:

- Psychologie (u. a. Arbeits- und Organisationspsychologie),
- Management und Sicherheitsmanagement,
- Prozessmanagement,
- Sicherheitsverständnis,
- Kommunikative Kompetenz,
- Partizipationskompetenz,
- Sicherheitsdiskursivität und
- Medienkompetenz.

Daneben sind Erfahrungen, persönliche Fähigkeiten, Sozial- und Führungskompetenz wichtig.

Eine spezifische Ausbildung für den Aufbau und Betrieb von Managementsystemen in der Kerntechnik wird nicht benötigt. Kenntnisse zum Themenkomplex der Managementsysteme werden beispielsweise in den folgenden Studiengängen vermittelt:

- Ingenieur- und Naturwissenschaften,
- Wirtschaftsingenieurwesen sowie
- Wirtschaftswissenschaften.

Darüber hinaus werden z. B. auf europäischer und internationaler Ebene zertifizierte (in der Regel englischsprachige) Ausbildungen (zum Beispiel NEBOSH - National Examination Board in Occupational Safety and Health) angeboten, die ebenfalls als Qualifizierungsoption zu beachten sind.

iii. Fort- & Weiterbildung

Aus-, Fort- und Weiterbildungen für diverse Managementsysteme werden zum Beispiel von DGQ (Deutsche Gesellschaft für Qualität e. V.) oder TÜV angeboten. Entsprechende Angebote sind am Markt verfügbar und es ist nicht zu erwarten, dass diese Verfügbarkeit zukünftig eingeschränkt wird.

iv. Wissensbasis

Siehe „*Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen*“.

v. Gremienarbeit & Netzwerke

In Bereichen des Managements und der Sicherheitskultur existieren Gremien (z. B. Arbeitsgruppen zur Fortentwicklung von Normenstandards) und Netzwerke (z. B. regionalen Netzwerktreffen der DGQ). Darüber hinaus gibt es in diesen Bereichen internationale Gremien bei der OECD und IAEO.

vi. Forschung & Entwicklung

Eine der wesentlichen Forschungsfragen lautet: Wie kann ein ganzheitlicher und systematischer Ansatz als selbstlernendes und selbsthinterfragendes System installiert und genutzt werden, um der Nuklearen Sicherheit und dem Strahlenschutz den notwendigen Vorrang einzuräumen?

9. Alterungsmanagement

i. Kurzbeschreibung

Unter einem technischen Alterungsmanagement versteht man die Sicherstellung der Betriebsbereitschaft und der Zuverlässigkeit der Zwischen- und Endlager. Hierfür werden Alterungsphänomene unter den betrieblichen Randbedingungen bewertet und sicherheitsrelevante Schädigungen entweder ausgeschlossen oder deren Auswirkungen durch geeignete Gegenmaßnahmen beherrscht. Eine zentrale Aufgabe ist die Harmonisierung des Alterungsmanagements verschiedener Systeme sowie die Weiterentwicklung des Inspektions- und Überwachungskonzepts. Ausgehend von einer verlängerten Zwischenlagerung und einem Behältertransport nach verlängerter Zwischenlagerung bestehen in Bezug auf das Alterungsmanagement offene Fragen im Hinblick auf die nach der Behälterbeladung im Laufe der Trockenlagerzeit eintretenden Eigenschaftsänderungen der Behälter und Inventare.

ii. Ausbildung & Lehre

Notwendige Studiengänge, die insbesondere die Kompetenzen für das Thema vermitteln, sind:

- Kerntechnik,
- Elektrotechnik,
- Leittechnik,
- IT-Sicherheit,
- Verfahrenstechnik,
- Naturwissenschaften (unter anderem Physik und Chemie),
- Umweltwissenschaften,
- Werkstofftechnik,
- Bauingenieurwesen (Vertiefungsfeld Alterungsmanagement) sowie
- Materialwissenschaften und Werkstoffkunde.

Es mangelt derzeit an speziellen Lehrangeboten für strahlungsbedingte Alterungseffekte bei Werkstoffen, Materialien und Betriebsmitteln sowie für das Verständnis der zugrundeliegenden Mechanismen. Geeignete Simulationsmodelle sollen zukünftig entwickelt und validiert werden. Die Kompetenz könnte mit einem Vertiefungsfeld, welches sich auf strahlungsbedingte Alterungsphänomene konzentriert (nuklearphysikalische und nuklearchemische Kenntnisse, Simulationsmodelle und deren Validierung), erhalten bleiben. Praktische Übungen zur Anwendung zerstörungsfreier Analysemethoden müssen ebenfalls angeboten werden.

iii. Fort- & Weiterbildung

Siehe „Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen“.

iv. Wissensbasis

Um das Wissen für das Kompetenzfeld Alterungsmanagement zu erhalten, wurde eine Reihe von Maßnahmen beispielsweise zur vorbeugenden Instandhaltung beim Betrieb der Zwischenlager implementiert. Ebenso befassen sich die ESK-Leitlinien zur Durchführung von Periodischen Sicherheitsüberprüfungen und zum technischen Alterungsmanagement, Regeln des Kerntechnischen Ausschusses sowie weitergehende Dokumente mit dem Thema.

Bisher sind Vollständigkeit und Systematik der Alterungsmanagementberichte nicht durchgängig gegeben. Die Ergebnisse aus den wiederkehrenden Prüfungen werden dokumentiert, sofern die Auffälligkeiten das Zwischenlager betreffen, aber es sind keine eigenen Berichte für das Zwischenlager vorhanden. Dem Betreiber der Standortzwischenlager sollen die kompletten Berichte der Periodischen Sicherheitsüberprüfung sowie die für das Kraftwerk samt Zwischenlager erstellten Berichte zur Verfügung gestellt werden, um einen Wissensverlust zu vermeiden. Bevor das Leistungsscheinverfahren für die Berichtserstellung zum Alterungsmanagement durch die Energieversorgungsunternehmen (EVU) ausläuft, sollen Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Alle sonstigen für die Sicherheit der Zwischenlager relevanten Komponenten und Einrichtungen, die in den Festlegungen der Genehmigung beziehungsweise der aufsichtlichen Handlungen sowie den EVU-Berichten für die Standortzwischenlager genannt sind, sollten ermittelt werden. Internationale Ergebnisse zum Brennelementverhalten unter Trockenlagerungsbedingungen zur Prognose des Verhaltens der zwischengelagerten Brennelemente sollten verfolgt werden. Dies erfordert einen Zugang zu den Veröffentlichungen über Bibliotheksdatenbanken.

v. Gremienarbeit & Netzwerke

Siehe „Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen“.

vi. Forschung & Entwicklung

Bei den experimentellen Studien der Brennelementhersteller stehen Eigenschaftsänderungen von Brennelementen durch den Reaktoreinsatz und in

zunehmendem Maße auch Änderungen der mechanischen Eigenschaften von Hüllrohren während der Trockenlagerung im Fokus. Zudem konzentrieren sich die Studien auf die Einhaltung der Schutzziele unter Berücksichtigung des radiologischen und thermischen Einflusses auf die Sicherheitsfunktion der Behälterkomponenten, da der Verlauf der Komponententalterung und Degradation des Werkstoffs mit dem Temperaturprofil der jeweiligen Komponente korreliert.

Auf der internationalen Ebene sind hier Ageing Management Programmes for Dry Storage Systems, IAEA Code: T21028 und das OECD/NEA SCIP Phase IV zu nennen. Die Beteiligung an diesen Projekten sollte fortgeführt und/oder erweitert werden.

Die Inventare noch zu beladender Behälter sollten als Referenz für einen Vergleich charakterisiert werden, sollte zu einem späteren Zeitpunkt eine Untersuchung der Brennelementeigenschaftsänderungen in Abhängigkeit von der Zwischenlagerungsdauer notwendig werden.

Ausgehend von einer verlängerten Zwischenlagerung und einem Behältertransport nach verlängerter Zwischenlagerung bestehen offene Fragen im Hinblick auf die nach der Behälterbeladung im Laufe der Trockenlagerzeit eintretenden Eigenschaftsänderungen der Behälter und Inventare. Hier ist der Ausbau der diesbezüglichen interdisziplinären, national wie international zunehmend wichtiger Forschung gefragt, die die Forschungslandschaft positiv prägen kann. Besonders in der Anwendung nicht-invasiver Methoden für die Alterungsüberwachung von Brennelementen sollten Kompetenzen aufgebaut werden.

10. Abfalllogistik

i. Kurzbeschreibung

Unter Abfalllogistik werden alle technischen und organisatorischen Vorbereitungen sowie die Koordination der Umsetzung der Ablieferung der radioaktiven Abfälle (HAW - High Active Waste, MAW - Medium Active Waste, LAW - Low Active Waste) aus der Bereitstellungs-lagerung in den Zwischenlagern an das jeweilige Endlager verstanden. Hierbei müssen die Annahmebedingungen und die Abrufllogistik berücksichtigt werden.

Für das Aufgabengebiet der Rückholung bei der BGE sind gleichermaßen noch alle technischen und organisatorischen Vorbereitungen für die radiologische und chemische Charakterisierung der rückgeholten Abfälle und deren endlagerergerechte Konditionierung zu betrachten. Es müssen die erforderlichen Prozesse entwickelt, beschrieben und die notwendigen Genehmigungen erwirkt werden.

ii. Ausbildung & Lehre

Für die technischen und wirtschaftlichen Grundlagen werden folgende Studiengänge benötigt:

- Ingenieurwissenschaften,
- Physik (Kerntechnik/Strahlenschutz),
- Chemie (Radiochemie),
- Betriebswirtschaft – Logistik-Management und
- Supply-Chain-Management.

Die Einarbeitung erfolgt durch „Training on the job“ und in einem vordefinierten Zeitraum durch erfahrene Kolleg*innen als Wissensgeber*innen. Spezifische Fachthemen sollen durch die Bearbeitung von akademischen Arbeiten wie Bachelor- und/oder Masterarbeiten behandelt werden. Zukünftig sollten Kooperationen mit Hochschulen angestrebt werden. Bis 2030 ist eine gezielte Nachwuchsförderung und fachliche Qualifizierung von Mitarbeiter*innen der BGZ und BGE in den Themenfeldern Transportlogistik, Lager-Management und Endlagerungsbelange geplant.

iii. Fort- & Weiterbildung

Derzeit werden hausinterne Kurse und Seminare zum Fachkundeerhalt von der BGZ angeboten. Ebenso werden die Fort- und Weiterbildungsangebote von weiteren Dienstleistungsunternehmen, Behörden oder Sachverständigenorganisationen zum Fachkundeaufbau und -erhalt in Anspruch genommen. Begleitet werden diese durch die Teilnahme an nationalen und internationalen Symposien.

iv. Wissensbasis

Siehe „*Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen*“.

v. Gremienarbeit & Netzwerke

Die BGZ ist bereits in verschiedenen Netzwerken wie dem Behördenaustausch mit dem BMU und der BGE und in Prozessarbeitsgruppen vertreten.

Der Austausch von Strategien und fachlichen Informationen mit anderen Abfalleigentümern und Konditionierern (z. B. Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH - EWN, Siemens) mit Schnittstellen zur BGZ bei der Endlagerung Konrad soll vertieft werden. Im Themenfeld Transportlogistik soll die vollumfängliche Aufgabenerfüllung bei der BGZ sichergestellt werden. Die Abruflogistik Konrad soll unter Berücksichtigung aller einzuhaltender Parameter und Unwägbarkeiten gesteuert werden.

Bedarf im Bereich der Gremien und Netzwerke besteht noch beim Aufbau von Partnerschaften und strategischen Allianzen sowie eines Steuerungsgremiums zur Sicherstellung eines bedarfsgerechten und störungsminimierten Materialflusses zur Endlagerung.

vi. Forschung & Entwicklung

Aktuelle Forschungsfelder umfassen die Erfüllung der Endlagerungsbedingungen Konrad für LAW/MAW-Abfälle, die Spezifikation der allgemeinen Anforderungen an Abfallgebinde für Konrad zur Übernahme in die Bereitstellungslagerung inkl. Dokumentation wie auch die vertiefte Festlegung fachlicher Anforderungen für die Verbringung von Abfällen aus der Bereitstellungslagerung zur Endlagerung. Es sind Verfahren für die Charakterisierung und Konditionierung von undefinierten Abfallströmen aus der Rückholung der Schachanlage Asse II zu entwickeln.

Bis 2030 stehen die Erforschung einer anforderungsgerechten Abwicklung der Steuerung des Materialflusses von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen für eine kontinuierliche

Endlagerung sowie deren Umsetzung in die Praxis im Vordergrund. Darüber hinaus sollen bis 2050 die Anforderungen an ein HAW-Endlager, entsprechende Verpackungskonzepte für die Abfälle sowie die Produktkontrolle mit den am Prozess beteiligten Institutionen vollumfänglich definiert werden. Darauf aufbauend müssen Anforderungen für eine Bereitstellungslagerung von bestrahlten Brennelementen und radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung inkl. Dokumentation sowie eine geeignete Transportlogistik erarbeitet werden.

11. Sicherung

i. Kurzbeschreibung

Unter Sicherung wird der Schutz von Transporten sowie Zwischen- und Endlagern von radioaktiven Abfällen gegen Störmaßnahmen und Sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD) verstanden. Für dieses Kompetenzfeld sind Kenntnisse der Sicherheitskonzepte und des Strahlenschutzes notwendig, da zahlreiche Schnittstellen zwischen den Themengebieten Sicherung und Sicherheit bestehen. Im Zuge der Sicherung werden Maßnahmen aus Sicherungskonzepten in Sicherungssysteme sowie organisatorische und personelle Sicherungsmaßnahmen sowie die bedarfsgerechte Abstimmung der Maßnahmen mit Aufsichts-, Genehmigungs- und Sicherheitsbehörden umgesetzt.

ii. Ausbildung & Lehre

Für das Gebiet Sicherung werden folgende Aus- und Fortbildungsabschlüsse angeboten:

- Fachkraft für Schutz und Sicherheit,
- geprüfte Schutz- und Sicherheitsfachkraft sowie
- Meister für Schutz und Sicherheit.

Akademische Abschlüsse werden in

- Security Management,
- Security Engineering und
- IT-Security

angeboten. Die Kenntnisse werden zum Teil in den Studiengängen

- Physik,
- Elektrotechnik und/oder
- Maschinenbau

berücksichtigt. Es gibt derzeit einen Mangel an Spezialisten auf dem Gebiet der konventionellen Sicherung und IT-Security. Dies betrifft sowohl Betreiber, Sachverständige, als auch Aufsichts- und Genehmigungsbehörden. Durch Stipendien könnten weitere Anreize für ein Studium des Security-Managements und der IT-Security geschaffen werden.

Auf dem Gebiet der „Sicherung“ sollten einschlägige Seminar- oder Doktorarbeiten in einzelnen Studiengängen angeboten werden. Eine Einbindung von Neben- und Wahlpflichtfächern in bestehende Studiengänge wäre zudem denkbar.

iii. Fort- & Weiterbildung

Beim Betreiber bilden interne Schulungen zum Fachkunderwerb für die Objektsicherungsbeauftragten und Schulungsmaßnahmen für Bewachungspersonal der Zwischenlager eine Grundlage für die Fortbildung der Mitarbeitenden. Ergänzt werden diese Maßnahmen um diverse Kurse und Lehrgänge in den Bereichen Security, Kerntechnik und Sicherheitsanalysen sowie Fortbildungsmöglichkeiten in den Bereichen der Anlagensicherung, Objekt- und Einbruchschutz. Letztere beinhalten weitestgehend nur Aspekte aus dem nicht-kerntechnischen Bereich.

Für Behörden sind mehr externe Fortbildungsmöglichkeiten für die kerntechnische Sicherung (SEWD) notwendig.

iv. Wissensbasis

Sicherung umfasst auch die Erfassung und Archivierung der Sicherungskonzepte, der Nachweisunterlagen und der betrieblichen Unterlagen sowie der einschlägigen Normen und Regelwerke zur Anlagensicherung. Langfristig sollte dies in einer elektronischen Datenbank erfolgen, deren Nutzung in Bezug auf eventuelle Verschlussachen auf einem entsprechenden Berechtigungskonzept beruhen müsste.

v. Gremienarbeit & Netzwerke

Das SEWD-Regelwerk muss regelmäßig evaluiert werden. Dies erfolgt unter Beteiligung der Sicherheitsbehörden und Sachverständigen. Die Betreiber werden dabei in angemessenem Umfang angehört. Regelmäßige Treffen der für die kerntechnische Anlagensicherung zuständigen Bundes- und Landesbehörden finden statt. Ein Schwerpunkt wird langfristig auf dem Thema IT-Sicherheit liegen.

vi. Forschung & Entwicklung

Ein Forschungsbedarf besteht im Bereich von verbesserten und neuen Systemen zur Anlagensicherung, vergleichenden Rechenmodellen und Simulationen im Hinblick auf den gezielt herbeigeführten Flugzeugabsturz, die maximalen thermischen und mechanischen Belastungsgrenzen der Transport- und Lagerbehälter sowie der Entwicklung von generischen Rechenmodellen zur Bestimmung der radiologischen Auswirkungen von SEWD unabhängig von der konkreten Transportkonfiguration. Weiterer Forschungsbedarf besteht für die Entwicklung eines Sicherungskonzeptes im Zusammenhang mit der Rückholung von radioaktiven Abfällen.

Für die Planung und den Betrieb eines Endlagers für hochradioaktive Abfallstoffe wird das Forschungsfeld der „Safeguards“ von großer Bedeutung sein. Unter dem Begriff „Safeguards“ wird die Kontrolle von spaltbaren Stoffen verstanden, sodass ein militärischer Missbrauch erkannt würde. Zu diesem Zweck werden Konzepte für Inventarkontrollen (Buchhaltung), Zugangskontrollen zu den Anlagen und die Gewährleistung der baulichen Integrität entwickelt, umgesetzt, durch Sachverständige geprüft und durch Aufsichts- und Genehmigungsbehörden bewertet.

12. Endlagerbergbau und Rückholung

i. Kurzbeschreibung

Das Kompetenzfeld umfasst die Fachkunde zu Planung, Errichtung, Betreiben und Verschließen/Stilllegen eines Bergwerks als Endlager unter Tage sowie die Rückholung radioaktiven Abfalls unter Berücksichtigung der notwendigen Voraussetzungen. Aufgrund der vielfältigen Anforderungen des Kompetenzfeldes kommt der diesbezüglichen Forschung eine besondere Bedeutung zu.

ii. Ausbildung & Lehre

Notwendige Studienabschlüsse, die insbesondere die Kompetenzen für das Thema vermitteln, sind:

- Bergbau (inkl. Tunnelbau [Spezialtiefbau]),
- Bergvermessungswesen (Markscheidekunde),
- Geotechnik,
- Kerntechnik,
- Maschinenbau,
- Hoch- und Tiefbau,
- Versorgungstechnik,
- Elektrotechnik,
- Sicherheitsingenieurwesen sowie
- Umweltingenieurwesen.

Notwendige Berufsabschlüsse, die insbesondere die Kompetenzen für das Thema vermitteln, sind:

- Bergmechanik/Bergbautechnologie,
- Geotechnik,
- Bergvermessung,
- Baugeräteführung,
- Baufacharbeit,
- Bohrtechnik,
- Mechatronik,
- Maschinen- und Anlagenmonteur*in,
- Elektrotechnik,
- Maschinist*in/Fördermaschinist*in und
- Strahlenschutzfachkraft.

Aufgrund erforderlicher Spezialkenntnisse sowie ortsspezifischer Qualifikationen für den Einsatz unter Tage zeichnet sich eine zunehmend geringe Marktverfügbarkeit von entsprechenden Qualifikationen ab. Die Kooperation von Vorhabenträger, Betreiber sowie Regulierungsbehörde mit Universitäten und die Ausbildung in den genannten Berufen sind somit von essentieller Bedeutung für den Fachwissenserhalt.

iii. Fort- & Weiterbildung

Bei fachnaher Vorausbildung sollten folgende Zusatzqualifikationen für die Erlangung der notwendigen Kompetenzen gefördert werden:

- Sprengbefähigung,

- Wittertechnik/Klimatisierung,
- Ausbautechnik (Ankerausbau, Baustoffe),
- Schachtfördertechnik,
- Gas-, Brand- und Explosionsschutz,
- Gefahrstoffbeauftragte*r (z. B. Ankerklebetechnik, Injektionsbaustoffe),
- Arbeits- und Gesundheitsschutz unter Tage und in Schächten,
- Kerntechnische Regelwerke,
- Strahlenschutz,
- Planung verfahrenstechnischer Ketten,
- Kerntechnische Prozess- und Leittechnik,
- Umgang mit radioaktiven Abfällen,
- Inbetriebsetzung / Inbetriebnahme von komplexen Anlagen und Systemen sowie
- Digitalisierung in der Planung, Bauausführung und im Betrieb (im Besonderen Art-, Umfang und Einsatz von Building Information Modeling - BIM).

iv. Wissensbasis

Siehe „Übergreifende Handlungsbedarfe und Empfehlungen“.

v. Gremienarbeit & Netzwerke

Die Zusammenarbeit in folgenden Fachverbänden sowie Forschungseinrichtungen und regelsetzenden Gremien muss gefördert werden:

- Bund-Länder-Ausschuss Bergbau (LAB),
- BDG,
- GDMB,
- Fachverband für Strahlenschutz e. V.,
- Kerntechnische Gesellschaft e. V.,
- VDI,
- Kooperation mit anderen Akteuren und Forschungseinrichtungen, z. B. BGE-Technology, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), BGZ, GRS, KIT, Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Forschungszentrum Jülich, Geoforschungszentrum Potsdam, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Hochschulen;
- Kooperation mit internationalen Organisationen: IAEO, OECD/NEA, Technologieplattform IGD-TP (Implementing Geological Disposal of radioactive waste Technology Platform);
- Kooperation mit anderen Betreiberorganisationen: NAGRA (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Schweiz), ANDRA (Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs, Frankreich), RWM (Radioactive Waste Management, Großbritannien), SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB, Schweden), Sandia National Laboratories (USA), Posiva Oy (Finnland) sowie
- BIM: Zusammenarbeit mit Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI).

Ferner ist eine Mitarbeit in Fachverbänden zu Geotechnik, Schachtfördertechnik, Wittertechnik und Klimatisierung sowie Schacht- und Tunnelbau erstrebenswert.

vi. Forschung & Entwicklung

Ein Forschungsbedarf besteht für folgende Themengebiete:

- Schachtfördertechnik für große Lasten,
- Schachtsicherheitstechnik,
- Abdichtungsbauwerke, Verschlussysteme/-materialien in horizontalen und vertikalen Grubenräumen,
- Ausbaumaterialien (Anker, Baustoffe),
- Vortriebs-/Auffahrverfahren und -technik für Grubenräume,
- Fahrzeuge/Gerätesysteme der Auffahrung und Förderung (z. B. für niedrige Bauhöhe, besondere Lastanforderungen, mit geringen Emissionen, automatisierter und fernüberwachter Betrieb),
- Messsysteme für Bauwerksüberwachung,
- Forschungen im Bereich "Bauen in und auf Fels" (z. B. Karlsruher Institut für Technologie),
- Entwicklung von Bohrtechnik für spezielle Anforderungen der Erkundung von geologischen Horizonten (z. B. Gewinnung von Gebirgs- und Gesteinsdaten mit hoher Zielgenauigkeit),
- Fernbedienbarkeit der Maschinen,
- Rückhaltung und Begrenzung von Staubemissionen,
- Filtertechnik,
- Schleusentechnik,
- Strahlenschutzmesstechnik unter Untertagebedingungen,
- Wechselsysteme für Werkzeuge,
- Dekontaminierung komplexer Anlagen und Maschinen,
- Maschinenplattformen als Basis für verschiedene Bergungsaufgaben,
- Maschinen für nicht standfesten Untergrund sowie
- Entwicklung von Spezifikationen zur Standardisierung von Planungen für ASKs der KTA Anforderungsstufe 4.2 oder höher (oder dessen Äquivalent).