



Bundesamt
für die Sicherheit
der nuklearen Entsorgung

Unsere Forschungs- agenda



IMPRESSUM

Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung

Wegelystraße 8
10623 Berlin
Telefon: 030 18 4321 0
Internet: www.base.bund.de

Gestaltung: Quermedia GmbH, Kassel
Druck: Volkhardt Caruna Medien GmbH & Co. KG, Amorbach

Stand: November 2019



Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung

Unsere Forschungsagenda

Inhalt

Vorwort
Seite 6

1 Einleitung:
Warum und wie das BASE
forscht
Seite 8

- 1.1 Forschung als Aufgabe
des BASE
Seite 11
- 1.2 Das BASE als Bundes-
einrichtung mit Forschungs-
und Entwicklungsaufgaben
Seite 13
- 1.3 Identifikation und Umsetzung
des Forschungsbedarfs
Seite 13
- 1.4 Konsultationsverfahren zur
Forschungsstrategie und
-agenda des BASE
Seite 14
- 1.5. Qualitätsmanagement in der
BASE-Forschung
Seite 14
- 1.6. Aufbau der Forschungs-
agenda
Seite 15

2 Priorisierung von
Forschungsvorhaben
Seite 16

- 2.1 Aufstellung des
BASE-Forschungsplans
Seite 18
- 2.2 Ausführung des
BASE-Forschungsplans
Seite 20

3 Reaktorsicherheit
Seite 22

- 3.1 Forschungsrahmen im
Bereich der Reaktor-
sicherheit und Auswahl der
Forschungsthemen
Seite 24
- 3.2 Sicherheitsanalyse
Seite 26
- 3.3 Übergreifende Einwirkungen
Seite 28
- 3.4 Werkstoffkonzepte,
Komponentenintegrität und
Alterungsmanagement
Seite 30
- 3.5 Elektro- und Leittechnik
Seite 31
- 3.6 Sicherheit von
Forschungsreaktoren
Seite 33
- 3.7 Sicherheit weiterer Anlagen
zur nuklearen Ver- und
Entsorgung
Seite 36
- 3.8 Stilllegung kerntechnischer
Anlagen
Seite 37
- 3.9 Internationale Zusammen-
arbeit auf dem Gebiet der
kerntechnischen Sicherheit
Seite 39

4 Zwischenlager und Transporte *Seite 40*

4.1 Behältersicherheit bei Transporten und Zwischenlagerung
Seite 43

4.2 Sicherung
Seite 48

5 Endlagerstandort mit der bestmöglichen Sicherheit *Seite 50*

5.1 Umsetzung des Standortauswahlverfahrens
Seite 53

5.2 Anforderungen und Kriterien des StandAG
Seite 53

5.3 Methoden zur Erkundung, Untersuchung und Auswertung
Seite 54

5.4 Prozessverständnis und naturwissenschaftliche Zusammenhänge
Seite 54

5.5 Sicherheitskonzepte und Bewertungsmethoden
Seite 56

5.6 Szenarientwicklung
Seite 57

5.7 Sicherheitsbetrachtungen
Seite 58

5.8 Nachweisführung für die technische Machbarkeit von Endlagerkomponenten
Seite 59

5.9 Bewertungsmaßstäbe und Vergleichsmöglichkeiten
Seite 59

6 Sozialwissenschaftliche und soziotechnische Fragestellungen *Seite 60*

6.1 Öffentlichkeitsbeteiligung
Seite 63

6.2 Historisch-sozialwissenschaftliche Forschung
Seite 64

6.3 Informationsmanagement und Langzeitdokumentation
Seite 65

6.4 Umgang mit Ungewissheiten, Unsicherheiten und fehlendem Wissen
Seite 66

6.5 Sicherheitsmanagement, Sicherheitskultur, menschliche und organisatorische Faktoren
Seite 67

Zusammenfassung und Ausblick
Seite 70

Abkürzungsverzeichnis
Seite 72

Quellen und Literatur
Seite 73

Wortmarkt

Deutschland befindet sich in einer Phase des Umbruchs bezüglich der Nutzung der Kernenergie und der Entsorgung der daraus resultierenden radioaktiven Abfälle. Von ehemals über 20 Kernkraftwerken befinden sich seit 2018 noch sieben in Betrieb; gemäß Atomgesetz (AtG) wird der letzte Leistungsreaktor spätestens 2022 abgeschaltet. Damit einhergehen konkrete Überlegungen, wie mit den radioaktiven Abfällen umgegangen werden soll. Im Mai 2017 trat das Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG) in Kraft. Das Standortauswahlverfahren hat im Herbst 2017 begonnen. Mit dem Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) wurde ein neuer Akteur geschaffen. Zu seinen Kernaufgaben gehören die Aufsichts- und Genehmigungstätigkeit sowie die Öffentlichkeitsbeteiligung im Rahmen des Standortauswahlverfahrens, die Genehmigung von Transporten und Aufbewahrung von Kernbrennstoffen oder kernbrennstoffhaltigen Abfällen sowie die Bereitstellung der Fachexpertise für den Bereich der kerntechnischen Sicherheit und nuklearen Ver- und Entsorgung. Zur Erfüllung seiner Aufgaben hat das BASE den gesetzlichen Auftrag, auf diesen Gebieten wissenschaftliche Forschung zu betreiben. Als Bundesoberbehörde ist das BASE damit zugleich eine Einrichtung des Bundes mit Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.

Die vorliegende Forschungsagenda benennt aus Sicht des BASE relevante Themenfelder und Fragestellungen für die Forschung in den Aufgabengebieten des BASE. Sie spannt gleichzeitig den thematischen Rahmen auf, in dem sich die Forschung aus Sicht des BASE in den kommenden Jahren bewegen wird, und bietet damit zusätzlich einen weitreichenden Überblick zu Forschungsthemen in der nuklearen Sicherheit (Reaktorsicherheit, nukleare Ver- und Entsorgung, Öffentlichkeitsbeteiligung, Sicherheitsmanagement, Langzeitdokumentation etc.). Dieser Überblick berührt zudem Forschungsthemen, die (auch) von anderen Akteurinnen und Akteuren zu berücksichtigen sein werden. Daher wird nicht jedes der genannten Themenfelder innerhalb der kommenden vier Jahre im Rahmen von BASE-Forschungsvorhaben bearbeitet. Aufgrund des kontinuierlich fortschreitenden Standes von Wissenschaft und Technik kann eine solche Forschungsagenda naturgemäß nicht abschließend alle Themenfelder und Fragestellungen umfassen und beschreiben. Deshalb wird sie für vier Jahre erstellt sowie im zweijährigen Rhythmus aktualisiert und fortgeschrieben.

Das BASE betreibt Forschung in allen Bereichen, die zur Erfüllung seiner komplexen und verantwortungsvollen Aufgaben wissenschaftlich zu bearbeiten sind. Die Aufgaben des BASE sind vielfältig und umfassen unterschiedliche inhaltliche Fragestellungen sowie methodische Herangehensweisen. Die Forschungsfelder des BASE weisen deshalb eine breite Fächerung auf. In einigen Aufgabenbereichen kann das BASE bereits heute auf eine in mehrjähriger Arbeit etablierte Forschungsgeschichte zurückblicken. In anderen Bereichen steht es vor neuen Aufgaben, bei denen sich spezifische wissenschaftliche Fragestellungen teilweise erst in den kommenden Jahren konkretisieren werden. Diese unterschiedlichen Randbedingungen der verschiedenen Forschungsbereiche des BASE spiegeln sich auch in den einzelnen Kapiteln dieser Agenda wider, die sich in Aufbau, Umfang sowie fachlicher Tiefe und dem jeweiligen Detaillierungsgrad entsprechend unterscheiden.

Im Bereich der Reaktorsicherheit besteht eine besondere Herausforderung darin, mit den veränderten Randbedingungen durch den Ausstiegsbeschluss umzugehen. Die Phasen nach der Abschaltung bis zum Abschluss des Rückbaus der Anlagen erfordern die Betrachtung neuer sicherheitstechnischer Fragestellungen. Weltweit – und so auch in einigen Nachbarstaaten Deutschlands – werden weiterhin Kernkraftwerke und andere kerntechnische Anlagen betrieben, und entsprechend werden die europäischen Regelwerke fortgeschrieben sowie die Sicherheitsstandards weiterentwickelt. Es ist daher wichtig, dass Kompetenzen zur Bewertung sicherheitstechnischer Fragestellungen erhalten und durch Forschungsvorhaben langfristig gesichert werden. Auch im Bereich der Genehmigung von Transporten radioaktiver Materialien sowie deren Zwischenlagerung werden sich neue Forschungsfragen ergeben. Die voraussichtliche Dauer des Verfahrens bis zur Einlagerung der Abfälle in ein Endlager und die damit verbundenen langen Standzeiten in Zwischenlagern verändern die Eigenschaften der Inventare und Behälter. Dies kann die weitere Lager- und spätere Transportfähigkeit beeinflussen – ein Themenfeld, das weiter zu erforschen ist.

Die Standortauswahl erfordert die vergleichende, sicherheitsgerichtete Betrachtung unterschiedlicher Wirtsgesteine und Endlagerkonzepte für hochradioaktive Abfälle. Ein solches wirtsgesteinvergleichendes Verfahren ist bisher weder national noch international in dieser Form vergleichbar umgesetzt worden und stellt das BASE vor spezifische Herausforderungen: Das BASE muss Erkundungsprogramme und Sicherheitsuntersuchungen und deren fachliche Basis bewerten. Dabei sind alle sicherheitsrelevanten Aspekte für die Bau-, Betriebs- und die Nachverschlussphase eines Endlagers mit einem Bewertungszeitraum von einer Million Jahren zu berücksichtigen. Das BASE ist zudem Träger der Öffentlichkeitsbeteiligung im Standortauswahlverfahren, in dem Bürgerinnen und Bürger per Gesetz als Mitgestalter des Verfahrens einzubeziehen sind – ein Novum in der Umweltpolitik, welches mit vielen sozialwissenschaftlichen Fragestellungen einhergeht. Dem BASE obliegt schließlich mit der Langzeitdokumentation auch die Aufgabe, alle für die End- und Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle bedeutsamen Daten und Dokumente dauerhaft zu speichern, ihre Unversehrtheit sicherzustellen und das Bewusstsein für ihre Relevanz an folgende Generationen weiterzugeben.

Mit seinen umfangreichen genehmigungsrechtlichen, aufsichtlichen und auch fachbehördlichen Aufgaben sowie als Träger der Öffentlichkeitsbeteiligung im Standortauswahlverfahren ist das BASE die zentrale Behörde im Bereich der nuklearen Entsorgungssicherheit. Es sieht sich deshalb in der Verantwortung, hier über die eigene, an den konkreten Aufgaben orientierte Forschung hinauszublicken und sich maßgeblich in die Koordinierung der Forschung der nuklearen Entsorgung einzubringen, um die nukleare Sicherheit weiterzuentwickeln und das Standortauswahlverfahren erfolgreich umzusetzen.

1.1

Forschung als Aufgabe des BASE

1.2

Das BASE als Bundeseinrichtung mit Forschungs-
und Entwicklungsaufgaben

1.3.

Identifikation und Umsetzung des Forschungsbedarfs

1.4.


BASE-Konsultationsverfahren zu Forschungsstrategie
und -agenda

1.5.

Qualitätsmanagement in der BASE-Forschung

1.6.

Aufbau der Forschungsagenda



Das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) wurde im Jahr 2014 als selbstständige wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des damaligen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB; jetzt Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit BMU) errichtet. Sein Aufbau erfolgt seit Abschluss der Evaluierung des Standortauswahlgesetzes im Jahr 2016. Um als Träger der Öffentlichkeitsbeteiligung im Standortauswahlverfahren und als Regulierungs- und Fachbehörde stets den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik (W&T) anwenden zu können, ist das BASE auch wissenschaftlich aktiv. Mit seiner Forschung gewinnt das BASE notwendige wissenschaftliche Erkenntnisse als Entscheidungsgrundlage zur Erfüllung seiner Aufgaben.

Hierzu initiiert und begleitet das BASE Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf den Gebieten der nuklearen Sicherheit und der Öffentlichkeitsbeteiligung. Es greift aktuelle wissenschaftliche und gesellschaftliche Fragen und Entwicklungen in diesen Bereichen auf, erkennt wichtige gegenwarts- und zukunftsbezogene Herausforderungen und erarbeitet Handlungsoptionen für die notwendigen staatlichen Maßnahmen, einschließlich der eigenen Amtsaufgaben. Dabei werden sowohl mittel- bis langfristig angelegte Fragestellungen kontinuierlich bearbeitet und wissenschaftliche Kompetenzen nachhaltig erhalten und aufgebaut als auch kurzfristig wissenschaftliche Expertise bereitgestellt.

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des BASE bauen auf dem umfangreichen Wissens- und Kenntnisstand auf, der in den letzten Jahrzehnten sowohl in Deutschland als auch international erarbeitet wurde. National zählen hierzu insbesondere die durch die Ressorts BMU, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen ihrer Ressortforschung, Projektförderung und/oder institutionellen Förderung initiierten, geförderten und durchgeführten Forschungsvorhaben und -aktivitäten.

Im internationalen Kontext sind es vor allem die Forschungsaktivitäten anderer Länder sowie internationaler Organisationen wie der International Atomic Energy Agency (IAEA) und der Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency (OECD/NEA).

Ziel der Forschung des BASE ist dabei nicht nur die Verfolgung, sondern auch die aktive Weiterentwicklung des Standes von W&T. Das BASE verfolgt zudem das Ziel, über die eigene, an den konkreten Aufgaben orientierte Forschung hinauszublicken und sich in die Koordinierung der öffentlichen Forschung in den Bereichen nukleare Entsorgung, Zwischenlagerung und Transporte, kerntechnische Sicherheit sowie Standortauswahlverfahren und Öffentlichkeitsbeteiligung einzubringen. Das BASE schafft damit Methodenwissen und Bewertungsgrundlagen, auf deren Basis Entscheidungen zur nuklearen Sicherheit getroffen werden können.

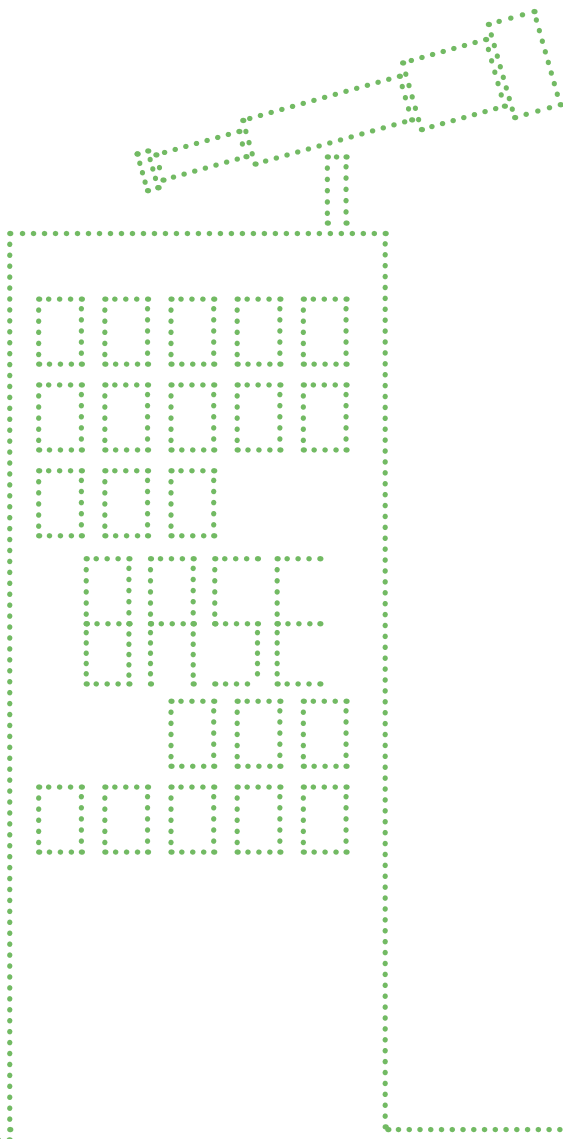
1.1 Forschung als Aufgabe des BASE

Mit dem Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz AtG), dem Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BfKEG) und dem Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (StandAG) wurden dem BASE folgende Aufgaben übertragen:

- Prüf- und Überwachungsaufgaben im Rahmen des Auswahlverfahrens zur Suche eines Standortes mit der bestmöglichen Sicherheit für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle,
- Trägerschaft für die zugehörige Öffentlichkeitsbeteiligung,
- Genehmigungsaufgaben im Bereich von Aufbewahrung und Beförderung radioaktiver Stoffe,
- Planfeststellung, Genehmigung, berg- und atomrechtliche Aufsicht über Endlager,
- Beratung der Bundesaufsicht (BMU) in Fragen der kerntechnischen Sicherheit und der nuklearen Entsorgung.

Zur Erfüllung seiner Aufgaben als Fach-, Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde betreibt das BASE auf diesen Gebieten wissenschaftliche Forschung. Seine Forschung ist ergebnisoffen und systematisch, basiert auf anerkannten wissenschaftlichen Methoden zur Gewinnung neuer Erkenntnisse und folgt den allgemein anerkannten Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis. Hierzu zählt auch, dass das BASE Forschungstätigkeiten nach einem transparenten und nachvollziehbar begründeten Verfahren ausrichtet und priorisiert, Forschungsergebnisse verständlich aufbereitet, grundsätzlich publiziert und die Öffentlichkeit zu einer reflektierten und kritischen Begleitung auffordert. Das BASE hat auf mehreren seiner Aufgabenfelder jedoch zugleich den Auftrag, regelmäßig eindeutige und rechtsichere behördliche Entscheidungen auf Basis des jeweils aktuellen Standes von W&T zu treffen. Die Transparenz und der Qualitätsanspruch an die Forschung werden nicht dem Ziel einer leichteren Entscheidungsfindung untergeordnet.

Die Forschung des BASE leistet einen maßgeblichen Beitrag zur Umsetzung des „partizipativen, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbsthinterfragenden und lernenden Verfahrens“ sowie des Ziels, „eine Lösung zu finden, die in einem breiten gesellschaftlichen Konsens getragen wird“ (§ 5 StandAG). Mit seinen Forschungsaktivitäten trägt das BASE außerdem dazu bei, die Sicherheit in der nuklearen Entsorgung zu gewährleisten.



BMBF

Bundesministerium für Bildung und Forschung

HGF

Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e. V.

verfolgt langfristige Forschungsziele, um die Lebensgrundlagen des Menschen zu erhalten und zu verbessern; betreibt das Programm Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung (NUSAFE)

BMWi

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

BGR

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

setzt sich für die nachhaltige Nutzung von natürlichen Rohstoffen und die Sicherung menschlichen Lebensraums ein

BAM

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

prüft, forscht und berät zum Schutz von Mensch, Umwelt und Sachgütern

BMU

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

BASE

Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung

ist die zentrale Fachbehörde des Bundes für die Sicherheit der nuklearen Ver- und Entsorgung sowie der Zwischenlagerung und der Transporte von radioaktiven Abfällen

BfS

Bundesamt für Strahlenschutz

ist zuständig für die Sicherheit und den Schutz von Mensch und Umwelt vor Schäden durch ionisierende und nichtionisierende Strahlung

Forschungs-akteurinnen und -akteure

sind Universitäten, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, privatwirtschaftliche und gemeinnützige Unternehmen, aber auch Bundesinstitutionen mit Forschungs- und Entwicklungsaufgaben

BGE

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

sucht den Standort für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle; plant, errichtet, schließt und betreibt die Endlager Morsleben und Konrad (im Bau) sowie die Schachanlage Asse II

BGZ

Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH

ist zuständig für die zuverlässige und sichere Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle; betreibt die meisten Zwischenlager

EWN

Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH

ist verantwortlich für den Rückbau und die Entsorgung der Kernkraftwerke in Greifswald/Lubmin und Rheinsberg; betreibt ebenfalls Zwischenlager

1.2

Das BASE als Bundes- einrichtung mit Forschungs- und Entwicklungsaufgaben

Das BASE ist ein neuer Akteur in einer langjährig gewachsenen Forschungslandschaft zur nuklearen Sicherheit. Die Forschungsaktivitäten des Bundes werden dabei von mehreren Ressorts wahrgenommen (Abb. 1), wobei die Zuständigkeit für die nukleare Sicherheit beim BMU liegt. Das BASE forscht auf Grundlage seiner gesetzlichen Aufgaben (z. B. Genehmigungs- und Aufsichtsaufgaben) sowie zur wissenschaftlichen Beratung des BMU im Bereich der nuklearen Sicherheit.

Unter dem Dach des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung fördern BMWi und BMBF Vorhaben im Bereich der nuklearen Sicherheit. Durch Projektförderungen werden Vorhaben im Bereich der (anwendungsorientierten) Grundlagenforschung initiiert. Sie dienen außerdem der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Weitere grundlagenorientierte und anwendungsnahe Forschungsaktivitäten betreibt u. a. die Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF), welche institutionell vom BMBF gefördert wird. Auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziert Forschungsaktivitäten.

Forschungsvorhaben werden darüber hinaus von der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE mbH) sowie der Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ mbH) initiiert. Diese Forschungsvorhaben dienen der Aufgabenwahrnehmung der Betreiberorganisationen und werden über öffentliche Ausschreibungen vergeben oder über Kooperationsvereinbarungen realisiert.

Daneben existiert eine Vielzahl weiterer Forschungsinstitutionen. Zu diesen zählen unter anderem Universitäten, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen sowie privatwirtschaftliche und gemeinnützige Unternehmen.

←
Abbildung 1:
Forschung für nukleare Sicherheit:
Wer macht was?

1.3

Identifikation und Umsetzung des Forschungsbedarfs

Die Identifikation des Forschungsbedarfs ist ein kontinuierlicher Prozess, der sich auch in der regelmäßigen, zweijährigen Fortschreibung und Aktualisierung der Forschungsagenda widerspiegelt. Forschungsbedarfe ergeben sich einerseits bei der Umsetzung der Amtsaufgaben, sei es im Zuge der Entwicklung von Regelwerken und Verordnungen im Entsorgungsbereich oder im Rahmen der Genehmigungs- und Aufsichtsaufgaben des BASE. Andererseits leiten sich neue Forschungsfragen und -bedarfe aus den Forschungsaktivitäten des BASE selbst ab. Hinzu kommt die Analyse der Forschungsprogramme anderer Institutionen und Organisationen. Auch das Forschungsprogramm der nationalen Vorhabenträgerin BGE wird potentiell inhaltliche und zeitliche Hinweise auf komplementäre Forschungsbedarfe des BASE geben können. Hinzu kommen die eigenen Forschungsaktivitäten mit der Definition und/oder Identifizierung offener Fragen und deren Einbindung in die nationale und internationale Forschungsgemeinschaft.

Im Hinblick auf das Standortauswahlverfahren leiten sich der Forschungsbedarf wie auch die inhaltliche und zeitliche Ausrichtung der Forschung aus den Anforderungen des StandAG und zugehöriger Rechtsverordnungen ab. Durch Identifizierung von Lücken und Defiziten zwischen dem zur Erfüllung der gesetzlichen und untergesetzlichen Anforderungen benötigten Wissensstand und dem bestehenden Wissen lässt sich der Bedarf an weiterer oder tiefergehender Forschung und Entwicklung formulieren. Darüber hinaus bindet das BASE die fachliche und nicht-fachliche Öffentlichkeit bei der Forschungsplanung ein.

Das BASE bearbeitet die Forschungsfragen entweder selbst oder beauftragt Dritte. Die Beauftragungen erfolgen sowohl im Wege öffentlicher Ausschreibungen oder anderer wettbewerblicher Verfahren als auch im Anwendungsbereich von Rahmenvereinbarungen; eine Projektförderung aufgrund von Ideenwettbewerben zu BASE-Forschungsthemen wird geprüft.

1.4 Konsultationsverfahren zur Forschungsstrategie und -agenda des BASE

Das Konsultationsverfahren (s. Zeitstrahl unten) zu Forschungsstrategie und -agenda ermöglichte eine transparente Darstellung der geplanten BASE-Forschungsaktivitäten. Hierbei wurde durch zwei Beteiligungsverfahren, eine Online-Konsultation über das Internet und einen Workshop „Forschung zur nuklearen Sicherheit“ die (Fach-)Öffentlichkeit in den Prozess der Forschungsplanung eingebunden. Die Dokumente wurden dabei von externen Forschungsinstitutionen, Organisationen und Behördenvertreterinnen und -vertretern sowie der interessierten (Fach-)Öffentlichkeit diskutiert und kommentiert.

Mit der Veröffentlichung der Dokumente im Internet startete die Online-Konsultationsphase. In dieser Zeit hatte die (Fach-)Öffentlichkeit die Möglichkeit, die Dokumente online zu kommentieren und Stellungnahmen abzugeben. Die Stellungnahmen und Kommentare wurden zunächst grob ausgewertet und auf dem Workshop „Forschung zur nuklearen Sicherheit“ vorgestellt. Der Experten-Workshop gliederte sich in verschiedene Foren, in dem die unterschiedlichen Forschungsthemen kritisch diskutiert und reflektiert wurden.

Die Anmerkungen und Anregungen wurden dokumentiert und im Nachgang ausgewertet. Anschließend wurden die Dokumentation der Ergebnisse sowie deren Einordnung durch das BASE auf der BASE-Webseite veröffentlicht.

Das Konsultationsverfahren bildete die Basis für eine umfassende Reflexion der BASE-Forschungsstrategie und -agenda.

1.5 Qualitätsmanagement in der BASE-Forschung

Zur Erzielung einer hohen Qualität seiner Arbeiten ist im BASE ein Qualitätsmanagementsystem (QMS) in Anlehnung an die internationale Norm DIN EN ISO 9001 eingeführt worden. Dieses soll auch den Bereich Forschung mit einbeziehen und standardisierte Verfahren für Maßnahmen der Qualitätssicherung und Qualitätsverbesserung festlegen. Dazu gehören beispielsweise ein „Mehraugenprinzip“, ausreichende Ressourcenausstattung und regelmäßige interne Reflexionen im BASE. Forschungsvorhaben durch Dritte werden während der Durchführung von Fachbegleiterinnen und Fachbegleitern betreut, die im jeweiligen Themenfeld wissenschaftlich qualifiziert sind.

Zentrale Instrumente zur Sicherung der Einhaltung der anerkannten Standards der Forschung sind die Veröffentlichung der Ergebnisse in referierten Fachzeitschriften (bevorzugt als Open Access), die Präsentation der Ergebnisse auf Fachkonferenzen und die Diskussion der Ergebnisse in nationalen und internationalen Fachgremien. Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Forschungsvorhaben werden ausgewertet, verständlich und barrierefrei aufbereitet und im Sinne größtmöglicher Transparenz der allgemeinen Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Bei eigenen Forschungsvorhaben wird ein BASE-internes Review-Verfahren umgesetzt und Planungen, Methoden sowie Ergebnisse werden zur Diskussion gestellt. Die Ergebnisse von Forschungsvorhaben, insbesondere bei hoher Relevanz, werden in Kolloquien diskutiert. Damit die Erkenntnisse auch langfristig verfügbar und bei Bedarf überprüfbar bleiben, sollen die eingesetzten Methoden sowie die ermittelten Ergebnisse nach festgelegten Verfahren dokumentiert werden.



1.6 Aufbau der Forschungsagenda

Die Planung der Forschung wird – für die über den Ressortforschungsplan finanzierten und für die BASE-eigenen Forschungsvorhaben – jährlich konkretisiert. In die hausinterne Abstimmung sind neben der Amtsleitung die Abteilungsleitungen als höchste fachliche Leitungsebene des BASE eingebunden.

Der Transfer der Ergebnisse in die Aufgabenwahrnehmung und die Überführung in ggf. neue Forschungsprojekte bildet eine Herausforderung zur Gewährleistung einer langfristig effektiven und effizienten Forschung. Nur eine Kombination verschiedener Instrumente kann hier zu einem qualitätsgesicherten und langfristig sinnvollen Vorgehen führen. Unter anderem setzt das BASE daher die folgenden Abläufe und Maßnahmen ein:

- Die Auswertung von Forschungsvorhaben umfasst eine abschließende fachliche Bewertung.
- Durch einen hausweiten fachlichen Austausch wird das „Mehraugenprinzip“ gewährleistet.
- Durch die systematische Beteiligung an nationalen und internationalen Gremien und Arbeitsgruppen wird der Anschluss an die internationalen Entwicklungen in den jeweiligen Gebieten gewährleistet und die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse vorangetrieben.
- Regelmäßige Evaluationen dienen der kontinuierlichen Verbesserung des wissenschaftlichen Ansatzes.

Die BASE-Forschungsagenda beschreibt die wesentlichen Forschungsfragen für den Zeitraum bis 2023 und ist damit ein zentrales Instrument der Forschungsplanung und Wegweiser für die Forschungsaktivitäten des BASE. Als ein Element der modernen Ressortforschung dient die Forschungsagenda der Umsetzung der Ziele der BASE-Forschungsstrategie. In Anlehnung an das „Konzept einer modernen Ressortforschung“ der Bundesregierung (BMBF 2007) wird die Forschungsagenda alle zwei Jahre aktualisiert und fortgeschrieben.

Die Forschungsagenda benennt und beschreibt insbesondere die Forschungsthemen und -fragen, die für die Erfüllung der Aufgaben des BASE mit Blick auf einen Zeitraum von vier Jahren relevant sind. Darüber hinaus werden auch Themenfelder betrachtet, die langfristig vorausschauende Vorarbeiten voraussetzen, um auf zukünftige Bedarfe reagieren und rechtzeitig an absehbaren Entwicklungen teilhaben zu können. Diese sogenannte Vorlaufforschung betrachtet Zeithorizonte von fünf oder mehr Jahren. Die Forschungsagenda spannt jedoch gleichzeitig den thematischen Rahmen auf, in dem sich die Forschung des BASE in den kommenden Jahren bewegen wird, und bietet damit zusätzlich einen weitreichenden Überblick zu Forschungsthemen in der nuklearen Entsorgung. Eine detaillierte Darstellung des Standes von W&T in den einzelnen Forschungsthemen und -fragen ist nicht Ziel der Agenda, sondern wird im Rahmen der Aufstellung des jährlichen Forschungsplans berücksichtigt.

Die Formulierung und Veröffentlichung der Forschungsagenda soll die Transparenz der BASE-Forschung erhöhen und die kontinuierliche Auseinandersetzung innerhalb der Forschungsgemeinschaft, aber auch mit der Öffentlichkeit fördern. Kapitel 2 beschreibt deshalb zunächst, wie das BASE konkrete Forschungsvorhaben auf Basis der Forschungsagenda entwickelt und priorisiert. Die Kapitel 3 bis 5 benennen eine thematische Auswahl an Forschungsthemen auf den technisch-naturwissenschaftlichen und soziotechnischen Gebieten der Reaktorsicherheit (Kapitel 3), der Zwischenlagerung und Transporte (Kapitel 4) sowie der Endlagersicherheit und des Standortauswahlverfahrens (Kapitel 5). In Kapitel 6 werden die Öffentlichkeitsbeteiligung sowie weitere sozialwissenschaftliche und soziotechnische Fragestellungen, die für mehrere der Handlungsfelder des BASE von Relevanz sind, behandelt. Diese bilden Brücken zwischen vorherigen Kapiteln dieser Agenda bzw. den Fachabteilungen des BASE.

03. Mai 2019

Veröffentlichung der Dokumentation des Beteiligungsverfahrens und deren Einordnung aus Online-Konsultation und Experten-Workshop

Herbst 2019

Veröffentlichung der finalisierten Forschungsstrategie und -agenda

2. Priorisierung von Forschungs- vorhaben

2.1

Aufstellung des BASE-
Forschungsplans

2.2

Ausführung des BASE-
Forschungsplans

2.1 Aufstellung des BASE- Forschungsplans

Die BASE-Forschungsagenda ist das Bindeglied zwischen den übergeordneten Zielen und Forschungsfeldern der BASE-Forschungsstrategie und dem jährlich zu erstellenden BASE-Forschungsplan. In diesem werden einzelne Forschungsvorhaben konkret definiert.

Im Rahmen der Aufstellung des Forschungsplans wird der Forschungsbedarf diskutiert, welcher sich im Zuge der Aufgabenerfüllung ergibt. Dabei wird der Stand von Wissenschaft und Technik (W&T) kontinuierlich reflektiert. Die Darstellung des Standes von W&T ist zudem ein zentraler Baustein der BASE-Forschungsvorhaben. Durch dessen Bearbeitung wird einerseits der Kompetenzerhalt beim BASE und bei Auftragnehmerinnen und Auftragnehmern zielgerichtet gefördert. Andererseits ergeben sich durch die externe Reflexion und Darstellung möglicherweise weitere Aspekte, die das BASE bei seiner Aufgabenerfüllung berücksichtigen muss. In diesem Kontext wird auch auf die Arbeiten anderer Forschungsorganisationen verwiesen.

Die Forschungsvorhaben werden einerseits aus dem Ressortforschungsplan des BMU und andererseits aus dem eigenen Forschungshaushaltstitel des BASE finanziert. Perspektivisch können Forschungsprojekte mit Drittmittel-Finanzierung, beispielsweise durch eine Förderung der Europäischen Union (EU), hinzukommen.

Die Forschungsagenda definiert für das BASE den thematischen Rahmen und, zusammen mit der Forschungsstrategie, die Grundlage für die Auswahl und Priorisierung der zu initiiierenden Forschungsvorhaben.

Vor der formalen und inhaltlichen Umsetzung der Forschungsvorhaben findet im Rahmen der Aufstellung des BASE-Forschungsplans eine Auswahl und Priorisierung der Forschungsvorhaben statt. Entsprechend seiner rechtlichen Grundlagen und den übergeordneten Zielen seiner Forschungsstrategie beurteilt und priorisiert das BASE die potentiellen Forschungsvorhaben vor allem nach folgenden Kriterien:

Relevanz für die Amtsaufgaben

Für das BASE ist der angestrebte Nutzen der Forschungsvorhaben für anstehende bzw. laufende Amtsaufgaben des BASE von zentraler Bedeutung. Beispiele dafür sind zum einen neue, notwendige Erkenntnisse für konkrete Entscheidungen und die Erstellung von Richtlinien des BASE und zum anderen die Entwicklung bzw. Verbesserung von Hilfsmitteln, wie Simulationsprogrammen oder Untersuchungs- und Bewertungsmethoden, die vom BASE genutzt werden. Daneben ist die Identifikation neuer, bisher unberücksichtigter Themen, die inhaltliche oder zeitliche Risiken für die Erfüllung der Amtsaufgaben darstellen können, ein weiteres Kriterium für die Beurteilung von Forschungsvorhaben. In diesem Zusammenhang ist die Beurteilung des aktuellen Standes von W&T bzw. des technologischen Reifegrades einzelner Methoden und Techniken bedeutsam. Diese Beurteilung liefert Hinweise auf benötigte Zeithorizonte für einzelne Forschungsfelder und damit die zeitliche Dringlichkeit einzelner Forschungsvorhaben. Für die Priorisierung der Forschungsvorhaben ist neben der inhaltlichen auch die zeitliche Relevanz ein zentrales Kriterium.

Wissenschaftlicher Anspruch und Innovationspotential

Neben dem zentralen Kriterium der Relevanz spielt der wissenschaftliche Anspruch der Forschungsvorhaben und ihr Innovationspotential eine wichtige Rolle. Hierzu zählt unter anderem, ob Forschungsvorhaben signifikant zur Weiterentwicklung des Standes von W&T beitragen, etablierte wissenschaftliche Konzepte und Modelle kritisch hinterfragen, überprüfen und gegebenenfalls weiterentwickeln sowie neue innovative Lösungsansätze entwickeln können. Im Hinblick auf das Innovationspotential sind auch interdisziplinäre, soziotechnische und gegebenenfalls transdisziplinäre Ansätze von Bedeutung.

Kompetenzerhalt und Kompetenzerweiterung

Es ist Ziel des BASE, nachhaltige Strukturen in der Forschungslandschaft zu unterstützen und ausreichend personelle und strukturelle Kapazitäten zur Lösung zukünftiger Forschungsfragen zu sichern. Weitere Kriterien für die Priorisierung von Forschungsvorhaben sind deshalb zum einen die mit ihnen verbundenen Möglichkeiten zur Ausbildung des fachlichen und wissenschaftlichen Nachwuchses, insbesondere mittels Diplom-/ Master- und Doktorarbeiten. Zum anderen spielt das Potential der Forschungsvorhaben eine Rolle, zu Kompetenzerhalt und -erweiterung innerhalb des BASE beizutragen. Bei ansonsten gleichwertigen Vorhaben zieht das BASE diejenigen vor, welche die Erstellung von akademischen Abschlussarbeiten ermöglichen und neue oder ergänzende Kompetenzen am BASE aufbauen.

Auswirkungen auf die zukünftige Gewinnung von Expertinnen und Experten

Für die Wahrnehmung und Erfüllung seiner Amtsaufgaben wird das BASE auch auf unabhängige, externe Expertinnen und Experten, z. B. für gutachterliche Tätigkeiten, zurückgreifen müssen. Um Interessenkonflikte zu vermeiden, dürfen Expertinnen und Experten weder in Bereichen von Organisationen tätig sein, welche der Aufsicht oder Genehmigung des BASE unterstehen, noch dürfen sie gutachterlich für diese Organisationen tätig sein. Aus diesem Grund sind Wettbewerb, Unabhängigkeit und insbesondere Diversität in der Forschung zur Sicherung einer breiten Expertise strategische Ziele des BASE. Das BASE beurteilt deswegen Forschungsvorhaben auch nach ihrem Potential, ob mögliche Auftragnehmerinnen und Auftragnehmer und/oder Projektpartnerinnen und Projektpartner zukünftig z. B. als unabhängige Gutachterinnen und Gutachter und Sachverständige für das BASE gewonnen werden können.

Förderung der internationalen Vernetzung des BASE

Die internationale Vernetzung, insbesondere mit anderen Regulierungsbehörden und der internationalen Wissenschaftsgemeinschaft, ist neben der Einbindung in die nationalen Gremien und Netzwerke ein strategisches Ziel des BASE. Forschungsvorhaben werden deswegen auch dahingehend geprüft und priorisiert, ob und wie sie die internationale Vernetzung fördern. Prioritär sieht das BASE solche Projekte, die aufgrund der Beteiligung von Organisationen aus verschiedenen Ländern Resultate erwarten lassen, die ohne internationale Vernetzung nicht oder nur in begrenzterem Umfang erzielt werden könnten. Beispiele dafür sind Vergleichsrechnungen verschiedener Gruppen (sogenannte Benchmarks) von Forschungseinrichtungen bzw. Aufsichtsbehörden oder die systematische Ermittlung und Analyse von seltenen Schäden und Ereignissen in kerntechnischen Anlagen. Für Forschungsprojekte zum Standortauswahlverfahren ist hier z. B. die Erschließung der internationalen Expertise insbesondere in den Wirtsgesteinen Tongestein und Kristallingestein zentral, die in Deutschland im Vergleich zum Wirtsgestein Salz bisher weniger umfangreich erforscht wurden.

Abgrenzung von den Aufgaben anderer Akteurinnen und Akteure

Sowohl im Bereich der kerntechnischen Sicherheit, der nuklearen Ver- und Entsorgung, der Beförderung und Aufbewahrung radioaktiver Stoffe als auch im Standortauswahlverfahren gibt es neben dem BASE weitere Akteurinnen und Akteure mit jeweils eigenen Aufgaben und Rollen. In diesem Zusammenhang ist Doppelforschung zu vermeiden. Redundante Forschung zur Überprüfung und/oder Qualitäts- und Erkenntnissicherung ist jedoch stellenweise erforderlich. Bei der Aufstellung, Auswahl und Priorisierung der BASE-Forschungsvorhaben ist deshalb die Komplementarität zu Forschungsfragen und -aufgaben der anderen Akteurinnen und Akteure ein Kriterium. In internationalen Vorhaben, in denen auch Betreiberinnen und Betreiber oder Herstellerinnen und Hersteller von kerntechnischen Anlagen bzw. Vorhabenträgerinnen und -träger für eine Standortauswahl vertreten sind, setzt sich das BASE für das Primat der Sicherheitsaspekte respektive für die Unterstützung der Aufsichtstätigkeit ein.

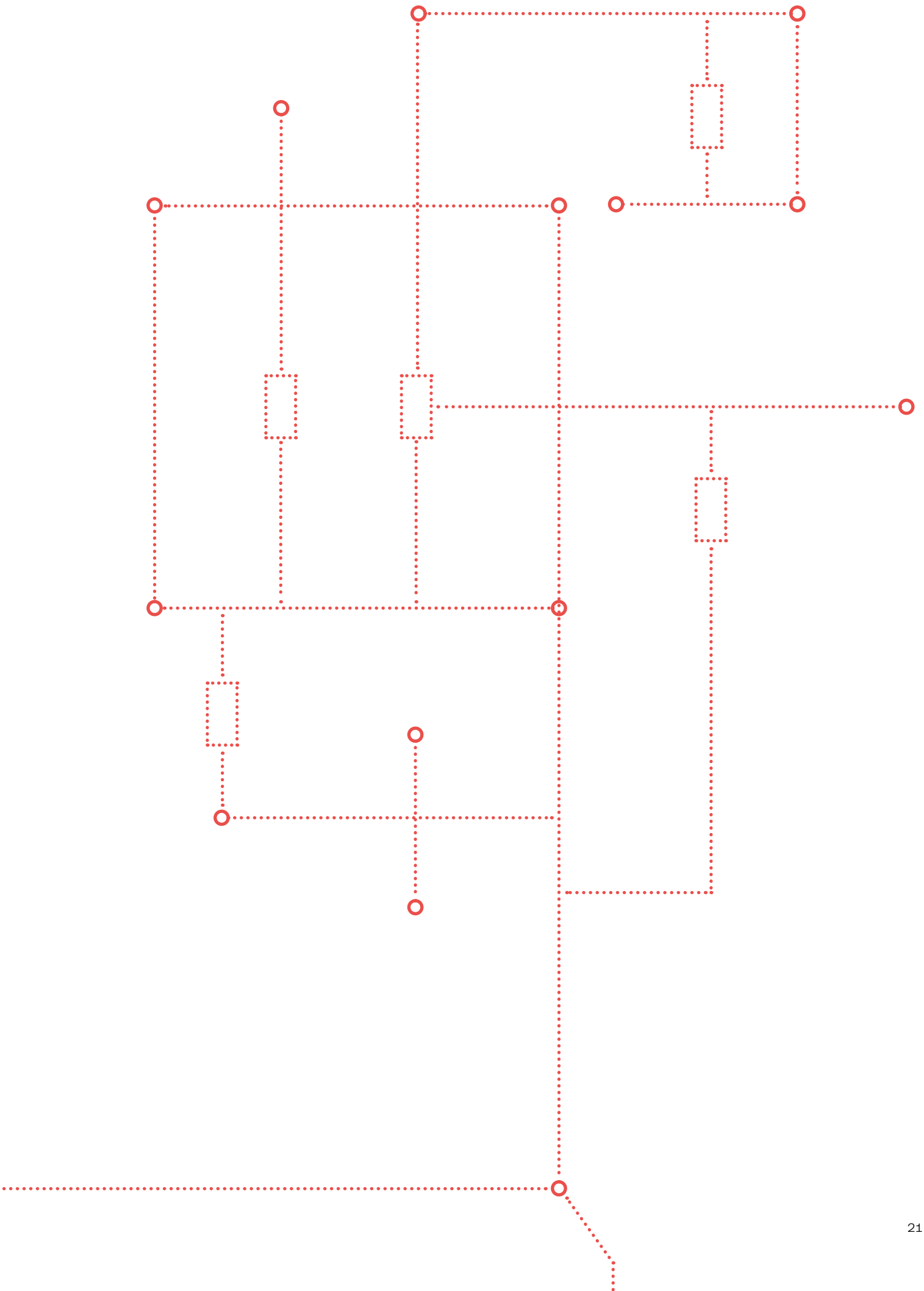
2.2 Ausführung des BASE-Forschungsplans

Je nach Art der Forschungsvorhaben (Auftragsforschung nach Vergabe im Wettbewerb, Einzelabrufe aus Rahmenvereinbarung, Projektförderung im Rahmen von Zuwendungen, Drittmittelprojekte, BASE-eigene Forschungsaktivitäten) greifen bei der Aufstellung des BASE-Forschungsplans verschiedene Priorisierungskriterien. Diese Kriterien werden – in jeweils angepasster Form – auch bei Projektierung und Umsetzung der Forschungsvorhaben angewendet. Die Vergabe von Forschungsvorhaben unterliegt klaren rechtlichen Regelungen und Bedingungen.

Innerhalb dieses Rahmens beurteilt das BASE vor allem die zu erwartende Qualität der Arbeiten und Ergebnisse. Diese werden anhand der beschriebenen Vorgehensweise zur Bearbeitung der Forschungsfragen sowie weiterer Leistungsmerkmale, wie Qualifikation der beteiligten Personen, Publikationen, Vorerfahrungen im jeweiligen Forschungsfeld, beurteilt. Die fachlich-wissenschaftlichen Aspekte von Projekten, die im Rahmen von Ideenwettbewerben gefördert werden könnten, werden anhand des vorliegenden sowie des zu erreichenden Standes von W&T beurteilt.

In die Bewertung wird mit einbezogen, ob ein Vorhaben bereits bestehende oder etablierte Methoden einsetzt oder neue und gegebenenfalls innovative Ansätze verfolgt. In diesem Zusammenhang zählt auch, welche wissenschaftliche Anschlussfähigkeit ein Vorhaben in Bezug auf mögliche relevante Forschung des BASE hat. Diesbezüglich wird auch evaluiert, wie die Forschungsergebnisse in benachbarte Forschungsfelder ausstrahlen werden und ob ein Vorhaben interdisziplinäre Betrachtungen anstrebt bzw. die Ergebnisse interdisziplinär zu verwerten plant. Zugleich ist die ungewollte Überschneidung mit laufenden oder bereits durchgeführten Projekten zu vermeiden.

Ein weiteres Kriterium ist die Beurteilung einer gegebenenfalls erfolgten oder sogar geforderten projektbezogenen Risikobetrachtung, insbesondere wenn bei vergleichbaren früheren Projekten bereits Schwierigkeiten aufgetreten sind. Die Risikobetrachtung sollte sowohl fachlich-inhaltliche als auch organisatorische Projektrisiken abdecken. Projektrisiken sind z. B. Schwierigkeiten beim länderübergreifenden Transport von radioaktiven Proben, Untersagung projektnotwendiger Genehmigungen, Probleme beim Zugang zu benötigten Infrastrukturen oder Probleme bei der Personalgewinnung. Die Angebote müssen nachvollziehbar aufzeigen, wie sie derartige Probleme vermeiden bzw. nötigenfalls lösen. Hierzu zählt auch, dass die Bieterinnen und Bieter beispielsweise ein Qualitätsmanagementsystem nachweisen. Bei allen Ausschreibungen stellt das BASE zudem sicher, dass auf Seiten der Anbieterinnen und Anbieter keine Interessenkonflikte vorliegen. Hierzu zählen insbesondere laufende Forschungsvorhaben der Anbieterinnen und Anbieter in vergleichbaren oder benachbarten Themenfeldern für die die Vorhabenträgerin BGE bzw. für Organisationen, welche der Aufsicht oder Genehmigung des BASE unterstehen. Daneben können aber auch Interessenkonflikte bestehen, wenn die Anbieterinnen und Anbieter Teile oder Systeme von kerntechnischen Anlagen, End- und Zwischenlagern sowie Sicherheitsnachweisen projektiert, gebaut oder begutachtet haben, die ganz oder teilweise Gegenstand der Forschungsvorhaben sind.



heit

3.1
Forschungsrahmen im Bereich
der Reaktorsicherheit und
thematische Auswahl der
Forschungsthemen

3.2
Sicherheitsanalyse

3.3
Übergreifende Einwirkungen

3.4
Werkstoffkonzepte,
Komponentenintegrität und
Alterungsmanagement

3.5
Elektro- und Leittechnik

3.6
Sicherheit von
Forschungsreaktoren

3.7
Sicherheit weiterer Anlagen zur
nuklearen Ver- und Entsorgung

3.8
Stilllegung kerntechnischer
Anlagen

3.9
Internationale Zusammenarbeit
auf dem Gebiet der
kerntechnischen Sicherheit

3.1 Forschungsrahmen im Bereich der Reaktorsicherheit und thematische Auswahl der Forschungsthemen

Das AtG (§ 7 (2) Nr. 2) verpflichtet Genehmigungsinhaberinnen und Genehmigungsinhaber von Kernkraftwerken (KKW), „die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage“ zu treffen.

Die Verfolgung des Standes von W&T ist dadurch ebenfalls Aufgabe der entsprechenden Aufsichts- und Genehmigungsbehörden sowie im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit insbesondere auch Aufgabe der im BMU angesiedelten Bundesaufsicht.

Die dem BMU obliegende Bundesaufsicht greift u. a. bei wissenschaftlich-technischen Fragestellungen auf dem Gebiet der kerntechnischen Sicherheit und nuklearen Sicherung auf die Expertise des BASE zurück (vgl. § 2 (2) BfKEG), um

- das entsprechende Regelwerk auf dem aktuellen Stand von W&T zu halten,
- dessen sachgerechte Anwendung prüfen zu können und
- die deutschen Interessen gegenüber dem Ausland wahrnehmen zu können.

Das BASE ist somit auf dem Gebiet der Reaktorsicherheit in das aufsichtliche System u. a. durch die Mitwirkung an der Erarbeitung von bundeseinheitlichen Regeln, bundesaufsichtlichen Stellungnahmen und der Weiterentwicklung des untergesetzlichen, kerntechnischen Regelwerks in vielfältiger Weise eingebunden. Hierzu sind die Verfolgung des Standes von W&T und der Kompetenzerhalt auf dem Gebiet der Reaktorsicherheit wichtige Aspekte der Aufgabenwahrnehmung des BASE.

Zur Sicherstellung dieser Aufgabe engagiert sich das BASE maßgeblich in der Forschung zur Reaktorsicherheit und arbeitet in verschiedenen nationalen und internationalen regelgebenden Gremien sowie wissenschaftlichen Netzwerken mit. Um den Stand von W&T zu verfolgen und die Kompetenz auch über den Ausstieg aus der Kernenergienutzung hinaus zu erhalten, behält der Bereich Reaktorsicherheit weiterhin Relevanz für die Ressortforschung. Sie stellt einen zentralen

Baustein der Bewertungskompetenz der Sicherheit kerntechnischer Anlagen im Ausland und der kompetenten Mitarbeit bei internationalen Überprüfungsprozessen dar. Ihre Inhalte und Methoden sind jedoch ausschließlich an den Bedarfen von Sicherheitsbewertungen auszurichten. Aspekte der Technologieförderung spielen hierbei keine Rolle. Die Forschung des BASE im Bereich der Reaktorsicherheit wird durch den BMU-Ressortforschungsplan abgedeckt. Das BMU veröffentlicht jährlich seinen mittelfristigen Forschungsbedarf und schreibt die Umsetzungsstrategie seiner Ressortforschungsinteressen fort. Der im Ressortforschungsplan 2018 (BMU 2018) beschriebene Forschungsrahmen weist einzelne Forschungsfelder aus allen relevanten Bereichen der Umweltpolitik aus.

Im Bereich Reaktorsicherheit unterscheidet der Forschungsrahmen die Forschungsfelder:

- Sicherheit in der Kerntechnik (inklusive Stilllegung kerntechnischer Anlagen),
- Sicherheit der nuklearen Ver- und Entsorgung sowie
- Strahlenschutz.

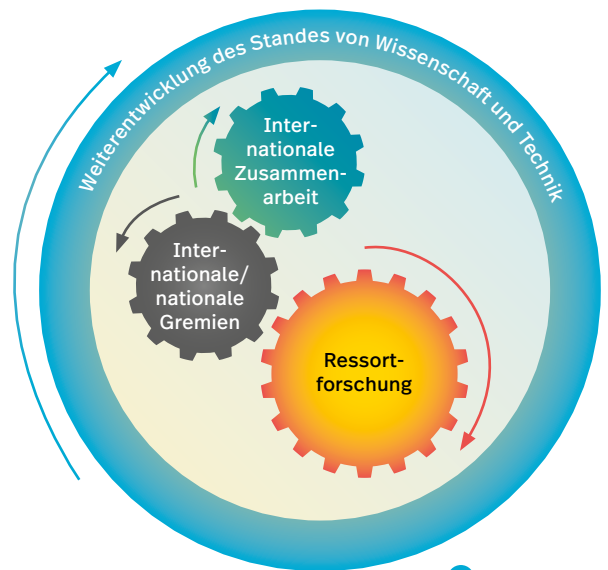


Abbildung 2: Rolle der Ressortforschung zur Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik

Themenfeld	Einzelthemen (stichwortartig)
Reaktorkern, Brennstoffe und Kernmaterialien	Reaktorkern, Brennelementverhalten, Rechenmodelle zur Kernsimulation
Werkstoffe und Alterung	Alterungsprozesse von Werkstoffen, zerstörungsfreie Prüfmethode, Alterungsmanagement, Analyse von Schäden an Komponenten, beispielsweise an passiven metallischen Komponenten, Komponentenintegrität unter Störfallbedingungen
Interne übergreifende Einwirkungen	Gemeinsam verursachte Ausfälle, Brandereignisse und Brandschutzkonzepte, anlageninterne Überflutung
Einwirkungen von außen	Auslegung gegenüber naturbedingten und zivilisatorischen externen Einwirkungen wie z. B. Erdbeben, Hochwasser, Flugzeugabstürzen und Explosionen
Anlagen- und Systemverhalten, Unfallabläufe, Sicherheitsanalyse	Analyse des Anlagen- und Systemverhaltens vom Normalbetrieb bis hin zu Unfällen mit Kernschaden durch Computermodelle, Unfallablaufrechnungen, Barrierenwirksamkeit, Ermittlung von Quelltermen, Methoden zur quantitativen Ermittlung des Anlagenrisikos in probabilistischen Sicherheitsanalysen, Bewertung der Wirksamkeit des anlageninternen Notfallschutzes
Elektrische Einrichtungen und Leittechnik	Auslegung und Sicherheit der elektrischen Eigenbedarfsanlage, Leittechnik des Sicherheitssystems, softwarebasierte Leittechnik, IT-Sicherheit
Stilllegung	Stilllegungskonzepte, Gewährleistung der Sicherheit in der Nachbetriebs- und Stilllegungsphase, radiologische Charakterisierung von Abfällen, Freigabe, Abfallmengenprognose
Mensch-Technik-Organisation (MTO)	Sicherheitsmanagement und Sicherheitskultur, Einfluss menschlicher Faktoren, Reduktion der Unsicherheit bei probabilistischen Sicherheitsanalysen im Bereich Personalhandlungen, Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen

Tabelle 1:
Kurzbeschreibung der Forschungsthemenfelder
im Bereich der Kernkraftwerke, Forschungsreaktoren
und Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung

Für die Forschungsfelder „Sicherheit in der Kerntechnik (inklusive Stilllegung kerntechnischer Anlagen)“ und „Sicherheit der nuklearen Ver- und Entsorgung“ ist das BASE in dem ihm gesetzlich zugewiesenen Rahmen zuständig, wohingegen für das Forschungsfeld „Strahlenschutz“ das Bundesamt für Strahlenschutz federführend zuständig ist.

Die nachfolgenden Abschnitte in Kapitel 3 beschreiben die Forschungsthemen, die aus Sicht des BASE im Bereich der Reaktorsicherheit relevant sind. Darunter sind auch Forschungsthemen, welche vorwiegend zur Sicherstellung des Kompetenzerhalts Dritter dienen. Sie sind fester Bestandteil des Ressortforschungsbedarfs des BMU auf diesem Gebiet.

Thematische Auswahl auf dem Gebiet der Reaktorsicherheit

Forschung im Bereich der Reaktorsicherheit muss grundsätzlich ein sehr breites Spektrum von Themen abdecken. Die Themen stehen durch zahlreiche vernetzte Prozesse in einem sehr engen Zusammenhang und werden sowohl in der nationalen Gremienarbeit, der internationalen Zusammenarbeit als auch in internationalen Gremien bearbeitet. Die Abbildung 2 illustriert die zentrale Rolle der Ressortforschung. Die Tabelle 1 gibt einen allgemeinen und zusammenfassenden Überblick über die Themenfelder im Bereich der Reaktorsicherheit.

3.2 Sicherheitsanalyse

Die Themenfelder beschäftigen sich mit Fragen zu Brennstoffen und Materialien, Alterungsprozessen von Werkstoffen, internen und externen übergreifenden Ereignissen, dem Anlagen- und Systemverhalten sowie mit Unfallabläufen und reichen bis hin zu übergeordneten Themen wie dem Einfluss von menschlichen, technischen und organisatorischen Faktoren (MTO) auf die Sicherheit.

Hinzu kommen Fragestellungen aus den Bereichen anlageninterner Notfallschutz, Stilllegung sowie der nuklearen Ver- und Entsorgung. Aus Sicht des BASE liegen die Schwerpunkte der nächsten Jahre in den Themenfeldern Elektro- und Leittechnik, hier insbesondere in den Gebieten der IT-Sicherheit von Kernkraftwerken, der Stilllegung, der Regelwerksentwicklung für Forschungsreaktoren und im gesamten Bereich MTO.

Die Priorität einzelner Themen ergibt sich damit aus dem aktuellen Bedarf aus der nationalen und internationalen Zusammenarbeit sowie des Kompetenzerhaltes.

Das Querschnittsthema MTO wird im Kapitel 6 adressiert. Der in Kapitel 3 beschriebene Forschungsbedarf konzentriert sich auf Sicherheitsfragen bezüglich Kernkraftwerken, Forschungsreaktoren und Einrichtungen zur nuklearen Ver- und Entsorgung in Deutschland, unabhängig davon, ob sie sich im Betrieb oder in Stilllegung befinden. Darüber hinaus behandelt Kapitel 3 Forschungsfragen, die sich aus der internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiet Reaktorsicherheit ergeben.

Die Sicherheit unterschiedlichster kerntechnischer Anlagen hängt vom zuverlässigen Funktionieren technischer Einrichtungen ab. Dies sind z. B. Sicherheitssysteme im Kernkraftwerk, die im Anforderungsfall in die verfahrenstechnischen Prozesse eingreifen und deren Parameter innerhalb zulässiger Bereiche regeln. Insofern hat das zuverlässige Funktionieren derartiger Einrichtungen einen direkten Einfluss auf die Sicherheit der Anlage. Im Rahmen der Bewertung der Sicherheit von kerntechnischen Anlagen, insbesondere von Anlagenkonzepten im Ausland, sind daher regelmäßig Überlegungen zur technischen Zuverlässigkeit anzustellen. Darüber hinaus sind Methoden der Zuverlässigkeitsbewertung Gegenstand und Grundlage vieler sowohl branchenspezifischer als auch generischer technischer Normen und Richtlinien (z. B. DIN-IEC-Standards) zur Qualifizierung von Komponenten in kerntechnischen Anlagen. Ein Verständnis für solche Qualifizierungsgrundsätze auch aus anderen Industriedomänen ist daher notwendig, wenn z. B. der Einsatz nach entsprechenden Regelwerken qualifizierter Komponenten bewertet werden soll. Ebenso ist der aktuelle Stand von W&T für die Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerks relevant.

Zur Bewertung der Zuverlässigkeit technischer Einrichtungen kommt eine Vielzahl von Methoden zum Einsatz. Diese können anhand verschiedener Gesichtspunkte kategorisiert werden, z. B. deterministische und probabilistische Methoden oder qualitative, semiquantitative und quantitative Methoden. Die letztgenannten verfolgen das Ziel, insbesondere Zuverlässigkeitsaussagen zahlenmäßig (in den meisten Fällen auf probabilistischer Basis) zu beschreiben. Dies betrifft sowohl Hardware als auch Software.

Hinsichtlich der probabilistischen Methoden besteht ein enger Bezug zur Methodik, die bei der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) für Kernkraftwerke zur Anwendung kommt. Weiter sind statistische Methoden zur Gewinnung von Zuverlässigkeitsdaten aus der Betriebserfahrung sowie Methoden zur Unsicherheitsbewertung und -quantifizierung, besonders bei quantitativen Ansätzen der Zuverlässigkeitsbewertung, Teil dieses Arbeitsfelds. Darüber hinaus finden die genannten Methoden in zahlreichen Forschungsvorhaben, die das BASE vergibt, als „Werkzeug“ vielfältige Anwendung.

3.3 Übergreifende Einwirkungen

Zivilisatorische und naturbedingte Einwirkungen von außen

Unter Einwirkungen von außen (EVA) werden die externen Ereignisse aus der Umgebung der kerntechnischen Anlage verstanden, die das Potential für einen redundanzübergreifenden Ausfall von (Sicherheits-)Einrichtungen besitzen. Hierzu zählen u. a. extreme Wettersituationen, Erdbeben, Hochwasser und externe Überflutung, biologische Phänomene, Explosionsdruckwellen sowie Flugzeugabsturz. Hierbei unterscheidet man gemäß ihrem Ursprung zwischen naturbedingten und zivilisatorischen EVA. Um die nukleare Sicherheit zu gewährleisten, müssen Kernkraftwerke aufgrund der Anforderungen verschiedener Regelwerke gegen standortrelevante Einwirkungen von außen ausgelegt sein.

Sicherheitsfragen im Rahmen von zivilisatorischen und naturbedingten Einwirkungen von außen ergeben sich aus dem laufenden Betrieb (bis 2022) und der Nachbetriebs- und Stilllegungsphase der deutschen Kernkraftwerke. Abweichungen von vorhandenen Auslegungsmerkmalen müssen auf der Grundlage des aktuellen Regelwerks untersucht und bewertet werden. Dies betrifft u. a. die Kombination mehrerer zu unterstellender Ereignisse, die laut den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf 2015) in Betracht zu ziehen sind.

Die auf diesem Gebiet durchgeführten Forschungsarbeiten haben das Ziel, den internationalen Stand von W&T hinsichtlich naturbedingter und zivilisatorischer Einwirkungen von außen weiter zu verfolgen und Erkenntnisse darüber zu liefern, ob auch in Zukunft ein hinreichender Schutz gegen EVA gewährleistet ist. Hieraus sollen Handlungsempfehlungen entwickelt werden, die gewährleisten, dass mögliche Risiken frühzeitig erkannt und Vorsorgemaßnahmen abgeleitet werden können. Ebenso fließen die Untersuchungsergebnisse in die Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerks und in die internationale Zusammenarbeit ein.

Die Identifizierung und Bewertung von Unsicherheiten bei der Durchführung einer PSA bilden den derzeitigen Schwerpunkt der Fragestellungen in diesem Themenfeld. Beispielsweise ist die Frage zu klären, wie Unsicherheiten bei der realistischen Bewertung der Standortgefährdung systematisch berücksichtigt werden können. Dazu ist es wichtig, das gesamte standortspezifische Spektrum übergreifender Einwirkungen von außen zu erfassen und zu bewerten. Ggf. müssen auch die Gefährdungsanalysen bei kombinierten naturbedingten Einwirkungen neu bewertet werden. Eine Neubewertung muss auch dann vorgenommen werden, wenn sich die Anlage im Nichtleistungsbetrieb bzw. in der Stilllegungsphase befindet.

Auswertung der internationalen Betriebs- erfahrung auf dem Gebiet des Brandschutzes und der gemeinsam verursachten Ausfälle

Ereignisse mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) können die Verfügbarkeit von Sicherheitssystemen in Kernkraftwerken signifikant beeinträchtigen. Gemeinsam verursachte Ausfälle sind Ereignisse, bei denen mehrere gleichartige Komponenten in verschiedenen, parallel vorhandenen Teilsträngen von Sicherheitssystemen im Anforderungsfall auf Grund der gleichen Ursache gleichzeitig oder nacheinander ausfallen können. Die Auswertung probabilistischer Sicherheitsanalysen (PSA) zeigt, dass die Schadenshäufigkeiten in den PSA-Ergebnissen von GVA-Ereignissen dominiert werden. Dies gilt insbesondere für Sicherheitssysteme mit einem hohen Redundanzgrad. Zwar ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Einzelfehlers im Allgemeinen höher als die für das Auftreten eines GVA, dafür sind die Auswirkungen von GVA aber weitreichender, da mehrere Teilstränge gleichzeitig ausfallen.

Deshalb werden Informationen und Daten auf der Basis der Betriebserfahrung zu GVA-Ereignissen in einer Reihe von Ländern (u. a. in Deutschland) systematisch gesammelt, in einem OECD-Projekt nach einheitlichen Kriterien in einer Datenbank dokumentiert und mit Hilfe verschiedener Modelle analysiert. Im Rahmen des internationalen GVA-Datenaustauschprojekts arbeiten Expertinnen und Experten zusammen, um gezielt die bewertungsrelevanten Informationen zu GVA in einer Datenbank zu erfassen und auszutauschen.

Das Themengebiet GVA leistet einen substantiellen Beitrag zur Verfolgung des nationalen und internationalen Standes von W&T auf dem Gebiet der GVA-Phänomene sowie von probabilistischen Sicherheitsanalysen.

Auch für den Brandschutz in Kernkraftwerken existiert ein OECD-Projekt, in dem die Betriebserfahrung von Brandereignissen systematisch erfasst und ausgewertet wird. Die bisher durchgeführten (periodischen) Sicherheitsüberprüfungen (SÜ) haben die sicherheitstechnische Relevanz des Brandschutzes in Kernkraftwerken belegt. Vor diesem Hintergrund sind Daten zur Ermittlung einer möglichst realistischen Brandeintrittshäufigkeit und auch das Vorhandensein validierter Rechenprogramme mit geeigneten Brandmodellen auf der Basis von Experimentalprogrammen zur detaillierten Beurteilung der Brandschutzkonzepte notwendig. Diese sehr komplexen Fragestellungen erfordern ein international koordiniertes Vorgehen (u. a. Benchmarks), um entsprechend belastbare Informationen zu erhalten.

Nach Auswertung der internationalen Betriebserfahrung auf dem Gebiet des Brandschutzes und der GVA lassen sich dynamische Zuverlässigkeitsmodelle dazu heranziehen, Systeme probabilistisch zu bewerten. Darüber hinaus lassen sich aber auch Modelle zur Bewertung und Quantifizierung von GVA, von wiederkehrenden Prüfungen oder zur Beschreibung der Brandausbreitung im Rahmen von probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) behandeln. Es besteht an dieser Stelle ein enger Zusammenhang zur Weiterentwicklung von GVA-Modellen, die z. B. in der Lage sind, GVA-Wahrscheinlichkeiten für aktive anlagentechnische Komponenten zu bestimmen, sowie der Nutzung von Untersuchungen zur Ermittlung von reaktortypspezifischen Brandeintrittshäufigkeiten für ausgewählte Raumbereiche bzw. Komponenten. Zur Anwendung dieser Methoden sind jedoch noch weitere praktische Hilfestellungen notwendig. Diese werden z. B. aus den künftigen Ergebnissen der OECD-Projekte abgeleitet.

Bisherige Erfahrungen aus der Mitarbeit in der OECD-Arbeitsgruppe zum Brandschutz sind in die Überarbeitung der KTA-Regeln zum Brandschutz und in die methodischen Empfehlungen des Facharbeitskreises „Probabilistische Sicherheitsanalysen für Kernkraftwerke“ (FAK 2015) eingeflossen. Außerdem wurden aufgrund der Ergebnisse der bisherigen Forschungsvorhaben auf diesem Gebiet in der KTA 2101.1 (Grundlagen des Brandschutzes) jetzt auch die deterministische Brandgefahrenanalyse und die probabilistischen Brandanalysen verankert.

Forschungsprojekte in diesem Themenfeld haben die übergeordnete Aufgabe, die Auswertung der aktuellen internationalen Betriebserfahrung hinsichtlich GVA und des Brandschutzes zu ermöglichen. Ziel ist die Überprüfung und Verifizierung statistischer Ansätze und Methoden und damit die Verringerung von Aussageunsicherheiten in den Modellen. Dabei ist zu überprüfen, inwiefern sich die Erkenntnisse der internationalen Betriebserfahrung in Bezug auf GVA und des Brandschutzes auf deutsche Anlagen, unter besonderer Berücksichtigung der Nachbetriebs- oder Stilllegungsphase, übertragen lassen. Außerdem soll die Nutzbarkeit der Datenbanken in Bezug auf die Anwendbarkeit für aufsichtliche Fragestellungen weiter verbessert werden.

3.4 Werkstoffkonzepte, Komponenten- integrität und Alterungs- management

Zur Verfolgung und Fortschreibung des Standes von W&T auf diesem Gebiet beauftragt das BASE – ergänzend zu eigenen Literaturstudien – Studien durch externe Forschungseinrichtungen, darunter zum Beispiel die Entwicklung und Anwendung von zerstörungsfreien Prüfmethoden zur Beurteilung von Schädigungsmechanismen bei druckführenden Komponenten unter definierten Störfallbedingungen. Zudem nimmt das BASE an nationalen und internationalen Fachkonferenzen teil und ist in nationalen und internationalen Gremien vertreten, darunter dem Ausschuss Druckführende Komponenten und Werkstoffe der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK DKW), dem Unterausschuss Mechanische Komponenten des Kerntechnischen Ausschusses (KTA UA-MK) sowie anderen, auch regelgebenden Gremien auf internationaler Ebene. Die Auswertung der nationalen und internationalen Betriebserfahrung bezüglich der Schädigungsmechanismen an Werkstoffen und Komponenten in KKW belegt die hohe Bedeutung eines wirksamen Alterungsmanagements in Kernkraftwerken. Unabdingbar für das BASE als zuständige Fachbehörde ist somit der langfristige Erhalt der Beratungskompetenz auf diesem Teilgebiet der kerntechnischen Sicherheit. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf mögliche Vorkommnisse im internationalen Bereich.

Fragestellungen in diesem Themenfeld sind bspw.:

- Welche Systeme und Komponenten werden in der Nachbetriebs- und Stilllegungsphase noch benötigt und welche Störfälle sind hier zu beachten?
 - Welche Prüfmöglichkeiten gibt es für die Rohrleitungen in Systemen zur Nachwärmeabfuhr?
 - Gibt es neue Erkenntnisse zu bekannten oder bisher als nicht relevant eingestuften Schadensmechanismen?
 - Sind Weiterentwicklungen des kerntechnischen Regelwerks im Ausland relevant für das deutsche kerntechnische Regelwerk?
 - Wie sind die derzeit an die Materialkennwerte von Brennelementen gestellten Anforderungen vor dem Hintergrund aktueller Forschungsergebnisse und unter Berücksichtigung der aufgetretenen Schäden und Verformungen an Brennelementen zu bewerten?
- Welche Unterschiede gibt es zwischen den nach einer Reparatur zu erbringenden Nachweisen, je nachdem, ob eine Druckprüfung durchgeführt werden kann oder nicht? Wie ist dies vor dem Hintergrund aktueller Erkenntnisse zu bewerten?
 - Welche Weiterentwicklungen gibt es bei Methoden zur Berücksichtigung des Einflusses plastischer Verformungen bei Ermüdungsanalysen?
 - Gibt es über die für den Leistungsbetrieb von KKW geübte Praxis des Alterungsmanagements hinausgehende Herausforderungen bzw. Anforderungen in der Nachbetriebs- oder Stilllegungsphase?
 - Welche Erkenntnisse zum Alterungsmanagement könnten für die Nachbetriebs- und Stilllegungsphase von KKW wichtig sein?
 - Können Fehlermechanismen identifiziert werden, die in der Nachbetriebs- und Stilllegungsphase relevant sind? Welche neuen, während des Leistungsbetriebs nicht beobachtbaren Schädigungsmechanismen können auftreten? Zeigen insbesondere auf Grund der veränderten Betriebs- und Mediumszustände in der Nachbetriebs- und Stilllegungsphase die bekannten Schädigungsmechanismen ein verändertes Zeitverhalten?

3.5 Elektro- und Leittechnik

Leittechnik des Sicherheitssystems von Kernkraftwerken

Das Wirken zahlreicher Einrichtungen des Sicherheitssystems von kerntechnischen Anlagen setzt eine kontinuierliche Überwachung verschiedenster Anlagenparameter und Prozessgrößen, die Verarbeitung der entsprechenden Messwerte und hierauf beruhend z. B. die Auslösung von Schutzaktionen voraus. Viele dieser hierzu nötigen Einrichtungen werden auch noch im Nachbetrieb und nach der Abschaltung der Kernkraftwerke 2022 in der Stilllegung benötigt, z. B. Umweltüberwachung, Brandschutz oder Erdbebensicherheit. Allgemein sind es Geräte und Systeme zum Messen, Steuern, Regeln, Überwachen, Bedienen und Anzeigen sowie zum Ansteuern von Schutzaktionen. Sie bestimmen daher wesentlich die Sicherheit der Anlage. Entsprechend ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung sind Leittechnikfunktionen daher verschiedenen Kategorien zugeordnet, für die jeweils abgestufte Auslegungsanforderungen für alle Betriebsphasen des KKW bestehen, die in verschiedenen Regelwerken definiert sind.

In unterschiedlichen Industrie- und Technologiedomänen existiert eine Vielzahl von Normen und Standards, die sich mit für die Leittechnik relevanten Aspekten beschäftigen und die einem raschen Wandel unterliegen (insbesondere in Bezug auf Software-Aspekte). Eine kontinuierliche Analyse dieser Regelwerke zur Erfassung des Standes von W&T und ein aktueller Überblick über marktübliche Technologien sind daher erforderlich. Eine Analyse der nationalen und internationalen Betriebserfahrung liefert Hinweise auf Verbesserungspotential und mögliche Schwachstellen bei der Sicherheitsbewertung, Validierung und Qualifizierungen von Systemen, Geräten und der eingesetzten Software. Darüber hinaus können Analysen und Modelle von leittechnischen Systemen und Funktionen, z. B. mithilfe von Modellen der Zuverlässigkeitstheorie, wichtige Informationen für Sicherheitsbewertungen liefern. Diese theoretischen Untersuchungen können durch Datenerhebungen aus der Betriebserfahrung oder Versuche in Testfeldern ergänzt oder untermauert werden.

Mit zunehmendem Alter der Sicherheitsleitetniksysteme und mehreren Jahren Nachbetrieb und Rückbauphase bekommen der Austausch ausgefallener Komponenten durch Redesign-Komponenten und die Umrüstungen noch benötigter, sicherheitswichtiger Leittechniksysteme eine zunehmende Bedeutung. Eine zunehmende Zahl entsprechender Anträge der Betreiberinnen und Betreiber ist zu erwarten und von Behördenseite zu bewerten. Im internationalen Umfeld werden gegenwärtig zahlreiche Modernisierungs- und Nachrüstprojekte aufgrund des Alters der verbauten Leittechnikkomponenten verfolgt. Hiervon betroffen sind in besonderem Maße softwarebasierte Einrichtungen. Das BASE beteiligt sich am internationalen Erfahrungsaustausch insbesondere bezüglich softwarebasierter Leittechnik und wirkt an der Erstellung von Standards und Empfehlungen mit.

Die Auswertung des Standes von W&T gibt Hinweise auf wichtige zukünftige Forschungsthemen und Fragestellungen in diesem Arbeitsfeld:

- Welche Fehlerarten sind in softwarebasierten Systemen denkbar, und wie wirken sie sich aus?
- Wie lassen sich Sicherheit und Zuverlässigkeit von softwarebasierten Systemen validieren und verifizieren?
- Wie sind neuere Technologien in der Leittechnik (z. B. programmierbare Logikbausteine wie Field Programmable Gate Array, FPGA) aus sicherheitstechnischer Sicht zu bewerten? Welche Bewertungsmaßstäbe und -methoden sind geeignet?
- Wie lässt sich die Zuverlässigkeit insbesondere von softwarebasierten Leittechniksystemen modellieren, und wie lassen sich die Modelle untermauern? Welche Fragestellungen können mit den Modellen bewertet werden?
- Wie entwickeln sich Anforderungen und Regelwerke in anderen Technologie- und Industriedomänen?
- Wie lassen sich IT-Sicherheit, Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit bzw. Verfügbarkeit miteinander vereinbaren?

Einrichtungen der elektrischen Eigenbedarfsversorgung von Kernkraftwerken

Kernkraftwerke sind auf eine zuverlässige Versorgung mit elektrischer Energie angewiesen, da sie über zahlreiche elektrisch betriebene, sicherheitstechnisch wichtige Systeme verfügen. Zur Verfolgung und Fortschreibung des Standes von W&T auf dem Gebiet der elektrischen Einrichtungen in KKW führt das BASE Forschungsvorhaben durch. Diese umfassen z. B. die Entwicklung und Anwendung von Simulationsverfahren zur Abbildung des Verhaltens der elektrischen Einrichtungen unter definierten Störfallbedingungen. Zudem nimmt das BASE an nationalen wie internationalen Fachkonferenzen teil und ist in nationalen wie internationalen Gremien vertreten, darunter dem Ausschuss Elektrische Einrichtungen der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK EE), dem Unterausschuss Elektro- und Leittechnik des Kerntechnischen Ausschusses (KTA UA-EL), der Working Group on Electrical Power Systems (WGELEC) der OECD/NEA und anderen, auch regelgebenden Gremien auf nationaler (KTA, BMU) wie internationaler (IAEA) Ebene. Zahlreiche Ereignisse in KKW mit teils katastrophalen Folgen hatten Ursachen im Bereich der elektrischen Energieversorgung. Dies zeigt die hohe Bedeutung einer zuverlässigen Versorgung der elektrischen Einrichtungen in Kernkraftwerken.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich aktuell folgende Fragestellungen in diesem Themenfeld:

- Auswirkungen der Energiewende in Deutschland (Ausstieg aus der Kernenergie, Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien, Netzausbau) auf die Versorgung von in Betrieb, Nachbetrieb oder Stilllegung befindlichen Kernkraftwerken und anderen auf eine zuverlässige Energieversorgung angewiesenen kerntechnischen Einrichtungen
 - Auswirkungen der sich ändernden Anforderungen des europäischen Verbundnetzes auf angebundene nationale Netze bzw. die an diese Netze angeschlossenen Kraftwerke
 - Auswertung der sich noch immer erweiternden Erkenntnisse („Lessons Learned“) aus den katastrophalen Ereignissen in Fukushima, bei denen insbesondere das Versagen der elektrischen Energieversorgung der Sicherheitseinrichtungen eine zentrale Rolle gespielt hat
- Analyse der Auswirkungen von Änderungen im nationalen wie internationalen Regelwerk (KTA, WENRA, IAEA, etc.)
 - Vielfältige, konkrete Fragestellungen zu technischen Themen wie z. B. Blitzschutz, Einfluss von Sonnenstürmen, Alterung elektrischer Einrichtungen, Aus- und Bewertung von Ereignissen

IT-Sicherheit für kerntechnische Anlagen

Gemäß AtG muss der erforderliche Schutz kerntechnischer Anlagen gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD) gewährleistet sein. Unter Beteiligung des BASE wurde dazu auch die „SEWD-Richtlinie IT“ erarbeitet, die spezifische Anforderungen an die IT-Sicherheit der Leittechnik mit sicherheitstechnischer Bedeutung definiert. Danach sind die Betreiberinnen und Betreiber von KKW verpflichtet, ein anlagenspezifisches Konzept für die IT-Sicherheit zu entwickeln. Das Konzept soll u. a. die Einstufung der Informations- und Leittechnik nach dem jeweiligen Schutzbedarf gegen zu unterstellende IT-Angriffe vorsehen. Für die Bundesaufsicht über KKW ist es erforderlich, die dazu angewendete Methodik und die Analyseergebnisse bewerten zu können.

Die Bewertung der IT-Sicherheit im Rahmen einer Risikoanalyse kann auf verschiedene Weise erfolgen. So können beispielsweise anlagenspezifische Risikoanalysen durchgeführt werden, die das vorhandene Schutzniveau betrachten, oder Verwundbarkeitsanalysen, die spezifisch begründete Näherungen beinhalten können und ihren Schwerpunkt auf technisch basierte Angriffe oder die Bewertung technischer Maßnahmen zur Behebung identifizierter Verwundbarkeiten legen. Auf internationaler Ebene sind hier bereits methodische Grundlagen entwickelt worden, so von der IAEA mit dem Dokument NSTO47 (Computer Security Techniques for Nuclear Facilities), das die Grundlagen für eine Risikoanalyse zur IT-Sicherheit in kerntechnischen Anlagen aus allgemeineren Dokumenten wie der Norm ISO/IEC 27005 ableitet. Vor diesem Hintergrund ist auf der Basis einer anerkannten Methode eine Risikoanalyse zur IT-Sicherheit in KKW auszuführen. Eine umfassende Risikoanalyse mit Darstellung des vollständigen Angriffsspektrums gemäß der Lastannahmen der IT-Richtlinie und einer detaillierten Auswertung hinsichtlich möglicher bzw. erforderlicher Gegenmaßnahmen existiert derzeit noch nicht.

3.6 Sicherheit von Forschungsreaktoren

Der aktuelle Stand von W&T zu Anforderungen an eine Risikoanalyse zur IT-Sicherheit von Leit- und Informationstechnik in kerntechnischen Anlagen muss laufend erfasst und bewertet werden. Damit werden geeignete Grundlagen für die einheitliche, bundesaufsichtliche Bewertung der Methodik und der Ergebnisse von Risikoanalysen zur IT-Sicherheit geschaffen.

Dazu ist es notwendig, sich mit folgenden Fragestellungen zu beschäftigen:

- Welche Anforderungen sind an eine vollumfängliche Risikoanalyse zur IT-Sicherheit zu stellen?
- Wie sieht ein vollständiges Angriffsspektrum gemäß den Lastannahmen der IT-Richtlinie aus?
- Welche Methoden eignen sich am besten, um in einer Risikoanalyse die Wirkungsweise sämtlicher Angriffs- und Abwehrmechanismen adäquat abzubilden?
- Auf welcher Grundlage ist zu beurteilen, ob die gemäß einer Risikoanalyse für die IT-Sicherheit vorgesehenen Gegenmaßnahmen geeignet und ausreichend sind?
- Welche Daten müssen erhoben werden, um valide Schlussfolgerungen für die IT-Sicherheit ziehen zu können?
- Wie wirken sich Unsicherheiten und Ungewissheiten einzelner Bestandteile einer Risikoanalyse auf die Aussagekraft zur IT-Sicherheit aus?

Forschungsreaktoren (FR) dienen als Neutronenquelle für Wissenschaft, Forschung und vielfältige technische, medizinische und industrielle Anwendungen sowie Zwecken der Aus- und Weiterbildung. Im Jahr 1957 wurde der Forschungsreaktor München (FRM) als erste kerntechnische Anlage in Deutschland in Betrieb genommen. Verglichen mit einem Kernkraftwerk ist die thermische Leistung eines Forschungsreaktors im Allgemeinen deutlich geringer. Kleiner ist auch die eingesetzte Menge an Kernbrennstoff und folglich die erzeugte Menge an radioaktivem Abfall. Daraus ergibt sich gegenüber einem Kernkraftwerk ein entsprechend um Größenordnungen geringeres Risikopotential. Untereinander unterscheiden sich Forschungsreaktoren erheblich. Dies betrifft nicht nur die Bauart und die thermische Leistung. Große Differenzen gibt es ebenfalls bei den verwendeten Kernbrennstoffen und den radioaktiven Inventaren sowie in den Betriebsweisen der einzelnen Anlagen und deren Standorten.

Obwohl die Forschungsreaktoren ein vergleichsweise geringeres Risikopotential haben, unterliegen sie grundsätzlich den gleichen Anforderungen an das Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren wie die Kernkraftwerke. Üblicherweise wird jedoch das für Kernkraftwerke entwickelte Regelwerk, abhängig vom Risikopotential der jeweiligen Forschungsreaktoranlage, abgestuft angewendet. Forschungsreaktoren sind von der 13. AtG-Novelle zum Ausstieg aus der Kernenergie nicht betroffen und haben somit keine gesetzliche Laufzeitbegrenzung. In den letzten Jahren wurden die regulatorischen Verpflichtungen zur Gewährleistung der Sicherheit sowie zu deren Nachweisführung erhöht, wie z. B. durch die im Jahr 2010 eingeführte gesetzliche Verpflichtung zur Durchführung von periodischen Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ).

Auch international erfährt die Sicherheit von Forschungsreaktoren zunehmend größere Bedeutung. In Europa trägt die Richtlinie 2009/71/EURATOM (EURATOM 2009) maßgeblich dazu bei. Laut Kapitel 1, Artikel 3-1 a fallen Forschungsreaktoren explizit in die Kategorie „kerntechnische Anlage“, so dass viele verbindliche Anforderungen aus dieser Richtlinie und der diese Richtlinie ergänzenden Richtlinie 2014/87/EURATOM (EURATOM 2014) auch auf Forschungsreaktoren angewendet werden müssen.

Eine Folge hiervon sind u. a. die derzeit laufenden Bestrebungen zur Angleichung der Sicherheit von Forschungsreaktoren, die ähnlich wie bei Kernkraftwerken durch die WENRA (Western European Nuclear Regulators Association) betrieben werden und sich später auch im deutschen nationalen Regelwerk widerspiegeln sollen. Ein weiteres Beispiel ist ein nach Kapitel 2a, Artikel 8e der Richtlinie 2014/87/ EUROATOM (EURATOM 2014) geforderter themenbezogener Peer-Review. Der erste themenbezogene Peer-Review wurde im Jahr 2017 durchgeführt. Es war dem Thema „Alterungsmanagement“ gewidmet und war für alle Kernkraftwerke sowie für Forschungsreaktoren mit einer thermischen Leistung größer 1 MW obligatorisch.

Vor diesem Hintergrund werden auf diesem Gebiet folgende Grundsatzfragen formuliert:

- Wo sind spezifische Informationen zu einzelnen Forschungsreaktoren verfügbar, die einen schnellen und belastbaren Vergleich der notwendigen Parameter erlauben?
- Mit welchen Methoden kann das Risikopotential der Forschungsreaktoren bewertet werden?
- Wie hoch ist das individuelle Risikopotential einzelner Forschungsreaktoren einzuschätzen?
- Nach welchen Kriterien können Forschungsreaktoren klassifiziert werden?
- Inwiefern ist die Klassifizierung von dem zugrunde gelegten Bewertungskriterium unabhängig?
- Welche Sicherheitsmaßstäbe werden bei Forschungsreaktoren abhängig von deren Risikopotential definiert?
- Mit welchen Methoden kann die Erfüllung der Sicherheitsanforderungen bewertet und nachgewiesen werden?
- Welche Störfälle sind für verschiedene Forschungsreaktoren von besonderer Bedeutung und welche Vorsorgemaßnahmen gibt es?

Im Folgenden werden die wesentlichen Forschungsthemen zu den Forschungsreaktoren näher erläutert und der davon abgeleitete spezifische Forschungsbedarf identifiziert.

Sicherheitsmaßstäbe

Da sich die Forschungsreaktoren erheblich voneinander unterscheiden und zudem unterschiedliche Anlagentypen unter der Aufsicht verschiedener Behörden stehen, ist es kaum möglich, generische Erkenntnisse bzw. Entscheidungen zu formulieren. Die Sicherheitsmaßstäbe werden deshalb im Einzelfall neu entwickelt. In der Praxis werden die (bundes-)aufsichtlichen Fragestellungen in den zuständigen Gremien, hier insbesondere im Arbeitskreis Forschungsreaktoren (AK-FR) im Fachausschuss Reaktorsicherheit des Länderausschusses für Atomkernenergie (LAA), diskutiert und einvernehmlich geeignete Lösungswege gesucht. Das BASE ist aktiver Teilnehmer an den AK-FR Sitzungen.

Das individuelle Gefährdungspotential verschiedener Forschungsreaktoren wird qualitativ und quantitativ unter systematischen und detaillierten Bewertungen von zahlreichen physikalisch-technischen und radiologischen Kriterien abgeleitet. Folglich werden die Anlagen entsprechend den analysierten Bewertungskriterien verschiedenen Gefährdungsklassen zugeordnet. Auf Basis der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ werden systematische Überlegungen durchgeführt, ob und ggf. wie sich die Sicherheitsmaßstäbe aus dem kerntechnischen Regelwerk für Kernkraftwerke auf Forschungsreaktoren verschiedener Gefährdungsklassen übertragen lassen. Mit steigenden regulatorischen Anforderungen an Forschungsreaktoren nimmt die Anzahl und Komplexität der aufsichtlichen Fragestellungen auf dem Gebiet zu. Eine belastbare Einschätzung des Gefährdungspotentials und die Zuordnung der Forschungsreaktoren in verschiedene Gefährdungsklassen ist eine wichtige Grundlage für die Definition der entsprechenden Sicherheitsmaßstäbe. Dies ist entscheidend, um im bundesaufsichtlichen Verfahren sachgerechte und effiziente Lösungen für die aufkommenden Fragestellungen zu finden.

Sicherheitsanalysen

Ähnlich wie bei Kernkraftwerken stellen deterministische und ergänzend probabilistische Sicherheitsanalysen für Forschungsreaktoren ein wichtiges Instrument dar, um das Sicherheitsniveau der Anlagen zu ermitteln. Zur Durchführung solcher Analysen für Forschungsreaktoren stehen nur wenige Richtlinien und Hilfsmittel mit spezifischen Vorgaben zur Verfügung. Grundsätzlich können analoge Rechenmethoden und Systemcodes wie für Kernkraftwerke verwendet werden. Jedoch unterscheiden sich die Anlagenmodellierung und die Störfallszenarien von Forschungsreaktoren gegenüber KKW erheblich, so dass vor dem Hintergrund der vorhandenen Erfahrungen erheblicher Entwicklungsbedarf bezüglich der Methoden und der anzuwendenden Daten besteht.

Aufgrund von steigenden gesetzlichen Anforderungen an die Sicherheit von Forschungsreaktoren und des sich entwickelnden Standes von W&T wird die Bundesaufsicht immer öfter mit neuen Fragestellungen zu diesem Themenbereich konfrontiert. Daher ist es notwendig, den Kompetenzerhalt auf diesem Gebiet zu gewährleisten. Die gut bewährten Analysemethoden für die sicherheitstechnische Bewertung von Kernkraftwerken werden an die Gegebenheiten der Forschungsreaktoren angepasst. Dabei handelt es sich um die Anpassungen von verschiedenen Rechen-codes und -programmen, die für deterministische und probabilistische Sicherheitsanalysen (DSA und PSA) Verwendung finden.

Die Anpassung bzw. Weiterentwicklung der Rechenmethoden ermöglicht, die genauen anlagenspezifischen Sicherheitsbewertungen für verschiedene Forschungsreaktoren durchzuführen. Dies beinhaltet deterministische Methoden für die Bewertung der Wirksamkeit der Sicherheitssysteme unter Störfallbedingungen, stationäre und dynamische Analysen zum Kernverhalten sowie ergänzende probabilistische Methoden. Diese sind unerlässlich, um den Sicherheitszustand der kerntechnischen Anlagen möglichst genau analysieren zu können und in der Lage zu sein, die verschiedenen bundesaufsichtlichen Fragestellungen, die mit der Anlagen- und Sicherheitstechnik von Forschungsreaktoren zusammenhängen, gemäß dem aktuellen Stand von W&T bearbeiten zu können.

Konkret sind die folgenden Anpassungen erforderlich: Für die deterministischen Sicherheitsanalysen ist die Entwicklung der thermo-hydraulischen Anlagenmodellierung (u. a. Reaktorbecken, Kern und Reaktorkühlkreislauf) samt der nachfolgenden Implementierung der Grundfunktionalität betrieblicher und sicherheitsrelevanter Systeme notwendig. Dazu gehört auch die Analyse des stationären und dynamischen Verhaltens der Reaktorkerne in spezifischen Geometrien. Weiterhin ist eine Auswahl repräsentativer Störfallszenarien und Durchführung der Störfallsimulation inklusive Bewertungen der Störfallverläufe zu treffen.

Für die probabilistischen Sicherheitsanalysen ist die Festlegung der für Forschungsreaktoren relevanten Endzustände relevant, die beim Versagen von Sicherheits- und Notfallmaßnahmen nach einem auslösenden Ereignis eintreten können. Weiterhin sind das abdeckende Spektrum der ein-zubeziehenden auslösenden Ereignisse und die notwendigen PSA-Daten zu ermitteln.

3.7 Sicherheit weiterer Anlagen zur nuklearen Ver- und Entsorgung

Zur Herstellung von Kernbrennstoffen werden in Deutschland eine Anreicherungsanlage und eine Brennelementefabrik betrieben.

Die stetige technische Weiterentwicklung der Produktions- und Überwachungstechnik erfordert gemäß AtG eine stetige Anpassung bzw. Weiterentwicklung der Methoden der Sicherheits- und Störfallanalyse sowie die wiederkehrende Überprüfung, ob eine ausreichende Schadensvorsorge entsprechend dem Stand von W&T getroffen ist. Die Forschungsarbeiten im Bereich der nuklearen Versorgung sollen die Aktualität der Methoden und Kenntnisse auf dem Gebiet der Sicherheitstechnik und Sicherheitsanalyse unter Berücksichtigung des nationalen und internationalen Entwicklungsstandes gewährleisten. Die Ergebnisse der vertieften nationalen Auswertung von Ereignissen unterstützen die Behörden im Rahmen des internationalen Erfahrungsrückflusses, welcher zu einer Stärkung der Sicherheit in den Anlagen beiträgt. Die Auswertung von Betriebserfahrungen ist ein wesentliches Element zur Weiterentwicklung und Verbesserung der Sicherheit in kerntechnischen Einrichtungen. Betriebserfahrungen ergeben sich aus der Auswertung und Analyse aufgetretener Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb und von Störfällen. Insbesondere die vertiefte Auswertung von Ereignissen in den Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen ermöglicht die weitere Verbesserung der Sicherheit in den kerntechnischen Einrichtungen sowie das Teilen von Betriebserfahrungen in nationalen und internationalen Gremien.

In diesem Zusammenhang sind insbesondere Fragestellungen zu Kritikalität, Störfallanalysen, Strahlungsabschirmung, zu deterministischen und probabilistischen Sicherheitsanalysen sowie zu meldepflichtigen Ereignissen wichtig. Hierzu zählen u. a. die Erstellung und Pflege des „Handbuchs zur Kritikalität“, des Handbuchs zu Störfallanalysen für Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung („Handbuch der Störfallanalyse“) sowie die konkrete Durchführung von Sicherheitsanalysen für frische und abgebrannte Kernbrennstoffe sowie andere radioaktive Quellen und die vertiefte Auswertung signifikanter Ereignisse.

Im Bereich der nuklearen Versorgung erfordern weiterentwickelte Sicherheitskonzepte und technische Veränderungen, wie z. B. Anreicherungs-erhöhungen oder die Weiterentwicklung der Rechenverfahren, eine entsprechende Erweiterung der zugrundeliegenden Datenbasis für den rechnerischen Sicherheitsnachweis. Hierzu werden u. a. die Methoden für die Störfall- und Sicherheitsanalyse und das Handbuch zur Kritikalität laufend auf Aktualität und Genauigkeit überprüft und bei Bedarf angepasst.

Die dort enthaltenen Daten und Parameter werden stichprobenartig neu berechnet und ggf. aktualisiert. Hierfür werden auch die Neuveröffentlichungen zu Rechenverfahren zur nuklearen Sicherheit stets verfolgt und nach Bedarf angepasst und in die bestehende Software implementiert.

Darüber hinaus ist geplant, das „Handbuch zur Störfallanalyse“ um einen weiteren Themenbereich zu erweitern, indem die Störfallanalysen auf periodische Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ) unter Berücksichtigung von probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) in deutschen Versorgungsanlagen ausgedehnt wird. Während die PSA bei Kernkraftwerken bereits etabliert ist, steht ihre Anwendung bei anderen kerntechnischen Anlagen erst in den Anfängen. So werden zurzeit für die Anlagen der nuklearen Versorgung die technisch-wissenschaftlichen Grundlagen für eine PSA erarbeitet und bedingen für die Zukunft entsprechenden Forschungsbedarf. Die hierzu geplanten Forschungsarbeiten dienen strategisch dem Ziel, eine PSA für Anlagen der nuklearen Versorgung durchzuführen.

International wird an der Entwicklung unterschiedlicher innovativer Reaktorkonzepte gearbeitet. Dies hat zur Folge, dass auch entsprechende neuartige Brennstoffkonzepte entwickelt werden. Diese neuen Brennstoffkonzepte werden Auswirkungen auch auf die deutschen Anlagen der nuklearen Versorgung haben, da davon auszugehen ist, dass diese zukünftig mehr den internationalen Markt beliefern werden.



3.8 Stilllegung kerntechnischer Anlagen

Deshalb wird hier weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen für diese Anlagen gesehen. Die diskutierten und verfolgten Ansätze müssen dargestellt, analysiert und beurteilt werden. Entwicklungen neuartiger Brennstoffkonzepte mit Fokus auf die Ver- und Entsorgung sowie neue Ansätze zur Reduzierung der radioaktiven Abfälle werden verfolgt.

Weiterhin werden besondere Vorkommnisse aus deutschen sowie ausländischen Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung erfasst und bewertet. Relevante Vorkommnisse mit einer Übertragbarkeit auf deutsche oder ggf. auch auf ausländische Anlagen werden einer vertieften ingenieurmäßigen Bewertung unterzogen.


Ziel ist es, das Instrumentarium für die sicherheitstechnischen Beurteilungen zu Fragestellungen der nuklearen Ver- und Entsorgung auf aktuellem Stand zu halten. Darüber hinaus ist der internationale Wissenstransfer auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit und der Störfallvorsorge in Anlagen der nuklearen Versorgung und Entsorgung zu gewährleisten. Ein weiteres Ziel ist, den Erfahrungsrückfluss aus der Auswertung der besonderen Vorkommnisse in inländischen als auch in ausländischen Anlagen für eine Sicherheitsverbesserung in deutschen Anlagen der nuklearen Versorgung nutzbar zu machen und ggf. auch für ausländische Anlagen bereitzustellen.

Aus diesen Zielen ergeben sich u. a. folgende Grundsatzfragen:

- Wie entwickelt sich der Stand von W&T bei der Produktionstechnik? Wie wird begleitend die Aktualität der Methoden und Kenntnisse auf dem Gebiet der Sicherheitstechnik und -analyse gewährleistet?
- In welche Richtung gehen innovative Reaktor-konzepte und damit einher neuartige Brennstoffkonzepte? Welche Auswirkung haben sie auf die Gewährleistung der Sicherheit?
- Welchen Beitrag können die oben genannten Arbeiten zu dem Ziel, eine PSA für Anlagen der nuklearen Versorgung durchzuführen, leisten?

Das Thema Stilllegung von kerntechnischen Anlagen wird in Deutschland wegen des 2011 im AtG festgeschriebenen schrittweisen Ausstiegs aus der Kernenergienutzung bis spätestens Ende 2022 noch bis weit in die 2030er Jahre hinein aktuell bleiben, der Umgang mit den dabei entstehenden Reststoffen und radioaktiven Abfällen sogar deutlich darüber hinaus. International steht die Hauptwelle der weltweit abzuschaltenden und stillzulegenden Kernkraftwerke noch bevor. Das Thema Stilllegung kerntechnischer Anlagen kann als kerntechnische Querschnittsaufgabe begriffen werden. Es gibt Schnittstellen zu anderen im BASE behandelten Fragestellungen wie z. B. meldepflichtige Ereignisse, Transporte, Zwischenlagerung von Brennelementen sowie zum Projekt Konrad (über die Bewertung von Abfallprognosen). Insofern haben Untersuchungen im Bereich Stilllegung in verschiedenen Bereichen einen Nutzen für die Aufgabenerfüllung des BASE.

Grundsätzlich ist die Stilllegung von kerntechnischen Anlagen in Deutschland eine technisch und organisatorisch gelöste Aufgabe, zu der vielfältige Erfahrungen vorliegen. Dennoch stellt, wegen der großen Anzahl der in relativ kurzer Zeit neu hinzukommenden Stilllegungsprojekte, der sichere Rückbau und die Entsorgung der dabei entstehenden radioaktiven Abfälle eine Herausforderung dar, welche Fragestellungen mit Forschungsbedarf generieren. Das derzeitige nationale gesetzliche und untergesetzliche Regelwerk deckt die regulatorischen Erfordernisse für die Stilllegung ab, wenngleich für die Stilllegung relevante Regelungen in verschiedenen Gesetzen und Verordnungen zu finden sind und die internationalen Anforderungen einer ständigen Weiterentwicklung unterliegen. Für die Mitarbeit an der zukünftigen Weiterentwicklung des nationalen wie internationalen Regelwerkes ist es deshalb wichtig, dass das BASE die hierfür erforderliche fachliche Bewertungskompetenz u. a. auf den nachfolgend genannten Themenfeldern hat. Hierzu können auch vom BASE fachlich begleitete Forschungsvorhaben einen wichtigen Beitrag leisten.



Vor dem Hintergrund der Beendigung der Kernenergienutzung in Deutschland ist das öffentliche Interesse an der Thematik Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen gestiegen. Das BASE benötigt die Bewertungskompetenz, wie die Information und ggf. Beteiligung der Öffentlichkeit an Stilllegungsverfahren, über die während des Genehmigungsverfahrens für die erste Stilllegungsgenehmigung durchgeführte Öffentlichkeitsbeteiligung hinaus, weiter optimiert werden können.

Weiterhin von Interesse sind sicherheitstechnische Fragestellungen beim Übergang vom Betrieb auf die Stilllegung, unter Berücksichtigung des in der Anlage vorhandenen radiologischen Inventars einschließlich ggf. noch vorhandener Brennelemente.

Fragen zu Reststoff- und Abfallströmen bei der Stilllegung sind im Hinblick auf die Planung und Durchführung der Stilllegung von Relevanz. Dabei sind Aspekte der längerfristigen Zwischenlagerung, der Endlagerung der radioaktiven Abfälle sowie die Deponierung von freigegebenen Stoffen zu beachten. In diesem Zusammenhang benötigt das BASE die Bewertungskompetenz auf den Themenfeldern Freigabe von radioaktiven Stoffen und Stilllegungsstrategien (z. B. Abklinglagerung), da diese einen Einfluss auf die Abfallprognosen haben. Die radiologische Charakterisierung ist nicht nur vor Beginn der Stilllegung im Rahmen der Planung wichtig, sondern auch am Ende, wenn Gebäude und Bodenflächen aus der atomrechtlichen Überwachung entlassen werden sollen. Insbesondere wenn Gebäudefundamente im Boden verbleiben sollen, ergeben sich besondere Anforderungen an die verfahrensmäßige und messtechnische Nachweisführung der radiologischen Unbedenklichkeit (Freigabe). In diesem Zusammenhang spielt auch die Quantifizierung und Bewertung eventueller radiologischer Vorbelastungen und deren Berücksichtigung bei der Freigabe eine Rolle. Das BASE benötigt die Bewertungskompetenz im Hinblick auf im Rahmen der Stilllegung praktisch einsetzbare Verfahren zum messtechnischen Nachweis schwer messbarer Nuklide.

Besondere Herausforderungen bei der Beurteilung von Standorteigenschaften können sich ergeben, wenn die Freigabe von Bodenflächen unter Berücksichtigung vorhandener Standorteigenschaften (geografische Lage oder geogene Verhältnisse) bewertet werden soll und dementsprechend bestimmte Expositionspfade einzelfallbezogen detaillierter betrachtet werden müssen (z. B. durch Modellierung von Transportprozessen im Grundwasser).

In zunehmendem Maße rückt die Sanierung von Anlagengeländen am Ende der Stilllegung in den Blickpunkt. In diesem Zusammenhang sind Untersuchungen der Anwendbarkeit konventioneller Umwelttechnologien bei der Sanierung radioaktiv kontaminierter Standorte kerntechnischer Anlagen sowie auch Fragen der Abwägung von Strahlenschutz- und sonstigen Umweltaspekten bei der Stilllegung von Interesse.

Das BASE benötigt die Bewertungskompetenz bezüglich aktueller Entwicklungen bei der automatisierten Anwendung von Trenn- und Zerlegetechniken sowie Dekontaminationstechniken. Das deutsche gesetzliche und untergesetzliche Regelwerk muss auch in Zukunft dem Stand von W&T Rechnung tragen und erforderlichenfalls unter Mitwirkung des BASE weiterentwickelt werden. Es muss deshalb sichergestellt werden, dass der Stand von W&T auch international bei der Stilllegung verfolgt wird, sich hieraus ergebender Weiterentwicklungsbedarf auf nationaler Ebene in Zukunft erkannt wird und dann auch umgesetzt werden kann.

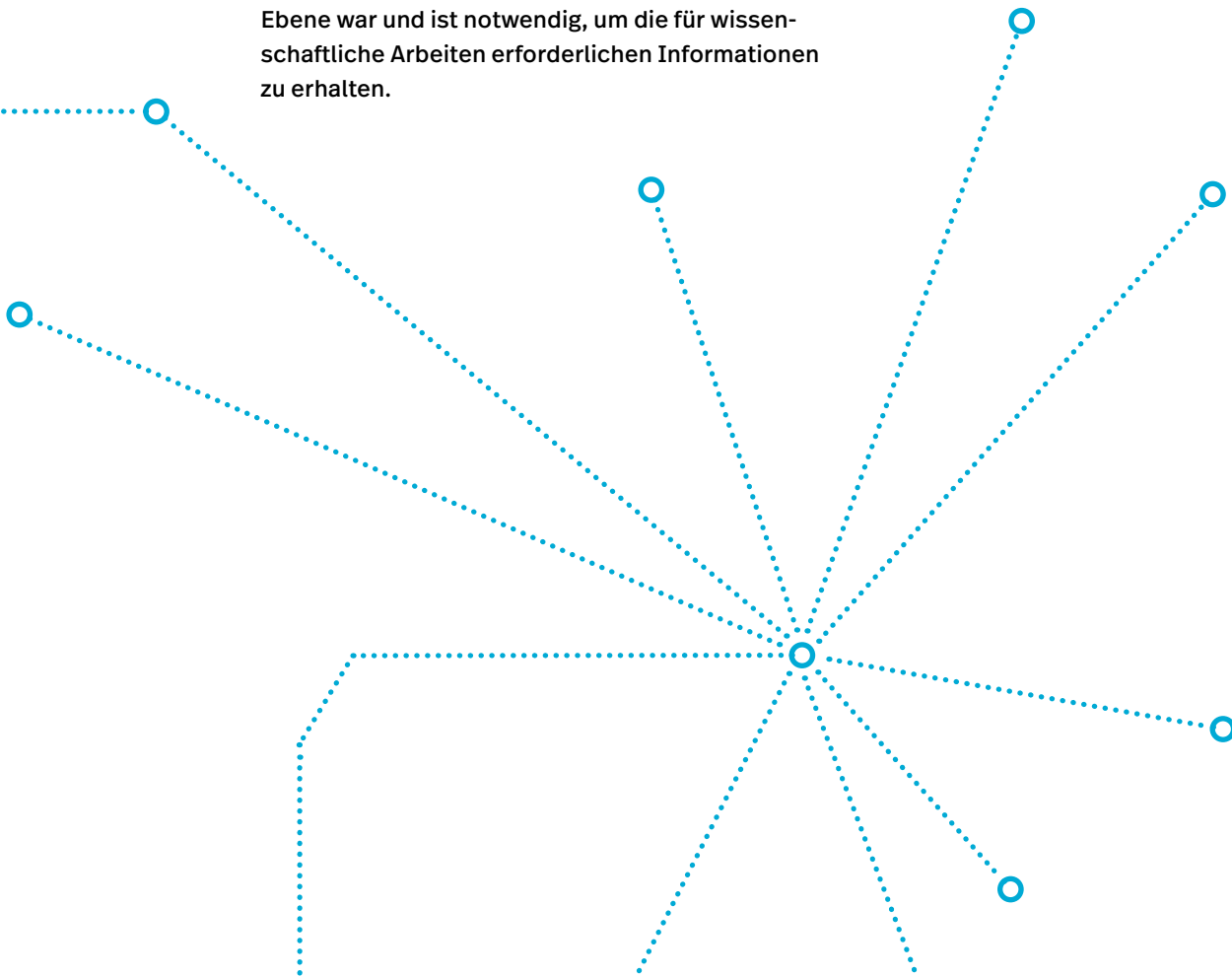
3.9 Internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der kern- technischen Sicherheit

Um international Einfluss auf eine möglichst hohe Sicherheitsgewährleistung in ausländischen Anlagen nehmen zu können und bei Anfragen aus Parlament und Bevölkerung aussagefähig zu sein, müssen in Deutschland ausreichende Kenntnisse über die Sicherheitstechnik dieser Anlagen vorhanden sein. Dazu ist es erforderlich, die Entwicklung des Standes von W&T auf dem Gebiet der Kernkraftwerkstechnik und der Gewährleistung der Sicherheit von Kernkraftwerken im Ausland in erforderlichem Umfang weiter zu verfolgen. Auch die Kenntnis der staatlichen Rahmenbedingungen in den Kernkraftwerke betreibenden Staaten ist für die Beurteilung der nuklearen Sicherheit im Ausland von Bedeutung.

Möglich ist dies nur durch wissenschaftlich-technische Untersuchungen und die Beteiligung an internationalen Aktivitäten zu Fragen der Gewährleistung der nuklearen Sicherheit im Ausland sowie durch die Verfolgung der zugehörigen technischen Entwicklungen und der regulatorischen Rahmenbedingungen. Der Informationsaustausch mit Partnerinnen und Partnern auf internationaler Ebene war und ist notwendig, um die für wissenschaftliche Arbeiten erforderlichen Informationen zu erhalten.

Dies schließt die Mitarbeit in Gremien und Arbeitsgruppen internationaler Organisationen mit ein. Die Nutzung der Kooperation mit europäischen Regulatoren und deren Sachverständigenorganisationen ermöglicht die Bereitstellung von Informationen und Wissen bezüglich Status, Aktivitäten und Ergebnissen bei der Verbesserung der nuklearen Sicherheit in Europa. Darüber hinaus erfolgt hier auch die Erfassung und Nutzung der fachlichen Informationen aus multilateralen Kooperationsprogrammen der EU.

Ziel von laufenden und geplanten Forschungsvorhaben ist die Sicherstellung von ausreichenden Kenntnissen über die kerntechnische Sicherheit von ausländischen Anlagen sowie der regulatorischen Rahmenbedingungen Kernkraftwerke betreibender Staaten. Ziel ist weiterhin, die Entwicklung des Standes von W&T in erforderlichem Umfang weiter zu verfolgen, um international Einfluss auf eine möglichst hohe Sicherheitsgewährleistung in ausländischen Anlagen nehmen zu können.

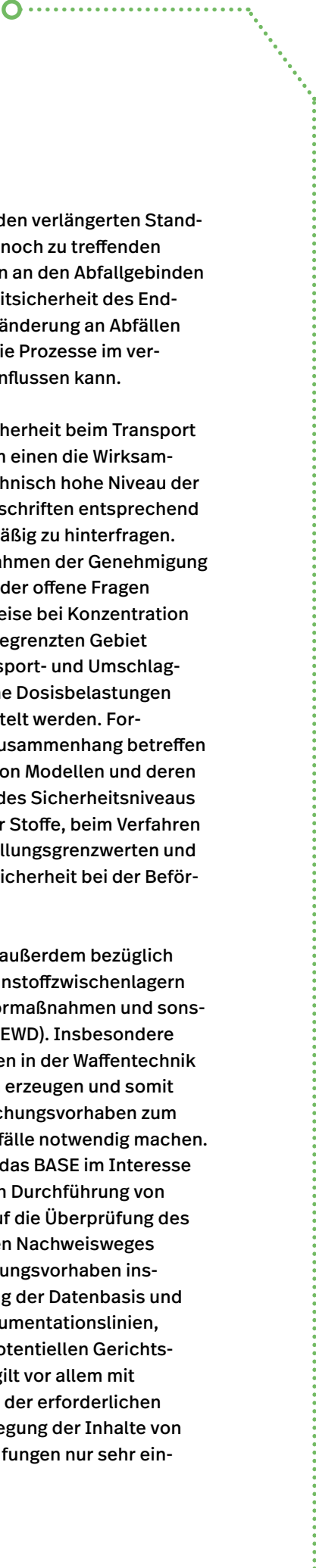




4.1
Behältersicherheit
bei Transporten und
Zwischenlagerung



4.2
Sicherung



Der Nachweis der ausreichenden Schadensvorsorge zwischengelagerter hochradioaktiver Abfälle wurde in den Genehmigungsverfahren für die heutigen Zwischenlager für den Zeitraum von 40 Jahren erbracht. Eine Verlängerung bedürfte gemäß § 6 (5) AtG unabweisbarer Gründe und einer Befassung des deutschen Bundestags. Laut § 1 (5) StandAG ist die Entscheidung zu einem Endlagerstandort für 2031 angestrebt. Gemäß des optimistischen Szenarios 1 des Kapitels 5.6 „Zeitbedarf zur Realisierung des empfohlenen Entsorgungspfades“ des Abschlussberichts der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe soll die anschließende Realisierung aller benötigten bergtechnischen Funktionen etwa 2050 abgeschlossen sein, so dass dann mit der Einlagerung der Abfälle begonnen werden könnte. Selbst für dieses optimistische Szenario ist daher davon auszugehen, dass die derzeit genehmigte Aufbewahrungsdauer der Zwischenlager für hochradioaktive Abfälle nicht ausreichen wird, um vor Ablauf der Genehmigungen alle zwischengelagerten Gebinde an das Endlager abzugeben. Damit ist Forschungsbedarf absehbar, da die notwendigen Nachweise zur Gewährleistung der Sicherheit verlängerter Lagerung sowie des Abtransportes nach Lagerung nach aktuellem Kenntnisstand noch nicht prüfbar sind. Fragen der Alterung der Materialien (Degradationsverhalten) stehen dabei im Mittelpunkt der Nachweisführung und somit im Fokus des BASE.

Die benötigten Erkenntnisse können nicht in kurzer Zeit gewonnen werden, daher müssen entsprechende Forschungsvorhaben rechtzeitig angestoßen bzw. fortgeführt werden. Beispielsweise wird im Auftrag des BASE von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) das Langzeitverhalten von Metalledichtungen untersucht. Die Experimente wurden 2001 begonnen und sollten unbedingt fortgesetzt werden, um auch für eine möglicherweise notwendige Verlängerung der Zwischenlagerung über 40 Jahre hinaus Vorhersagen zum Verhalten der Dichtungen der Behälter treffen zu können.

Weiterhin können sich aus den verlängerten Standzeiten und möglicherweise noch zu treffenden technischen Veränderungen an den Abfallgebinden Fragestellungen zur Langzeitsicherheit des Endlagers ergeben, da jede Veränderung an Abfällen oder Behältern potenziell die Prozesse im verschlossenen Endlager beeinflussen kann.

Zur Gewährleistung der Sicherheit beim Transport radioaktiver Stoffe sind zum einen die Wirksamkeit und das sicherheitstechnisch hohe Niveau der Gefahrgutbeförderungsvorschriften entsprechend dem Stand von W&T regelmäßig zu hinterfragen. Zum anderen müssen im Rahmen der Genehmigung von Transporten immer wieder offene Fragen geklärt werden, beispielsweise bei Konzentration von Transporten in einem begrenzten Gebiet oder ungewöhnlichen Transport- und Umschlagsituationen, für die mögliche Dosisbelastungen betroffener Personen ermittelt werden. Forschungsfragen in diesem Zusammenhang betreffen derzeit die Aktualisierung von Modellen und deren Datenbasis zur Bewertung des Sicherheitsniveaus beim Transport radioaktiver Stoffe, beim Verfahren zur Berechnung von Freistellungsgrenzwerten und bei Fragen zur Kritikalitätssicherheit bei der Beförderung radioaktiver Stoffe.

Forschungsbedarf besteht außerdem bezüglich des Schutzes von Kernbrennstoffzwischenlagern und -transporten gegen Störmaßnahmen und sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD). Insbesondere können Weiterentwicklungen in der Waffentechnik neue Bedrohungsszenarien erzeugen und somit die Durchführung von Forschungsvorhaben zum Schutz der radioaktiven Abfälle notwendig machen. Vor dem Hintergrund, dass das BASE im Interesse einer zügigen und effektiven Durchführung von Genehmigungsverfahren auf die Überprüfung des vom Antragsteller gewählten Nachweisweges beschränkt ist, sind Forschungsvorhaben insbesondere zur Vergrößerung der Datenbasis und damit zur Stärkung von Argumentationslinien, vor allem im Rahmen von potentiellen Gerichtsverfahren, angezeigt. Dies gilt vor allem mit Blick darauf, dass aufgrund der erforderlichen Geheimhaltung eine Offenlegung der Inhalte von sicherungstechnischen Prüfungen nur sehr eingeschränkt möglich ist.

4.1 Behältersicherheit bei Transporten und Zwischenlagerung

Das BASE erteilt Aufbewahrungsgenehmigungen für Kernbrennstoffe gemäß § 6 AtG (Genehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen, etwa für Zwischenlager), Beförderungsgenehmigungen gemäß § 4 AtG und § 16 StrlSchV sowie Zulassungen für Behälter zum Transport radioaktiver Stoffe gemäß Gefahrgutbeförderungsgesetz.

Die von den Antragstellern einzureichenden Nachweisunterlagen sind entsprechend den Anforderungen der jeweiligen Rechtsvorschriften durch das BASE darauf zu prüfen, ob z. B. die nach dem Stand von W&T erforderliche Vorsorge gegen Schäden getroffen ist. Dies erfordert ein nachhaltiges Verständnis des jeweils aktuellen Standes von W&T durch Befassung mit neuen Erkenntnissen aus der Forschung sowie die gezielte Klärung von Fachfragen durch das BASE selber.

Die Forschungsvorhaben des BASE dienen auch dazu, die aus der Genehmigungs- bzw. Zulassungstätigkeit gewonnenen Erfahrungen und Fragestellungen in die Weiterentwicklung des Standes von W&T einzubringen. Dies ist wichtig zur Verbesserung von Sicherheitsstandards und geschieht beispielsweise durch die Mitarbeit an Regelwerken und die Mitarbeit in nationalen und internationalen Gremien. Ein weiteres Ziel von Forschungsvorhaben ist die Überprüfung und Weiterentwicklung von Bewertungsmethoden und der zugehörigen Datenbasis. Der Erkenntnisgewinn aus Forschungsprojekten soll es dem BASE ermöglichen, auch zukünftig die Sicherheitsnachweise der Antragsteller prüfen und Genehmigungen bzw. Zulassungen erteilen zu können. Somit ist es wichtig, dass das BASE auch im Hinblick auf seine Genehmigungstätigkeit Forschungsfragen identifiziert und bearbeitet.

Alterung von Behältermaterialien und Behälterkomponenten und ihre Auswirkungen auf die Sicherheit der verlängerten Zwischenlagerung

Da die Genehmigungen zur Aufbewahrung nach § 6 AtG basierend auf einer Begutachtung für einen Lagerzeitraum von 40 Jahren durchgeführt wurden, besteht ein hohes Sicherheitsniveau. Durch deutlich längere Lagerzeiten könnte die Alterung von Behälterkomponenten das Schutzziel des sicheren Einschusses des radioaktiven Inventars jedoch gefährden. Versagensmechanismen können direkt durch ein Nachlassen der Dichtheit oder indirekt durch einen alterungsbedingten Handhabungsstörfall wie beispielsweise das Versagen eines Tragzapfens aufgrund von Alterungseffekten wirken. Daher sind die Behälterkomponenten, Lastanschlagpunkte am Behälter und alle Komponenten des Dichtheitsüberwachungs- sowie des Doppeldeckeldichtungssystems auf Anfälligkeit gegenüber Alterung durch unterschiedlichste Einflüsse zu untersuchen. Da die Alterung ein stark temperaturabhängiger Vorgang ist, kommt der Bestimmung von Temperaturen eine hohe Bedeutung zu.

Die Fragestellungen sollen durch Fortführung bereits laufender Langzeitversuche mit Metalldichtungen sowie durch Simulationen bzw. Berechnungen bearbeitet werden. Eine Ergänzung der laufenden Versuchsreihen um bisher nicht untersuchte Temperaturbereiche kann notwendig sein. Erkenntnisse und Messwerte Dritter werden analysiert.

Auch eine systematische Auswertung der periodischen Sicherheitsüberprüfung der Zwischenlager sollte auf Bundesebene erfolgen. Die Ergebnisse und Befunde können dann direkt in Sicherheitsanforderungen umgewandelt werden, deren Erfüllung im Genehmigungsverfahren durch die Antragsteller nachzuweisen ist.

Die aktuelle Zeitplanung bis zum Beginn der Einlagerung hochradioaktiver Abfälle in ein Endlager impliziert eine Verlängerung der Zwischenlagerdauer. Um die damit verbundenen Fragestellungen der weiteren sicheren Aufbewahrung beantworten zu können, muss frühzeitig Fachwissen im BASE aufgebaut werden. Auch muss das Wissen über den bei Ablauf der Genehmigungen der Zwischenlager vorliegenden Ist-Zustand der Behälter so umfangreich wie möglich sein, da dann wieder eine Entscheidung über eine lange Aufbewahrungsdauer zu treffen ist.

Fragestellungen in diesem Themenfeld sind bspw.:

- Welche Mechanismen führen zu einer Verschlechterung der Materialeigenschaften?
- Wie verlief die Temperaturentwicklung von der Abfertigung bis zum Ende der Zwischenlagerung?
- Ist das Doppeldeckeldichtsystem auch nach einer Verlängerung der Aufbewahrungsdauer noch in der Lage, einen sicheren Abtransport zu gewährleisten?
- Ist die Handhabung der Behälter auch nach einer verlängerten Aufbewahrungsdauer noch sicher möglich?

Veränderungen an Strukturteilen, Hüllrohren und Behälterinventaren über die Aufbewahrungsdauer

Veränderungen innerhalb des Behälters sind für die weitere Zwischenlagerung zunächst von untergeordneter Bedeutung, da bei allen bestehenden Genehmigungen nach § 6 AtG sehr konservative Annahmen bezüglich des Inventarzustandes getroffen wurden. Mit Inbetriebnahme des Endlagers endet allerdings die Zwischenlagerung und die Behälter müssen zum Endlager transportiert werden. Dann folgt nach derzeitigem Stand ein Öffnen und Entleeren der Transport- und Lagerbehälter, um den Inhalt endlagerfähig zu konditionieren. Aus diesem Grund sind Betrachtungen über den Inventarzustand notwendig, da dieser die notwendige Infrastruktur am zukünftigen Endlagerstandort in erheblichem Umfang beeinflusst.

Experimentelle Untersuchungen an Brennelementstrukturteilen nach Anwendung im Reaktor (bestrahlter Zustand) und im unbestrahlten Zustand sind notwendig, um die zur Konditionierung notwendigen Anlagen planen zu können. Weitere experimentelle Daten und Untersuchungen werden für die Ermittlung von Werkstoffkennwerten und Betrachtungen zum Bruchverhalten bestrahlter Brennstäbe als Eingangsgröße für die Endlagerung benötigt. Die experimentellen Untersuchungen müssen also mit einem entsprechend großen zeitlichen Vorlauf begonnen werden. Erst nach Vorliegen entsprechender Daten kann eine geeignete Simulationssoftware entwickelt werden. Der derzeit öffentlich zugängliche Datenbestand ist dafür zu gering. Bisher wurden derartige Untersuchungen von den Betreiberinnen und Betreibern vorgenommen; da diese aber einen Rückschluss auf die Reaktorfahrweise ermöglichen, wurden

sie als Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse streng geschützt. Für die Bewertung eingereicherter Sicherheitsnachweise und die Genehmigung einer verlängerten Aufbewahrungsdauer müssen diese Daten vorliegen. Die Betrachtungen von Handhabungsstörfällen setzt ebenfalls die genaue Kenntnis des Behälterzustandes voraus.

Fragestellungen in diesem Themenfeld sind bspw.:

- Wie belastbar sind die Strukturteile eines Brennelements nach langer, trockener Zwischenlagerdauer? Gibt es relevante Unterschiede zwischen Brennelementen aus Druckwasser- oder Siedewasserreaktoren?
- Erfüllen die Hüllrohre auch nach langer Zwischenlagerung noch ihre Rückhaltefunktion bzw. ist diese Barriere noch wirksam?
- Welche Druckverhältnisse herrschen in den Brennstäben?
- Welche mechanischen Kennwerte haben die unterschiedlichen Hüllrohrmaterialien?
- Inwieweit unterscheiden sich die mechanischen Eigenschaften der in Deutschland verwendeten Brennstoffe (ERU, WAU und MOX) nach langer Lagerung?
- Welche Erkenntnisgewinne sind für eine etwaige Untersuchung des hochradioaktiven Behälterinventars zwingend notwendig, so dass sich im Rahmen einer umfassenden Gap-Analyse die Öffnung eines Behälters rechtfertigen ließe?

Spezielle Inventare: Verglaste Abfälle, Defektbrennstäbe und Brennstoffe aus der Forschung

Das derzeitige Konzept zur Entsorgung von Defektbrennstäben sieht vor, diese in Köcher zu verpacken, welche analog zu den Brennelementen in Behälter eingestellt werden können. Hier wird also die beschädigte Barriere des Hüllrohrs durch eine neue ersetzt. Da diese nicht den Belastungen des Reaktorbetriebs unterlag und zum Zwecke der Genehmigung zur Zwischenlagerung qualifiziert und begutachtet wurde, liegt hier ein sehr gut dokumentierter Zustand vor.

Brennstoffe aus der Forschung wie beispielsweise die Brennelemente des Hochtemperaturreaktors der Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor (AVR) in Jülich, des Thorium-Hochtemperatur-Reaktors (THTR) und des Forschungsreaktors München (FRM) sind durch ihre Unterschiedlichkeit und Einzigartigkeit losgelöst von den Brennelementen der

Leistungsreaktoren zu betrachten. Hier wurden bzw. werden andere Brennelemente mit anderen Anreicherungen verwendet, da die Funktionsweise und die Zielrichtung eine andere ist. Dadurch ist die Datenbasis bei diesen Abfällen national sowie auch international sehr viel geringer und eine Einzelfallbetrachtung ist unvermeidlich. Insbesondere durch die teilweise hohe Anreicherung der Forschungsreaktorbrennelemente sind hier spezielle Betrachtungen notwendig.

Grundsätzlich wichtige Aspekte bei der Bewertung der speziellen Inventare sind die Informationsbeschaffung und der Erhalt der Informationen über lange Zeiträume, da die Dokumentation bei Forschungsreaktoren möglicherweise von der bei Leistungsreaktoren abweicht.

Die Betrachtung der speziellen Inventare ist notwendig, um auch hier die Datenbasis für die Endlagerung und ggf. auch für die verlängerte Zwischenlagerung zu schaffen. Eventuell sind genau diese speziellen Inventare für die Auslegung des Endlagers relevant.

Fragestellungen in diesem Themenfeld sind bspw.:

- Kann bei verglasten Abfällen die Kokille als Barriere bei Zwischenlagerung und Transport im Sinne des sicheren Einschusses dienen?
- Wie ist die Gaszusammensetzung im Kopfraum der Kokille nach langer Zwischenlagerung?
- Können die Köcher zum Entnehmen des Inventars geöffnet werden?
- Sind die Strukturteile der Brennelemente aus Forschungsreaktoren noch handhabbar?
- Wie verhalten sich Sonderinventare (z. B. Brennelemente, die nur in geringer Stückzahl eingesetzt wurden)?

Bewertung der Wirksamkeit der Vorschriften zum sicheren Transport radioaktiver Stoffe

Zur Gewährleistung der Sicherheit bei der Beförderung radioaktiver Stoffe sind gefahrgutrechtliche Vorschriften vorhanden. Diese sehen unter anderem vor, dass die Wirksamkeit dieser Vorschriften regelmäßig durch die zuständigen Behörden zu bewerten ist. Eine solche Bewertung ist ein fortlaufender Prozess und sollte auf verschiedenen Wegen geschehen.

Es ist notwendig, bei Vorliegen von Hinweisen auf Probleme mit der technischen Begründung der Vorschriften die Basis der technischen Grundlagen zu untersuchen. Da die Vorschriften aus Empfehlungen der IAEA abgeleitet werden, sollten dabei

die Bewertung und Priorisierung des Transport Safety Standards Committee (TRANSSC) der IAEA beachtet werden, denn dieses koordiniert und entwickelt die Empfehlungen. Zur Berücksichtigung eigener Interessen sollten daher insbesondere auch durch die IAEA initiierte Vorhaben unterstützt werden. Weiterhin ist konkret die Sicherheit der Beförderung radioaktiver Stoffe in Deutschland zu prüfen. Dazu werden Häufigkeiten und Auswirkungen von Zwischenfällen ebenso untersucht wie Dosisleistungen aus dem Transport radioaktiver Stoffe für Beschäftigte und die Bevölkerung. Hierzu müssen Daten ermittelt und Modelle entwickelt werden.

Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen dienen zur Weiterentwicklung der gefahrgutrechtlichen Vorschriften für den sicheren Transport radioaktiver Stoffe. Dazu zählt auch die Absicherung dieser Vorschriften gegenüber neuen Erkenntnissen zu Transportpraktiken, Unfallszenarien und neuen Kriterien des Strahlenschutzes. Zum anderen sollten auch Erkenntnisse zu neuen Transportsituationen in Deutschland gewonnen werden. Spezifische Probleme sind u. a. die Sicherheit der Rückführung radioaktiver Abfälle auf dem Seeweg oder die Bündelung von Transporten in Zusammenhang mit Endlagerstandorten.

Fragestellungen in diesem Themenfeld sind bspw.:

- Wie müssen die grundlegenden Radionuklidwerte der gefahrgutrechtlichen Vorschriften angepasst werden, um aktuelle Erkenntnisse des Strahlenschutzes zu berücksichtigen? Müssen Freistellungskriterien verändert werden?
- Wie lassen sich die Freisetzung radioaktiver Stoffe aus Versandstücken und die Ausbreitung dieser Stoffe unter Unfallbedingungen der Beförderung modellieren?
- Wie verändert sich die Häufigkeit von Unfällen beim Transport radioaktiver Stoffe, auch bezogen auf die Gesamtzahl solcher Transporte? Welche Lehren werden aus diesen Unfällen gezogen?

Weitere Fragen werden sich zu speziellen Themen der Entsorgung ergeben, z. B. nach einer Bewertung von Transporten in Zusammenhang mit potentiellen Endlagerstandorten, der Klassifizierung von Abfällen sowie dem Alterungsmanagement von Behältern und Inhalt.

Bewertung von Methoden für Sicherheitsnachweise auf den Gebieten Inventarberechnung, Dosisleistungsberechnung und Kritikalitätssicherheitsnachweis

Ein wichtiger Eckpfeiler der Sicherheit bei der Beförderung radioaktiver Stoffe ist die Verwendung nachweislich sicherer Versandstücke. Für jedes zulassungspflichtige Versandstückmuster muss ein von der zuständigen Behörde positiv bewerteter Sicherheitsbericht vorliegen, der u. a. die Einhaltung der verkehrsrechtlichen Dosisleistungsgrenzwerte, die Kritikalitätssicherheit und die Einhaltung der Freisetzungsgrenzwerte für Radionuklide nachweist. Die zugehörigen Analysen basieren grundsätzlich auf Rechnungen mit komplexen Programmen und Modellen. Die Methodik der Analysen einschließlich der Rechenmethoden ist laufend an den Stand von W&T anzupassen. In den Aufgabenbereich des BASE fällt deswegen auch, dessen Entwicklung zu verfolgen und mitzugestalten.

In Gremien und auf Konferenzen werden die verwendeten Methoden vorgestellt und diskutiert sowie neue Ideen und Ansätze verfolgt. Dabei steht auch immer wieder die Neubewertung des bisherigen Vorgehens im Fokus, d. h. es wird nicht nur diskutiert, ob eine Methode verfeinert und weiterentwickelt werden sollte, sondern auch, ob sie sicherheitstechnisch einen lückenlosen Nachweis erlaubt. Darüber hinaus findet eine Entwicklung der Methoden sowohl innerhalb der Behörde als auch bei den Antragstellern statt, da die in den Zulassungsverfahren gewonnenen Erfahrungen sich auf Folgeverfahren auswirken. Dieser Lernprozess wird ergänzt durch den genannten fachlichen Austausch auf anderen Ebenen, d. h. das BASE prüft fortlaufend, ob die in den Verfahren eingesetzten Methoden dem Stand von W&T entsprechen.

Sowohl die nationale als auch die internationale Entwicklung bedürfen eines unabhängigen forschungsgetriebenen fachlichen Hintergrunds, damit überhaupt ein Austausch von Wissen stattfinden kann.

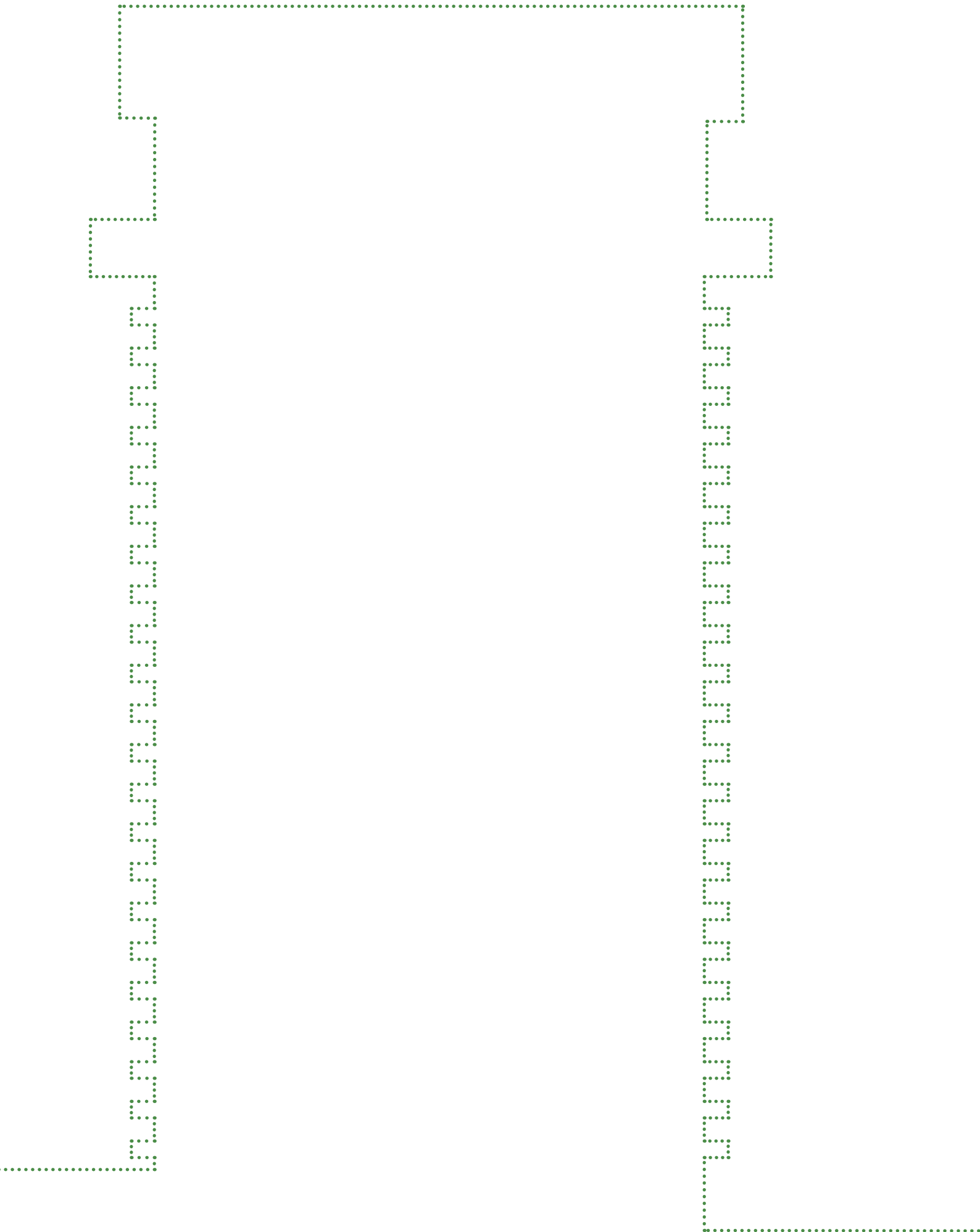
Ohne eine von konkreten Zulassungsverfahren abgekoppelte Forschung würde sich ein beinahe statischer Stand von W&T einstellen, dessen Entwicklung maßgeblich von den Antragstellern und den von ihnen geführten Verfahren und angewendeten Methoden abhängt.

Um Themen gezielt und in der nötigen Tiefe für eine fachliche Diskussion oder die direkte Berücksichtigung in den angewendeten Nachweis- und Analysemethoden zu bearbeiten, ist dezidierte Forschungstätigkeit notwendig. Die fachliche Begleitung für extern vergebene Aufträge durch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des BASE, die die Methoden selbst anwenden, sichert die Übertragung auf die eigenen Prozesse.

Das Ziel und gleichzeitig der Nutzen für das BASE sind die Weiterentwicklung und die Rechtfertigung bestehender, in Zulassungsverfahren angewendeter Methoden. Dies betrifft sowohl die eigenen als auch die von Antragstellern vorgelegten Analysen. Weiterhin erarbeitet sich das BASE mit Hilfe der Forschungsergebnisse den nötigen fachlichen Hintergrund, um die Methodenentwicklung und Diskussion auf nationaler und internationaler Ebene mitzugestalten.

Fragestellungen in diesem Themenfeld sind bspw.:

- Existieren Nichtkonservativitäten in angewendeten Analyseverfahren?
- Sind Sicherheitsmargen bei der Anwendung einer Methode notwendig?
- Wie kann die Validierungspraxis für Rechenprogramme verbessert werden?
- Mit welchen Unsicherheiten sind die Ergebnisse der Rechenmethoden behaftet?
- Gibt es nicht berücksichtigte Effekte, die die Sicherheit einschränken können?
- Wie können mathematisch komplexe Sachverhalte wie Korrelationen mit vertretbarem Aufwand berücksichtigt werden?
- Was ist die Quelle von Abweichungen zwischen Rechen- und Messergebnissen?



4.2 Sicherung

Voraussetzung für die Erteilung von Genehmigungen für die Beförderung sowie die Aufbewahrung von Kernbrennstoffen ist gemäß § 4 (2) Nr. 5 und § 6 (2) Nr. 4 AtG, dass der erforderliche Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD) gewährleistet ist. Dieses Themengebiet wird allgemein als „Sicherung“ bezeichnet und beinhaltet insbesondere Prüfungen der von der Genehmigungsinhaberin und dem Genehmigungsinhaber zu ergreifenden Sicherungsmaßnahmen gegen Terror- und Sabotageakte. Zentrale sicherungstechnische Forschungsaspekte sind u. a. die Bewertung der radiologischen Auswirkungen eines gezielt herbeigeführten Flugzeugabsturzes, die Bestimmung und Bewertung der maximalen thermischen und mechanischen Belastungsgrenzen der Transport- und Lagerbehälter sowie die Bestimmung der radiologischen Auswirkungen von SEWD unabhängig von einer konkreten Transportkonfiguration.

Vergleichende Rechenmodelle und Simulationen im Hinblick auf den gezielt herbeigeführten Flugzeugabsturz

Gezielte terroristische Einwirkungen unter Verwendung gängiger Verkehrsflugzeuge entziehen sich weitestgehend der technisch-wissenschaftlichen Erfahrung. Die Übertragbarkeit von Erkenntnissen aus unfallbedingten Absturzszenarien ist erheblich eingeschränkt. Insofern gibt es keine unmittelbar verwendbaren technischen Maßstäbe für die Bewertung von Annahmen im Hinblick auf dieses Szenario. In Anbetracht fehlender Erfahrungen, Regelungen und internationaler Bewertungsweisen kommen daher im Rahmen der sicherungstechnischen Prüfung dieses Szenarios insbesondere ingenieurtechnische Einschätzungen zum Tragen. Die Begründetheit, Belastbarkeit und Willkürfreiheit dieser ingenieurtechnischen Einschätzungen sind sowohl für die Öffentlichkeit als auch die Gerichte in der Regel nur schwer nachvollziehbar. Erschwerend tritt hinzu, dass eine detaillierte Darstellung der Prüfungen sowie der den Prüfungen zugrunde liegenden Annahmen größtenteils bereits aus Gründen des Geheimnisses nicht möglich ist. Eine Validierung der bisherigen Berechnungen zu den radiologischen Folgen eines gezielt herbeigeführten Flugzeugabsturzes ist deshalb geboten.

Zum einen kann hierdurch die Datenbasis im Hinblick auf die Auswirkungen eines gezielt herbeigeführten Flugzeugabsturzes vergrößert werden. Zum anderen können die gewonnenen Erkenntnisse dazu dienen, die Vorgehensweise des BASE in Genehmigungsverfahren nach § 6 AtG zu bestätigen sowie die Argumentationslinie des BASE in möglichen Gerichtsverfahren zu stärken. Die Validierung sollte anhand der Durchführung von vergleichenden Rechenmodellen und Simulationen, z. B. in Form von Berechnungen mittels der Finite-Elemente-Methode (FEM), erfolgen. Alternativ besteht inzwischen auch die Möglichkeit einer vollständigen numerischen Simulation dieses Szenarios. Zudem ist im Hinblick auf einzelne Teilaspekte dieses Szenarios die Durchführung von experimentellen Versuchen angezeigt.

In diesem Feld ergeben sich damit folgende Forschungsfragen:

- Sind neuere und effektivere Rechenmodelle zur Bewertung der radiologischen Auswirkungen eines gezielt herbeigeführten Flugzeugabsturzes vorhanden? Sind diese Rechenmodelle hinreichend validiert und verifiziert?
- Kommen diese neuen Rechenmodelle im Hinblick auf die Bewertung der radiologischen Auswirkungen eines gezielt herbeigeführten Flugzeugabsturzes zu vergleichbaren Ergebnissen? Falls nicht, was ist die Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse und welche Bedeutung kommt den Differenzen im Hinblick auf die Verwaltungspraxis des BASE in Genehmigungsverfahren nach § 6 AtG zu?
- Können die Berechnungen zur Bewertung der radiologischen Auswirkungen eines gezielt herbeigeführten Flugzeugabsturzes – zumindest in Bezug auf Teilaspekte – experimentell bestätigt werden?

Maximale thermische und mechanische Belastungsgrenzen der Transport- und Lagerbehälter

In Genehmigungsverfahren nach § 6 AtG wird das Verhalten der Transport- und Lagerbehälter unter mechanischen und thermischen Lasteinwirkungen bei einem gezielt herbeigeführten Flugzeugabsturz auf ein Kernbrennstoffzwischenlager bewertet. Bisher wurde nachgewiesen, dass eine erhebliche Freisetzung von radioaktiven Stoffen infolge dieses Szenarios sicher ausgeschlossen werden kann.

Daher bestand bislang nicht die Notwendigkeit, die maximalen thermischen und mechanischen Belastungsgrenzen der Transport- und Lagerbehälter im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach § 6 AtG zu bestimmen.

Anhand von Berechnungen, Simulationen sowie ggf. experimentellen Versuchen sollen die maximalen thermischen und mechanischen Belastungsgrenzen der Transport- und Lagerbehälter bestimmt werden.

Eine Bestimmung dieser Aspekte ermöglicht dem BASE, insbesondere im Rahmen von Gerichtsverfahren oder Diskussionen mit der Öffentlichkeit, fundiert auf über die eigentlichen Aspekte des Genehmigungsverfahrens hinausgehende Fragestellungen zum gezielt herbeigeführten Flugzeugabsturz zu reagieren. Zudem können die Erkenntnisse genutzt werden, um dem Informations- und Transparenzbedürfnis der Öffentlichkeit zu entsprechen und zugleich der Notwendigkeit des Geheimschutzes zur Gewährleistung der sicheren Aufbewahrung im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach § 6 AtG Rechnung zu tragen.

Fragestellungen in diesem Feld sind z. B.:

- Was sind die maximalen mechanischen und thermischen Belastungsgrenzen der Transport- und Lagerbehälter?
- Bis zu welcher Temperatur bzw. Dauer der thermischen Belastung können die derzeit angesetzten Freisetzungsraten bestätigt werden?
- Treten bei einer größeren thermischen oder mechanischen Belastung der Transport- und Lagerbehälter Effekte auf, die bei bestimmten thermischen oder mechanischen Belastungen sprunghaft zu extremen Freisetzungen radioaktiver Stoffe führen?

Entwicklung von generischen Rechenmodellen zur Bestimmung der radiologischen Auswirkungen von SEWD unabhängig von der konkreten Transportkonfiguration

In den vergangenen Jahren wurde das sicherungstechnische Regelwerk für die Beförderung von Kernbrennstoffen umfassend überarbeitet. In Abhängigkeit vom zu befördernden Material, dem eingesetzten Behälter etc. können nunmehr auch Freisetzungsberechnungen im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach § 4 AtG erforderlich werden.

In Ermangelung einer vorhandenen Datenbasis werden derzeit die Freisetzungsberechnungen anhand der konkreten Transportkonfiguration durchgeführt, was aufgrund des erforderlichen Aufwandes zur Erstellung der notwendigen Rechenmodelle hierfür grundsätzlich zu aufwendigen Prüfungen führt. Im Interesse einer zügigen und effektiven Durchführung von Genehmigungsverfahren nach § 4 AtG, in denen eine Freisetzungsberechnung zu erfolgen hat, ist es angezeigt, generische Rechenmodelle zu entwickeln, anhand derer die radiologischen Auswirkungen von SEWD bestimmt werden können. Sofern es gelingt, ein auf konkrete Transportkonfigurationen übertragbares generisches Rechenmodell, welches selbst nicht einfach sein muss, zur Bestimmung der radiologischen Auswirkungen von SEWD zu entwickeln, können die sicherungstechnischen Prüfungen in Genehmigungsverfahren nach § 4 AtG, in denen Freisetzungsberechnungen durchzuführen sind, deutlich effizienter bearbeitet werden.

Fragestellungen in diesem Feld sind z. B.:

- Gibt es generische Rechenmodelle, anhand derer die radiologischen Auswirkungen unabhängig von der konkreten Transportkonfiguration bestimmt werden können?
- In welcher Weise hat die Transportkonfiguration Auswirkungen auf den Grad der Freisetzung?

5.
Endlagerstandort
mit der
bestmöglichen
Sicherheit

5.1

Umsetzung des Standortauswahlverfahrens

5.2

Anforderungen und Kriterien des StandAG

5.3

Methoden zur Erkundung, Untersuchung und Auswertung

5.4

Prozessverständnis und naturwissenschaftliche Zusammenhänge

5.5

Sicherheitskonzepte und Bewertungsmethoden

5.6

Szenarienentwicklung

5.7

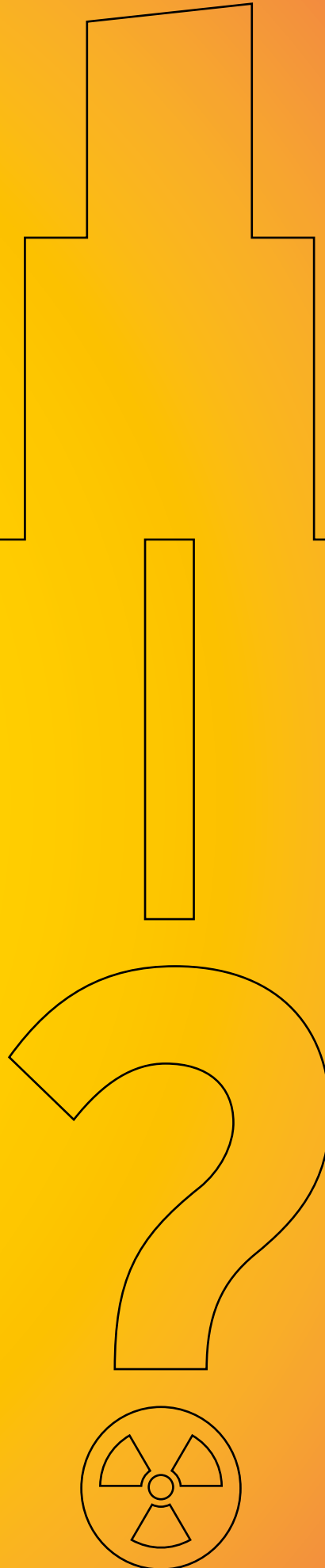
Sicherheitsbetrachtungen

5.8

Nachweisführung für die technische Machbarkeit von Endlagerkomponenten

5.9

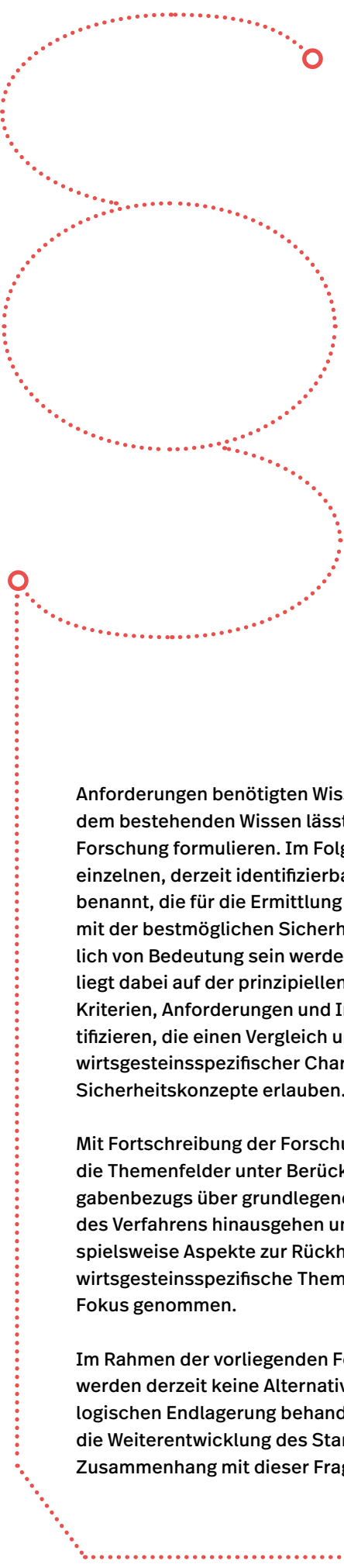
Bewertungsmaßstäbe und Vergleichsmöglichkeiten



Auf Grundlage des am 16.05.2017 in Kraft getretenen Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (StandAG) ist in Deutschland für die im Inland verursachten hochradioaktiven Abfälle der Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für die Errichtung eines Endlagers zu ermitteln. Entsprechend der gesetzlichen Regelung soll die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen erfolgen, für die grundsätzlich die Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein in Betracht kommen. Das Verfahren zur Auswahl des Standortes mit der bestmöglichen Sicherheit und die im Verfahren anzuwendenden Anforderungen und Kriterien sind im StandAG formuliert und definiert.

Zur Identifizierung der im Bereich der Forschung zu betrachtenden Themenkomplexe im Rahmen des Standortauswahlverfahrens und der Endlagersicherheit orientiert sich das BASE an den international anerkannten Inhalten des Safety Case und dem Vorgehen bei dessen Erstellung. Gemäß Definitionen der IAEA (IAEA 2012) und OECD/NEA (OECD 2013) verfolgt der Safety Case insbesondere das Ziel, über den gesamten Zeitraum des Projektes die Argumente zu dokumentieren, aus denen letztendlich die Sicherheit eines Endlagers abzuleiten ist. Dabei wird nicht nur auf den aktuellen Wissensstand fokussiert, sondern es werden ausdrücklich auch die im Laufe des Projektes noch zu klärenden Fragen thematisiert (Forschungsbedarf) sowie der Umgang mit noch verbleibenden Ungewissheiten diskutiert. In diesem Prozess ist für sämtliche Entscheidungsschritte eine transparente und nachvollziehbare Dokumentation notwendig.

Im Hinblick auf das Standortauswahlverfahren leiten sich der Forschungsbedarf wie auch die inhaltliche und zeitliche Ausrichtung der Forschung aus den fachlichen und aufsichtlichen Aufgaben des StandAG und den zugehörigen Verordnungen ab (der Forschungsbedarf zur Öffentlichkeitsbeteiligung wird in Kapitel 6.1 aufgeführt). Durch Identifizierung von Lücken und Defiziten zwischen dem zur Erfüllung der gesetzlichen



Anforderungen benötigten Wissensstand und dem bestehenden Wissen lässt sich der Bedarf an Forschung formulieren. Im Folgenden werden die einzelnen, derzeit identifizierbaren Themenfelder benannt, die für die Ermittlung des Standortes mit der bestmöglichen Sicherheit voraussichtlich von Bedeutung sein werden. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der prinzipiellen Herausforderung, Kriterien, Anforderungen und Indikatoren zu identifizieren, die einen Vergleich unterschiedlicher wirtsgesteinsspezifischer Charakteristika und Sicherheitskonzepte erlauben.

Mit Fortschreibung der Forschungsagenda werden die Themenfelder unter Berücksichtigung des Aufgabenbezugs über grundlegende Fragestellungen des Verfahrens hinausgehen und es werden beispielsweise Aspekte zur Rückholbarkeit sowie wirtsgesteinsspezifische Themen stärker in den Fokus genommen.

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsagenda werden derzeit keine Alternativen zur tiefeologischen Endlagerung behandelt. Dennoch wird die Weiterentwicklung des Standes von W&T in Zusammenhang mit dieser Fragestellung verfolgt.

5.1 Umsetzung des Standortauswahl- verfahrens

Im StandAG wird der grundsätzliche Ablauf der Standortauswahl für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle festgeschrieben. Das Verfahren ist nicht nur national ein Einzelfall, sondern auch international in dieser Form noch nicht vergleichbar umgesetzt worden. In vielen Punkten kann daher nicht auf Erfahrungswerte Dritter zurückgegriffen werden. Die Umsetzung des Standortauswahlverfahrens stellt das BASE vor neue Herausforderungen. Damit das BASE eigene Bewertungsgrundlagen und Prüfkataloge erstellen kann, müssen Schnittstellen, Pfadabhängigkeiten sowie Handlungsbedarfe innerhalb der Umsetzung des Standortauswahlverfahrens definiert und bekannt sein. Insbesondere ist es wichtig zu wissen, wann im Verfahrensablauf von den Verantwortlichen und vor allem dem BASE verfahrensrelevante Entscheidungen getroffen werden müssen und welche möglichen Auswirkungen auf den weiteren Prozessablauf damit verbunden sein können.

Gleichzeitig benötigt das BASE Wissen zu den möglichen Handlungsspielräumen der jeweiligen Verfahrensbeteiligten. Diese Kenntnisse unterstützen das BASE dabei, Prozess- und Terminrisiken im Standortauswahlverfahren frühzeitig zu erkennen und den Verfahrensablauf zu optimieren. Gleichzeitig eröffnen sie dem BASE die Gelegenheit, Lösungen für verschiedene generische Fallbeispiele zu erarbeiten und vorzubereiten, um somit im Standortauswahlverfahren schnell und lösungsorientiert handeln zu können. Darüber hinaus muss möglicher weiterer Forschungsbedarf zu den einzelnen Themenfeldern des Standortauswahlverfahrens im Allgemeinen oder zum Prozess selbst identifiziert und spezifiziert werden.

5.2 Anforderungen und Kriterien des StandAG

Die §§ 22 bis 25 StandAG legen qualitative und quantitative Anforderungen und Kriterien für die Auswahl eines Standortes für hochradioaktive Abfälle fest. Die Anlagen 1 bis 12 des StandAG spezifizieren die geowissenschaftlichen (§ 24) und planungswissenschaftlichen (§ 25) Abwägungskriterien und unterteilen diese in verschiedene Wertungsgruppen. Allerdings enthält das StandAG keine detaillierte wissenschaftliche Begründung insbesondere der quantitativen Anforderungen und Kriterien sowie der Einteilung in die verschiedenen Wertungsgruppen. Auch gibt das StandAG keine Handlungsanweisungen oder Hinweise, wie mit Unsicherheiten einzelner Daten bzw. Datensätze sowie mit Datenlücken in Bezug auf die Beurteilung und Anwendung der §§ 22 bis 25 umzugehen ist.

Die Entscheidungen im Rahmen des Standortauswahlverfahrens erfordern eine präzise und transparente Dokumentation der Entscheidungsgrundlagen. Ferner lassen sich getroffene Entscheidungen nur dann vermitteln, wenn nachvollziehbar ist, auf welchen Begründungen die angewandten Anforderungen und Kriterien basieren und wie diese anzuwenden sind. Auch mögliche Rücksprünge im Verfahren lassen sich nur dann begründen, wenn die Grundlagen für frühere Entscheidungen hinreichend belegt und dokumentiert sind. Dadurch ergeben sich auch Fragestellungen zum Umgang mit verschiedenen Arten von Ungewissheiten, die den Daten und Datenlücken innewohnen.

5.3 Methoden zur Erkundung, Untersuchung und Auswertung

Die Vorhabenträgerin BGE hat die nach § 15 StandAG bestimmten Standortregionen übertägig zu erkunden und günstige Standorte zu ermitteln und vorzuschlagen. Anschließend hat sie die nach § 17 StandAG bestimmten Standorte untertägig zu erkunden. Sowohl für die übertägige als auch untertägige Erkundung erarbeitet die Vorhabenträgerin standortbezogene Erkundungsprogramme und Prüfkriterien nach Maßgabe der Anforderungen und Kriterien der §§ 22 bis 24 StandAG sowie den Anforderungen an die weiterentwickelten und umfassenden, vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß § 27 StandAG. Dem BASE obliegt es, diese Erkundungsprogramme und Prüfkriterien zu prüfen und abschließend festzulegen. Es ist dabei sicherzustellen, dass Erkundungs- und Untersuchungsmethoden gewählt werden, die dem Stand von W&T entsprechen und Ergebnisse liefern, die eine belastbare und nachvollziehbare Anwendung der Anforderungen und Kriterien erlauben, aber auch den spezifischen Charakteristika der einzelnen Wirtsgesteine Rechnung tragen.

Für die Erfüllung dieser Aufgabe ist es erforderlich, dass sich das BASE einen vollständigen Überblick bereits existierender oder sich in der Entwicklung befindlicher Erkundungs- und Untersuchungsmethoden verschafft. Hierbei ist zu berücksichtigen, welche Charakteristika und Randbedingungen (Nachweissgrenzen, Anwendungsbeschränkungen, Messunsicherheiten, zeitlich beeinflussende Faktoren etc.) für die einzelnen Methoden gelten. Hierauf aufbauend muss das BASE bewerten, welche der Methoden für die geforderten Erkundungsziele geeignet sind. Des Weiteren sind mögliche Methoden zur Auswertung der jeweiligen Daten kritisch zu analysieren und ggf. zu entwickeln. Im Falle mehrerer in Betracht kommender Methoden muss das BASE die jeweiligen Vor- und Nachteile und die daraus erwachsenden möglichen Konsequenzen bei der Anwendung der Anforderungen und Kriterien betrachten und bewerten. Unterschiedliche Bewertungsmöglichkeiten sind dabei nicht allein für die zukünftig zu generierenden Erkundungs- und Untersuchungsergebnisse wichtig, sondern bereits bei der Auswertung vorhandener Daten für die Ermittlung der Teilgebiete zu berücksichtigen. Hierbei ist insbesondere auf unterschiedliche Datenqualitäten sowie räumliche und zeitliche Auflösung zu achten.

5.4 Prozessverständnis und naturwissenschaftliche Zusammenhänge

Von zentraler Bedeutung für den gemäß StandAG zu ermittelnden Endlagerstandort mit der bestmöglichen Sicherheit ist die Langzeitsicherheit. Um diese bewerten zu können, ist ein wirtsgesteinspezifisches Verständnis der relevanten Prozesse und naturwissenschaftlichen Zusammenhänge sowohl im Nah- als auch im Fernfeld erforderlich. Wesentliche Elemente für Betrachtungen der Langzeitsicherheit sind die einzulagernden radioaktiven Abfälle (Menge, Art, radiologische und stoffliche Eigenschaften, Anordnung etc.) sowie gekoppelte thermische, hydraulische, mechanische und chemische/biologische (THMC/B) Prozesse und ihre Abhängigkeit von internen und externen Rahmenbedingungen. Ein fundiertes Verständnis der (möglicherweise) ablaufenden Prozesse ist notwendig, um die numerischen Betrachtungen und Modellierungen der Langzeitsicherheitsanalysen durchführen zu können. Zentrale interne Prozesse im Endlagersystem sind der radioaktive Zerfall und die daraus (unter Berücksichtigung weiterer, spezifischer Informationen) ableitbare zeitliche Änderung der Zusammensetzungen der Abfälle, die Temperaturentwicklung sowie eine Gasentwicklung bzw. -freisetzung. Externe Prozesse sind beispielsweise Änderungen des gebirgsmechanischen Spannungszustandes sowie Änderungen hydrodynamischer (z. B. verstärkter Lösungszufluss) oder hydrogeochemischer (z. B. veränderte Grundwasserzusammensetzung) Parameter. Neben der Betrachtung des Gesamtsystems muss auch die Betrachtung von Teilsystemen erfolgen. Dies erfordert ein hinreichend detailliertes Verständnis für die im Nah- und Fernfeld der einzulagernden radioaktiven Abfälle ablaufenden Prozesse sowie ihrer wechselseitigen Abhängigkeiten und Beeinflussungen.

Wichtig für ein entsprechendes Prozessverständnis sind einerseits eine qualifizierte und validierte Datenbasis, andererseits eine auf die zu betrachtenden Zeiträume belastbare Modellierung. Wie verschiedene Arten von Unsicherheiten in solchen Modellierungen am besten berücksichtigt werden können, ist eine der entscheidenden Fragen, der in den nächsten Jahren nachgegangen werden muss.

Zu den elementaren Eingangsgrößen in vielen Modellierungen gehören thermodynamische Daten, welche experimentell in Laboren ermittelt werden können. Allerdings sind z. B. gerade für Radionuklide und ihre Verbindungen bei erhöhten Temperaturen, wie sie im Umfeld der Behälter mit hochradioaktiven Abfällen zu erwarten sind, kaum experimentelle Daten verfügbar. Diese Datenlücken werden derzeit durch Schätzungen bzw. Übertragung von Daten aus bekannten, chemisch ähnlichen Systemen geschlossen, ermittelt bzw. extrapoliert.

Das für eine Bewertung der Langzeitsicherheit notwendige Prozessverständnis erfordert somit Forschungstätigkeit auf verschiedenen Ebenen. So erfordern einige Aspekte von (repräsentativen) Sicherheitsuntersuchungen und generellen Betrachtungen der Langzeitsicherheit eines Endlagers noch Verbesserungen im fundamentalen Prozessverständnis. Auch sind Arbeiten zu leisten, die die Übertragbarkeit und Abbildung von Prozessen in quantitative Modellierungen ermöglichen.

Themen sind beispielsweise:

- Ermittlung wirtsgesteinsspezifischer, belastbarer experimenteller Daten in den zu betrachtenden Szenarien (insbesondere bei erhöhten Temperaturen oder höher bis hochkonzentrierten salinaren Lösungen),
- Verhalten unterschiedlicher Abfallklassen (z. B. verschiedene Brennstabtypen und verglaste hochradioaktive Abfälle) unter Endlagerbedingungen inklusive dem Verständnis des Freisetzungsverhaltens der Radionuklide,
- (Weiter-)Entwicklung und Überprüfung bestehender numerischer THMC/B-Modelle bzw. Modellierungsansätze für eine eigenständige und unabhängige Bewertung der Prozesse auf verschiedenen Skalen,
- Korrosions-/Alterationsverhalten technischer und geotechnischer Materialien,
- Sorption von Radionukliden an den unterschiedlichen Barrieren eines Endlagers,
- Quantifizierung der Unsicherheiten und Entwicklung einer Methodik zum Umgang mit diesen Unsicherheiten im Rahmen von Modellierungen.

Zudem muss das BASE in der Lage sein, die Berücksichtigung des Standes von W&T in naturwissenschaftlich-fachlichen Aspekten des Standortauswahlverfahrens prüfen und bewerten zu können. Durch experimentelle Labor- oder in situ-Untersuchungen sowie Modellierungsvorhaben, beispielsweise im Rahmen geeigneter Kooperationen mit (inter-)nationalen Institutionen, kann dieses Prozessverständnis verbessert werden und Eingang in die Suche nach einem Endlagerstandort finden.

5.5 Sicherheitskonzepte und Bewertungsmethoden

Ein grundlegender Schritt bei der Planung eines Endlagerkonzeptes ist die Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes und einer sicherheitsgerichteten Bewertungsmethode für das Langzeitverhalten. Das Sicherheitskonzept beschreibt dabei zunächst, durch welche geologischen Gegebenheiten und technischen Maßnahmen die geforderte Sicherheit für ein Endlager erreicht werden kann. Für die unterschiedlichen Wirtsgesteine kommen dabei unterschiedliche Grundsätze zur Anwendung.

Intaktes Steinsalz ist unter Idealbedingungen praktisch undurchlässig für Lösungen und Gase. Daher wird für dieses Wirtsgestein der vollständige Einschluss der Abfälle angestrebt. Lösungen von außerhalb des Wirtsgesteins kommen somit bei intakter Barriere nicht in Kontakt mit den Abfällen, und eine Ausbreitung von Radionukliden wird vollständig verhindert. Es ist jedoch zu zeigen, dass das Steinsalz im Bereich des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) über den Bewertungszeitraum integer bleibt. Aufgrund der Löslichkeit von Steinsalz gegenüber ungesättigten Salzlösungen besteht eine zentrale Anforderung darin, dass ein Kontakt des Wirtsgesteins mit ungesättigten Salzlösungen ausgeschlossen ist. Das Wirtsgestein Tongestein ist zwar nicht als dicht anzusehen, jedoch kann das Gestein so gering durchlässig sein, dass der Transport von Radionukliden ausreichend verzögert wird, um ihren sicheren Einschluss zu gewährleisten. Dazu müssen jedoch Richtung und Geschwindigkeit der bevorzugten Transportwege identifiziert werden. Auch müssen die Sorptionseigenschaften des Tongesteins gegenüber zahlreichen Radionukliden berücksichtigt werden, die zusätzlich transportverzögernd wirken.

Im Kristallin basiert das Sicherheitskonzept im Wesentlichen auf dem Erhalt der Integrität der geotechnischen und technischen Barrieren über den gesamten Bewertungszeitraum von einer Million Jahren. Das Gebirge schützt den Behälter dabei weitestgehend vor mechanischen Einwirkungen. Bei bekanntem und prognostizierbarem geochemischen Milieu muss der Behälter dann ausreichend korrosionsstabil ausgelegt werden, um eine Freisetzung von Radionukliden während des Bewertungszeitraums zu verhindern. Für alle drei grundsätzlich in Frage kommenden Wirtsgesteine liegen national und international

bereits generische Sicherheits- und Endlagerkonzepte vor. Mit zunehmendem Kenntnisgewinn sind diese im Laufe des weiteren Verfahrens zu spezifizieren und an die vorgefundenen Gegebenheiten anzupassen.

Für die im Sicherheitskonzept beschriebenen Komponenten und die an sie gestellten Anforderungen sind geeignete Bewertungskonzepte zu entwickeln und es sind Bewertungsmethoden anzuwenden, um die geforderten Eigenschaften und Funktionen gewährleisten zu können. Diese Bewertungsmethoden haben sich am Stand von W&T zu orientieren und müssen zusätzlich Ungewissheiten und deren Abhängigkeiten berücksichtigen. Bei Weiterentwicklungen des Standes von W&T müssen die Bewertungsmethoden einerseits angepasst werden, andererseits ist zu beurteilen, inwieweit die Weiterentwicklungen einen Einfluss auf die bereits getroffenen Sicherheitsaussagen haben.

Neben diesen generellen Forschungsthemen zu den Sicherheitskonzepten und Bewertungsmethoden gibt es zwei weitere Aspekte, die für das deutsche Standortauswahlverfahren wichtig sind. Das StandAG schreibt in § 27 (5) vor, dass im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen eine Beurteilung erfolgen soll, inwiefern zusätzlich zu den hochradioaktiven Abfällen eine Endlagerung von schwach- bis mittelradioaktiven Abfällen am gleichen Standort erfolgen kann, ohne dabei die Sicherheit in Bezug auf die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle negativ zu beeinflussen. Die Auswirkungen dieser gesetzlichen Vorgabe auf die Standortauswahl und die Sicherheitskonzepte sind zu analysieren und im weiteren Prozess zu berücksichtigen.

Weiterhin ist der Einfluss der gesetzlich geforderten Gewährleistung der Rückholbarkeit und der Ermöglichung einer Bergung der Abfälle auf die bereits bestehenden Sicherheitskonzepte zu prüfen und der sich für die Langzeitsicherheitsbewertungen ergebende Änderungsbedarf auszuweisen, um ihn bei weiterführenden Planungen und Prüfungen berücksichtigen zu können. Für die Phase nach Verschluss des Endlagers sind die Anforderungen an ein mögliches Überwachungskonzept zu entwickeln, anhand dessen kontrolliert werden kann, ob sich das Endlager-system in Bezug auf sicherheitsrelevante Aspekte entsprechend der Planung entwickelt.

5.6 Szenarientwicklung

Die Szenarientwicklung ist ein fundamentaler Baustein der Langzeitsicherheitsanalyse, die die Sicherheit eines Endlagers in der Nachverschlussphase bewertet. Durch die systematische Analyse von möglichen Ereignissen, den Bedingungen am Standort sowie den ablaufenden Prozessen innerhalb des Endlagers und seiner Umgebung werden zukünftige mögliche Entwicklungen als relevante Szenarien identifiziert und ausführlich beschrieben.

Bereits in den vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß § 27 StandAG soll bewertet werden, inwieweit der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle unter Ausnutzung der geologischen Standortgegebenheiten erwartet werden kann. Dabei werden Aspekte betrachtet, die sich auf die Szenarientwicklung für die Nachverschlussphase beziehen. Allerdings gibt es keine genauen Anforderungen hinsichtlich der Anwendung und Entwicklung einer Methode zur systematischen Ableitung von Szenarien im Verlauf des Standortauswahlverfahrens. Hierzu besteht Klärungs- und Forschungsbedarf.

Folgende Betrachtungen sind für die systematische Ableitung von relevanten Szenarien im Verlauf des Standortauswahlverfahrens in Abhängigkeit von der jeweiligen Datenlage zu dokumentieren und durch Forschungstätigkeiten zu untermauern, gegebenenfalls zu bearbeiten und zu vertiefen:

- Vollständigkeit der „Features, Events and Processes“ (FEPs),
- Einordnung von unterschiedlich zu bewertenden Entwicklungen,
- Umgang mit Ungewissheiten,
- Gegenüberstellung genereller und standortbezogener Methoden zur systematischen Ableitung von Szenarien,
- Ermittlung der phasenbezogenen Anwendbarkeit,
- Qualitätseinschätzung zu den Methoden.

Ziel ist es, die Robustheit des Endlagersystems und der einzelnen Komponenten zu verifizieren.

5.7 Sicherheits- betrachtungen

Im Zuge der Fortschreibung der Forschungsagenda werden Vorgaben, die sich aus den derzeit in Erarbeitung befindlichen Verordnungen zu den §§ 26 und 27 StandAG ergeben können, bei der Identifizierung und Formulierung der Forschungsbedarfe des BASE berücksichtigt. Das Standortauswahlverfahren und das Genehmigungsverfahren für ein Endlager erfordern transparente und nachvollziehbare Methoden zur Entscheidungsfindung. Um dem Primat der Sicherheit gerecht zu werden, sind verschiedene Sicherheitsanalysen, u. a. zur Kritikalitätssicherheit, notwendig. Alle Elemente zur Bewertung der Sicherheit eines Standorts zur Endlagerung werden unter dem Begriff „Sicherheitsbetrachtungen“ zusammengefasst (DAEF 2017). Zur Sicherheitsbewertung ist die Darstellung des Standes von W&T hinsichtlich der angewendeten Methodik notwendig.

Im Verlauf des Standortauswahlverfahrens werden numerische Modelle ein wesentlicher Bestandteil dieser Methodik sein. Zunächst muss das BASE die Möglichkeiten und Grenzen von verbal-argumentativen Vorgehensweisen und numerischen Modellierungen beurteilen und anschließend für die anzuwendenden Modelle Anforderungen entwickeln. Bei der numerischen Modellierung sind spezielle Anforderungen für deterministische und probabilistische Modelle zu erarbeiten. Gleiches gilt für die jeweiligen Voraussetzungen, unter denen realistisch oder konservativ zu modellieren ist. Darüber hinaus sind auch Empfehlungen hinsichtlich der Kombination der anzuwendenden Methoden zur Erhöhung der Aussagekraft zu erarbeiten.

Bei einer Modellierung handelt es sich um die Approximation des realen Verhaltens. Sowohl bei der physikalisch-chemischen als auch bei der numerischen Umsetzung der Modellierung treten Unschärfen auf. Die im Rahmen der Sicherheitsanalysen betrachteten Zeiträume für die Entwicklung eines Endlagersystems über eine Million Jahre gehen über die experimentell überprüfbaren Zeiträume weit hinaus. Aussagen über die Gültigkeiten der Modellannahmen können daher nur für einen Teilbereich der Betrachtungen erfolgen.

Es sind daher Anforderungen an die Validierung und Kalibrierung von numerischen Modellen zu entwickeln.

Neben der eigentlichen Umsetzung der Modellierung spielt der gewählte Code selbst eine wichtige Rolle. Bei der Entwicklung eines Codesystems ist darauf zu achten, dass die Umsetzung der physikalisch-chemischen Modellierung dem Stand von W&T und der jeweils zu beantwortenden Frage entspricht. Grundlage hierfür ist zunächst eine systematische Auswertung von Forschungsvorhaben, die sich mit den Möglichkeiten und Grenzen von Modellierung und der Validierung/Verifizierung bereits auseinandergesetzt haben. Die Nachvollziehbarkeit der Implementierung ist einerseits zur Qualitätssicherung notwendig, andererseits ist dies auch ein bedeutendes Element des Wissensmanagements bzw. des Kompetenzerhalts und trägt zugleich zur Transparenz des Vorgehens bei. Diesbezüglich ist auch zu prüfen, ob die Modellierung in frei verfügbaren Open-Source-Programmen umgesetzt werden kann. Dabei sind Anforderungen an die Strategie zur Dokumentation und Verifizierung eines Codes zu entwickeln.

5.8 Nachweisführung für die technische Machbarkeit von Endlagerkomponenten

Die genehmigungsfähige Planung eines Endlagers umfasst neben den theoretischen Nachweisführungen auch die praktischen Belege der technischen Machbarkeit und der geforderten Funktionalität für technische Maßnahmen unter den gegebenen Randbedingungen am Standort. In der Regel werden hierbei sowohl labortechnische Methoden als auch Labor- und In-situ-Versuche herangezogen. Diese sind sowohl für die Errichtung des Bergwerks, die Funktionalität der gesamten Infrastruktur während der Betriebs- und Verschlussphasen als auch für geplante Bauwerke oder technische Maßnahmen und die dabei zur Anwendung kommenden Materialien zu erbringen. Durch die Anforderungen des StandAG bezüglich der Rückholbarkeit sowie der Ermöglichung einer Bergung sind wirtsgesteinsspezifische Untersuchungen an den unterschiedlichen Behältertypen durchzuführen, um den Beleg für die technische Machbarkeit zu erbringen.

Während die theoretischen Nachweisführungen dem Stand von W&T entsprechen müssen, ist für die technische Machbarkeit der Nachweis nach Stand der Technik gefordert. Für diese zu erbringenden Nachweise sind Anforderungen für die Prüfung durch das BASE zu formulieren sowie Kriterien für experimentelle und rechnerische Nachweise zu entwickeln.

Bei der Endlagerung existieren zudem vielfach Anforderungen an die technischen Funktionsnachweise, die über das hinausgehen, was nach heutigem Stand von W&T mess- und ermittelbar ist. Diese Problematik bezieht sich sowohl auf einzelne Messgrößen als auch nachzuweisende Zeiträume. Es ist zu klären, inwieweit hier anerkannte Extrapolationsverfahren zur Anwendung kommen können oder diese neu zu entwickeln sind.

5.9 Bewertungsmaßstäbe und Vergleichsmöglichkeiten

Während des Standortauswahlverfahrens sind für die Identifizierung und Festlegung eines Endlagerstandortes mit der bestmöglichen Sicherheit mehrfache sicherheitsgerichtete Abwägungen auf Grundlage der in den §§ 24 und 25 StandAG definierten Kriterien sowie sicherheitsgerichtete Vergleiche und vergleichende Bewertungen im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen nach § 27 StandAG durchzuführen.

Insbesondere betrifft dies folgende Bereiche:

- Entwicklung von geeigneten wirtsgesteinsspezifischen Indikatoren,
- Ergebnisse der Sicherheitsuntersuchungen,
- sicherheitsgerichtete Abwägung der Ergebnisse der einzelnen Abwägungskriterien,
- Ergebnisse der geologischen Gesamtsituation,
- Ergebnisse der ermittelten Standortregionen und Standorte,
- Abwägung fachlicher, öffentlicher und privater Interessen.

Die bei verschiedenen vergleichenden Bewertungen angewendeten Methoden können einen großen Einfluss auf das Ergebnis haben. Eine tiefergehende Auseinandersetzung mit den Methoden ist daher notwendig, um ein transparentes und nachvollziehbares Verfahren gewährleisten zu können. Da unterschiedliche und komplexe Informationen miteinander verglichen werden müssen, ist hierfür zudem eine interdisziplinäre Herangehensweise notwendig.

Für die zuvor genannten Bewertungen und Vergleiche müssen bereits bestehende Methoden überprüft und ggf. weiterentwickelt werden. Dabei sind folgende Randbedingungen zu berücksichtigen:

- wirtsgesteinsspezifische wie auch wirtsgesteinsunabhängige Eigenschaften,
- Ungewissheiten aufgrund unterschiedlicher Datenverfügbarkeiten, -qualitäten und -vergleichbarkeiten,
- Entwicklung der Datenverfügbarkeit, -menge und -qualität während des Verfahrens,
- ganzheitliche Betrachtungsweise eines Standortes.



6.1
Öffentlichkeitsbeteiligung

6.2
Historisch-
sozialwissenschaftliche
Forschung

6.3
Informationsmanagement
und Langzeitdokumentation

6.4
Umgang mit Ungewiss-
heiten, Unsicherheiten und
fehlendem Wissen

6.5
Sicherheitsmanagement,
Sicherheitskultur,
menschliche und
organisatorische Faktoren

Das Primat der Sicherheit ist in Bezug auf die Aufgaben des BASE eine technisch-naturwissenschaftliche Herausforderung. Die Ereignisse und Diskussionen im Bereich der Kernenergie in den vergangenen Jahrzehnten haben allerdings gezeigt, dass es ebenso zentral ist, die Bevölkerung ausreichend zu informieren und in die entsprechenden Prozesse zu involvieren. Bürgerinnen und Bürger möchten frühzeitig und umfassend in die Planung und Umsetzung von öffentlichen Vorhaben eingebunden werden. Die Suche nach dem Endlagerstandort mit der bestmöglichen Sicherheit ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, bei der dies in besonderem Maße gilt.

Komplementär zu technisch-naturwissenschaftlichen Aufgaben in den Bereichen Reaktorsicherheit, Zwischenlagerung und Transporte sowie Endlagerung nuklearer Abfälle beschäftigt sich das BASE deshalb mit sozialwissenschaftlichen und soziotechnischen Fragestellungen. Dabei kommt der Öffentlichkeitsbeteiligung eine besondere Bedeutung zu.

6.1 Öffentlichkeits- beteiligung

Die Standortsuche für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle ist eine technisch-naturwissenschaftliche und eine gesellschaftliche Aufgabe. Durch die Entscheidung, die Nutzung der Kernenergie im Jahr 2022 zu beenden, eröffnet sich eine Chance, einen sachorientierten und offenen Dialog über die Fragen der kerntechnischen Entsorgung zu führen. Ziel des 2013 geschaffenen und 2017 novellierten StandAG ist es, in einem vergleichenden, partizipativen, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbsthinterfragenden und lernenden Verfahren den Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland zu ermitteln.

Für das BASE ist die Öffentlichkeitsbeteiligung bei der Standortauswahl nicht nur eine gesetzliche Aufgabe, sondern eine unabdingbare Voraussetzung für das Gelingen des Verfahrens und die Tolerierung der Entscheidung in der Standortregion. Das StandAG formuliert hohe Anforderungen an die Beteiligung der Öffentlichkeit im Auswahlverfahren. Als Träger der Öffentlichkeitsbeteiligung in der Standortauswahl kommt dem BASE hier eine besondere Verantwortung zu. Das BASE hat den Anspruch und die Aufgabe, den im StandAG formulierten Anforderungen gerecht zu werden, seine Aktivitäten im Laufe des Verfahrens kontinuierlich an neue Entwicklungen anzupassen sowie die ihm vom StandAG eingeräumten Freiräume zu nutzen und Beteiligungsformate innovativ zu gestalten und umzusetzen.

Die Ausgestaltung der Öffentlichkeitsbeteiligung sowohl bei der Standortauswahl als auch in weiteren Bereichen der kerntechnischen Entsorgung ist ein Schwerpunkt der BASE-Forschung. Sie dient dazu, Grundsatzfragen, Methoden und Instrumente der Öffentlichkeitsbeteiligung vor dem Hintergrund der sozialwissenschaftlichen Forschung zu innovativen Partizipationsverfahren systematisch zu reflektieren und für die Aufgaben des BASE zu konkretisieren.

Hier verfolgt das BASE einen Ansatz, der auch Wechselwirkungen zwischen Beteiligung und politischem System mit in den Blick nimmt.

Darüber hinaus hat das BASE in allen seinen Aufgabenbereichen den Anspruch, umfassend und verständlich zu informieren, um die Möglichkeit und die Bereitschaft der Bürgerinnen und Bürger zum Dialog und zur Teilhabe zu fördern. Hierzu gehören partizipative Lern- und Entscheidungsprozesse sowie die adressatenorientierte Aufbereitung und Vermittlung wissenschaftlicher Ergebnisse.

Wichtige Forschungsthemen im Bereich Öffentlichkeitsbeteiligung sind beispielsweise:

- Öffentlichkeitsbeteiligung im Rahmen des StandAG (wissenschaftlich-methodische Grundlagen zum gesetzlich geregelten Beteiligungsverfahren),
- Öffentlichkeitsbeteiligung in unterschiedlichen Bereichen der kerntechnischen Entsorgung außerhalb des Standortauswahlverfahrens vor dem Hintergrund des Primats der Sicherheit,
- Gestaltung des Standortauswahlverfahrens als selbsthinterfragendes und lernendes Verfahren,
- Aufrechterhaltung der Beteiligungsbereitschaft der Öffentlichkeit über einen langen Zeitraum, sowie eine langfristig angelegte repräsentative Erhebung zu Wissen, Einstellungen und Bedarfen in der Bevölkerung,
- Einbindung der jungen Generation in das Standortauswahlverfahren,
- Narrative und Zukunftsbilder im Themenfeld der Endlagerung,
- kontinuierliche Evaluation der Öffentlichkeitsbeteiligung im Standortauswahlverfahren,
- Bedeutung verfahrensbezogener Aushandlungsprozesse für die Akzeptanz von Entscheidungen,
- Risikokommunikation und -mündigkeit,
- Stakeholder Involvement: Betrachtung und Einbindung von Sichtweisen verschiedener Beteiligter und Interessengruppen, insbesondere mit Blick auf die Robustheit der Öffentlichkeitsbeteiligung hinsichtlich potenzieller Konflikte und Widerstände sowie sich ändernder Randbedingungen,
- Herausforderungen grenzüberschreitender Öffentlichkeitsbeteiligung unter Berücksichtigung unterschiedlicher politischer Systeme,
- Didaktik und Formate partizipativer Lern- und Entscheidungsprozesse sowie adressatenorientierter Wissensvermittlung.

6.2 Historisch- sozialwissenschaftliche Forschung

Historisch-sozialwissenschaftliche Aspekte im Bereich der kerntechnischen Sicherheit und der nuklearen Entsorgung zu berücksichtigen bedeutet, diese Bereiche als komplexe soziotechnische Systeme zu begreifen, deren Verständnis und Management multidisziplinäre Analysen erfordern. Der Neustart der Standortauswahl für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle ist nicht ohne seine historische Dimension zu verstehen. Die schrittweise Realisierung eines selbsthinterfragenden, lernenden und partizipativen Verfahrens muss auch das Wissen um die Entwicklungen der vergangenen Jahrzehnte, um Entscheidungsprozesse und Konflikte in Politik und Gesellschaft beinhalten. Auch im Rahmen der kerntechnischen Sicherheit gibt es historische und sozialwissenschaftliche Fragestellungen, deren Beantwortung die Aufgabenwahrnehmung in diesem Bereich unterstützen kann.

Dies gilt sowohl national als auch mit Blick in den internationalen Raum. Der wissenschaftlich fundierte, generationenübergreifende Diskurs über verbliebene Streitfragen und neue Forschungsergebnisse kann zum einen zu einem tieferen Verständnis und einem nachhaltigen Gelingen der Standortauswahl beitragen und zum anderen helfen, noch bestehende und/oder neu aufkeimende Konflikte zu verstehen. Problematische Situationen und Handlungsweisen können in ihrem historischen Kontext identifiziert und dahingehend geprüft werden, wie sie im Rahmen des neu geregelten Standortauswahlverfahrens bewältigt würden.

Die so gewonnenen Ergebnisse sollen der jungen Generation, zukünftigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in den beteiligten Institutionen und allen anderen, bislang unbeteiligten Bürgerinnen und Bürgern verlässliche Orientierung ermöglichen. Als Träger der Öffentlichkeitsbeteiligung im Standortauswahlverfahren wird der Fokus historisch-sozialwissenschaftlicher Forschung des BASE daher zunächst darauf liegen, Wechselwirkungen zwischen den staatlichen Akteurinnen und Akteuren und den organisierten Bürgerinnen und Bürgern in Vergangenheit und Gegenwart in ausgewählten Bereichen zu analysieren.

Hierbei sind politik-, partizipations- und kommunikationswissenschaftliche Anteile vorgesehen. Längerfristig ist auch daran gedacht, anlagen-spezifische Fragestellungen und Meilensteine der bisherigen Entwicklung näher zu untersuchen.

6.3 Informations- management und Langzeitdokumentation

Mit § 38 StandAG wird dem BASE die Aufgabe zugewiesen, Daten und Dokumente, die für die Zwischen- und Endlagerung radioaktiver Abfälle bedeutsam sind oder werden können, dauerhaft aufzubewahren und ihre Unversehrtheit sicherzustellen. Zum Zweck der Nachvollziehbarkeit und Reversibilität von Entscheidungen muss der Wissenserhalt für nachfolgende Generationen gewährleistet werden. Hierzu scheinen analoge und digitale Speichermedien geeignet zu sein. Aus Sicht des BASE setzt die Langzeitdokumentation ein zentrales Informationsmanagement mit klaren, einheitlichen Standards voraus. Es sind unterschiedliche Zwecke und Zeithorizonte zu berücksichtigen. Die Bedeutung der Langzeitdokumentation für Fragen der nuklearen Entsorgung wurde schon im Planfeststellungsbeschluss für das Endlager Konrad (NMU 2002) berücksichtigt und im BMU-Bericht „Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle“ (BMU 2010) gewürdigt. In internationalen Fachkreisen ist der Abstimmungsbedarf hinsichtlich endlagerrelevanter Dokumentation und ihrer Aufbewahrung bereits in den frühen 1970er Jahren erkannt worden. Seit Anfang der 1980er Jahre wird die Langzeitdokumentation vermehrt auch mit der Frage der Nutzung von Zeichen zur Übermittlung von Informationen in Verbindung gebracht und unter dem Begriff der Atomsemiotik bzw. „nuclear semiotics“ zusammengefasst. Der Stand der wissenschaftlichen Diskussion kann durch die Mitarbeit im OECD/NEA-Projekt „Preservation of Records, Knowledge & Memory (RK&M) across Generations“ (2011 - 2018) und die Mitgliedschaft in „nestor“, einem deutschen Kooperationsverbund von Partnerinnen und Partnern aus verschiedenen Bereichen, die mit dem Thema „Digitale Langzeitarchivierung“ zu tun haben, abgeschätzt werden. Absehbare Forschungsfragen umfassen insbesondere technische und strategische Fragen zu Speichermedien und Datenformaten, Prozeduren zur regelmäßigen Überprüfung und eventuellen Umschreibung der Speicherinhalte, die geeignete Markierung von Endlagerstandorten sowie Mechanismen zur internationalen Vereinheitlichung und Standardisierung von Vorgehensweisen und Begrifflichkeiten bei der Langzeitdokumentation.

Vorrangige Vorhaben in diesem Themenfeld sind beispielsweise:

- Evaluierung der Langzeitbeständigkeit von Papier,
- Evaluierung der Langzeitbeständigkeit digitaler Speichermedien.

6.4 Umgang mit Ungewissheiten, Unsicherheiten und fehlendem Wissen

Die Frage des transparenten und nachvollziehbaren Umgangs mit Ungewissheiten, Unsicherheiten und fehlendem Wissen ist für das BASE als Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde von zentraler Bedeutung. Die Kultur des BASE im Umgang mit diesen Fragen liefert einen erheblichen Beitrag zur Akzeptanz der notwendigen Entscheidungen, insbesondere wenn es sich um die nukleare Sicherheit handelt. Das Standortauswahlverfahren soll gemäß § 1 (2) StandAG partizipativ, wissenschaftsbasiert, transparent, selbsthinterfragend und lernend gestaltet werden. Für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bzw. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in den beteiligten Institutionen hat dies weitreichende Konsequenzen für die Arbeit, wie z. B. bei der Erstellung von Unterlagen. Für die Öffentlichkeitsbeteiligung (siehe 6.1) ergibt sich aus dieser Perspektive die Notwendigkeit einer für interessierte Bürgerinnen und Bürger sowie die breitere Öffentlichkeit verständlichen, offenen Kommunikation. Dies umfasst ebenso die Risikokommunikation.

Die erfolgreiche Durchführung des Standortauswahlverfahrens und die Errichtung des Endlagers sind ein voraussichtlich Jahrzehnte beanspruchendes, komplexes Vorhaben. Je weiter wir heute in diesem Verfahren in die Zukunft schauen, desto größer sind Ungewissheiten und die voraussichtlichen Veränderungen in Bezug auf unsere heutigen Rahmenbedingungen. Maßgebliche Einflussfaktoren entziehen sich aus heutiger Sicht der Vorhersagbarkeit und bringen Risiken für das Verfahren mit sich. Das Projektmanagement bzw. die das Verfahren steuernden Akteurinnen und Akteure sind hierdurch in besonderem Maße gefordert. Strategien und Prozesse zum Umgang mit heute bereits bekannten, aber auch mit zukünftig zu erwartenden Ungewissheiten müssen entwickelt werden. Das StandAG und das Atomgesetz fordern, dass Entscheidungen auf der Grundlage des aktuellen Standes von W&T getroffen werden. Ungewissheiten sind hiernach umfassend zu identifizieren, explizit auszuweisen und zu bewerten. Grundsätzlich erfolgen die geforderten Bewertungen von Ungewissheiten und fehlendem Wissen in jedem Einzelfall.

Umfassende und generische Methoden, die eine einheitliche Bewertung von Ungewissheiten entsprechend den Anforderungen aus StandAG, AtG und StrlSchG ermöglichen, liegen nur in Teilbereichen vor. Die Entwicklung einer systematischen Herangehensweise ist eines der Forschungsziele für die nächsten vier Jahre. Hierzu gehört auch die Forschung zu und Entwicklung von Strategien zum Umgang mit Expertendisens.

Auch wenn es darum geht, die Ursachen des Konflikts um die Kernenergie zu verstehen (vgl. 6.2), stellt die fallbezogene Analyse des damaligen Umganges mit Ungewissheiten und fehlendem Wissen eine wesentliche Perspektive dar.

6.5 Sicherheitsmanagement, Sicherheitskultur, menschliche und organisa- torische Faktoren

Für das BASE sind der Erhalt und der Ausbau seiner fachlichen Expertise und Beratungskompetenz auf den Gebieten des Sicherheitsmanagements, der Sicherheitskultur und des Mensch-Technik-Organisation-(MTO)-Bereiches aufgrund ihrer Bedeutung für die kerntechnische Sicherheit zentrale Anliegen. Dies gilt auch im Hinblick auf den langfristigen Kompetenzerhalt der Bundesrepublik Deutschland auf dem Gebiet der kerntechnischen Sicherheit bzgl. möglicher Vorkommnisse und Fragestellungen im internationalen Bereich und insbesondere in Nachbarländern, die weiterhin Kernkraftwerke betreiben oder betreiben wollen. Im Unterschied zu den technisch geprägten Bereichen der nuklearen Sicherheit zeichnet sich der Bereich der menschlichen und organisatorischen Faktoren durch seinen stark vernetzten Charakter aus. Der Mensch, sein Handeln als Individuum und als Teil einer Gruppe sowie die daraus entstehenden Abläufe innerhalb einer Organisation sind immer nur gemeinsam mit den Schnittstellen zu den technischen Einrichtungen und unter Einbeziehung der betrieblichen Abläufe zu verstehen und zu analysieren. Diese Eigenschaft führt zu einem hohen Grad an Komplexität von menschlichen und organisatorischen Faktoren innerhalb des MTO-Bereiches.

Managementsystem sowie Sicherheitskultur der Regulierungsbehörde

Auf internationaler Ebene werden zunehmend Anforderungen in den Bereichen Sicherheitsmanagement, Sicherheitskultur und MTO auch an die Aufsichts- und Genehmigungsbehörden selbst gestellt. Die Analyse von Unfallursachen und Störfällen hat die wichtige Rolle und die Bedeutung der Aufsicht als Teil eines größeren Systems für die kerntechnische Sicherheit gezeigt. Das BASE als neu gegründete Regulierungsbehörde baut deshalb Organisations- und Managementstrukturen auf, die geeignet sind, die Aufgabenwahrnehmung bei Aufsichts- und Genehmigungstätigkeiten in optimaler Weise und insbesondere unter Beachtung von Sicherheitsaspekten zu unterstützen. Die Anforderungen an solche Managementstrukturen entwickeln sich z. B. aufgrund von gesellschaftlichen, rechtlichen, technischen oder sozialen Einflussparametern

sowie aufgrund von nationalen und internationalen Erfahrungen kontinuierlich weiter. Um neue Erkenntnisse auf internationaler Ebene durch Zusammenarbeit und Austausch fachlich-wissenschaftlich mit zu erarbeiten und für die nationalen Fragestellungen nutzbar machen zu können, ergeben sich auch aus dem internationalen Kontext Forschungsfragen, die aus Sicht der Bundesaufsicht zu bearbeiten sind. Forschungsvorhaben zur Ermittlung relevanter Einflussparameter, deren Veränderungen über die Zeit und daraus abgeleitet zum Aufbau, zur Weiterentwicklung und zum Betrieb anforderungsgerechter Managementstrukturen sollen initiiert werden.

Sicherheit kerntechnischer Anlagen

Menschliche und organisatorische Faktoren haben auf die Sicherheit kerntechnischer Anlagen einen erheblichen Einfluss. Bei einer signifikanten Zahl von Ereignissen und Vorkommnissen in kerntechnischen Anlagen wurden Ursachen im Bereich der menschlichen und organisatorischen Faktoren festgestellt. Es hat sich gezeigt, dass diese besonders bei den aufgetretenen schweren Unfällen (z. B. in Tschernobyl und Fukushima) erheblich zum Unfallablauf beigetragen haben. Dieser Umstand hat zu einer kontinuierlich wachsenden Bedeutung des Themas und der stetigen Erweiterung der betrachteten Fragestellungen geführt. Das kerntechnische Regelwerk stellt zahlreiche Anforderungen an die Sicherheit kerntechnischer Anlagen auf, die dem Bereich MTO zugeordnet werden können. Zu diesen gehören unter anderem die Einrichtung und Anwendung eines integrierten Managementsystems, die dauerhafte Bereithaltung, Aus- und Fortbildung angemessener Personalressourcen und die Aufrechterhaltung sowie die kontinuierliche Verbesserung der Sicherheitskultur durch die Genehmigungsinhaberinnen und den Genehmigungsinhaber. Um das kerntechnische Regelwerk auf dem aktuellen Stand von W&T fortzuschreiben und dessen sachgerechte Anwendung prüfen zu können, greift das BMU als Bundesaufsicht bei wissenschaftlich-technischen Fragestellungen auf dem Gebiet des Sicherheitsmanagements, der Sicherheitskultur und im Bereich MTO auf die Expertise des BASE zurück (§ 2 (2) BfKEG).

Um diese Aufgabe erfüllen zu können, ist es notwendig, MTO-Konzepte, deren Anwendung und sich ergebende sicherheitstechnische Fragestellungen bewerten zu können. Die Schwerpunkte der fachlichen Arbeit im Bereich MTO liegen in der theoretischen Konzept- und Methodenentwicklung, der Anwendung auf konkrete Fragestellungen und Vorgehensweisen sowie deren Beurteilung. Zur Verfolgung und Fortschreibung des Standes von W&T auf dem Gebiet des Sicherheitsmanagements, der Sicherheitskultur und im Bereich MTO führt das BASE, wie auch in den anderen Aufgabenbereichen, eigene Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durch und beauftragt ergänzend Forschungsarbeiten durch externe Forschungseinrichtungen. Zudem beteiligt sich das BASE aktiv an nationalen wie internationalen Fachkonferenzen, ist in nationalen wie internationalen Gremien vertreten und wird in „Technical Meetings“ sowie „Consultancy Meetings“ als Experte eingeladen.

Die generische Natur der Konzepte und Methoden im Bereich des Sicherheitsmanagements, der Sicherheitskultur und des MTO ermöglicht es, Fragestellungen und Themen aus dem Bereich der Kernkraftwerke auf andere Bereiche zu übertragen. Hierzu gehören z. B. Anlagen der Ver- und Entsorgung, Anlagen in Stilllegung sowie Anlagen der Zwischen- und Endlagerung. Ziel der laufenden und geplanten Vorhaben ist es, den Stand von W&T fortzuschreiben, aktuelle und zukünftige wichtige Fragestellungen zu bearbeiten, Konzepte und Methoden zu entwickeln und zu verbessern sowie die Beurteilung von sicherheitstechnischen Fragestellungen und die Anwendung in der aufsichtlichen Praxis weiterzuentwickeln.

Wichtige Forschungsthemen und Fragestellungen im Bereich **Sicherheitsmanagement** sind z. B.:

- Welche organisatorischen Veränderungen sind beim Übergang vom Betrieb zur Stilllegung eines Kernkraftwerks zu berücksichtigen?
- Welche Auswirkungen können diese auf die kerntechnische Sicherheit haben?
- Welche Auswirkung hat der Einsatz von Eigen- und Fremdpersonal auf die kerntechnische Sicherheit? Was muss dabei berücksichtigt werden?
- Welche Rolle spielen das Sicherheitsmanagement und die Einrichtung und Anwendung integrierter Managementsysteme für die kerntechnische Sicherheit insgesamt? Wie kann ihre Wirksamkeit bewertet werden? Wie sind diese weiterzuentwickeln?

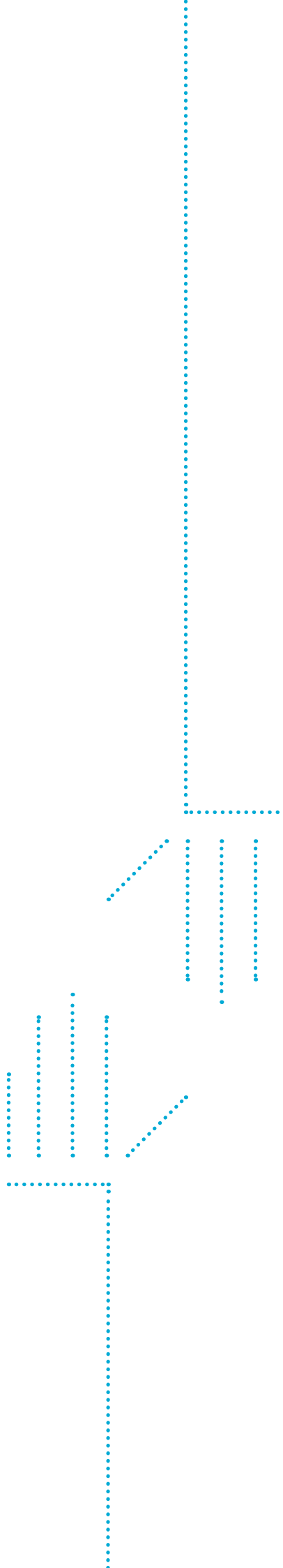
- Wie lernen Organisationen aus Betriebs- erfahrung? Welche Methoden zur MTO-Analyse von Ereignissen stehen zur Verfügung (z. B. ganzheitliche Ereignisanalyse GEA)? Wie wirksam sind diese?
- Wie kann noch vorhandenes Praxiswissen in Zukunft erhalten bleiben, gerade auch im Hinblick auf den Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie im Jahr 2022?
- Wie kann das Konzept der organisationalen Resilienz, also die Fähigkeit von Organisationen, Veränderungen langfristiger Natur, z. B. Stilllegung, und auch kurzfristiger Natur, z. B. Notfall, zu bewältigen, bei den aktuellen Fragestellungen zu organisatorischen Veränderungen im Hinblick auf die Stilllegung von KKW, der Sicherheitskultur und bei der Beherrschung von Störfällen und bei Notfallmaßnahmen berücksichtigt werden?


Wichtige Forschungsthemen und Fragestellungen im Bereich **Sicherheitskultur** sind z. B.:

- Was ist Sicherheitskultur und wie kann diese erfasst werden? Wie kann Sicherheitskultur verbessert werden?
- Welche Rolle kommt der Aufsichts- und Genehmigungsbehörde als Teil eines größeren Systems für die kerntechnische Sicherheit zu? Welche Auswirkungen hat das Vorgehen der Aufsichtsbehörde auf die Sicherheitskultur der Betreiberinnen und Betreiber?
- Welche Bedeutung haben das eigene Sicherheitsmanagement, das eigene Managementsystem und die eigene Sicherheitskultur der Aufsichts- und Genehmigungsbehörde für die Erfüllung ihrer Aufgabe?
- Wie kann ein ganzheitlicher, systemischer Ansatz für die Beurteilung von sicherheitstechnischen Fragestellungen im Bereich Sicherheitsmanagement, Sicherheitskultur und MTO und im Aufsichtskonzept in der Praxis implementiert werden?
- Welche Bedeutung und Rolle hat Führung für die Sicherheitskultur und die nukleare Sicherheit?
- Wie sind die Konzepte der Sicherheitskultur und des integrierten Managementsystems fachwissenschaftlich verknüpft? Welche Auswirkung hat das auf die Aufsicht?
- Welche Schulungen und Kontrollen durch Vorgesetzte können Fehlhandlungen wirksam entgegenwirken? Wie sind dabei die Wechselwirkungen und der Unterschied von Eigen- und Fremdpersonal zu berücksichtigen?

Wichtige Forschungsthemen und Fragestellungen im Bereich **Mensch-Technik-Organisation** sind beispielsweise:

- Mit welchen Methoden ist die Ergonomie bei Mensch-Maschine-Schnittstellen, z. B. bei Wartung, Arbeitsmitteln etc., zu bewerten?
- Wie wirken sich Zustände und Eigenschaften des Menschen auf das menschliche Handeln aus? Welche „Human Performance Tools“ haben welchen Effekt?
- Wie verhalten sich Gruppen (Betriebspersonal, Schichtpersonal) unter Extrembedingungen?
- Wie unterscheiden sich die existierenden Konzepte und Definitionen für die Begriffe HF (Human Factors), HOF (Human and Organisational Factors) und HP (Human Performance)? Wie sind diese verknüpft? Welche Auswirkung haben diese Punkte für die kerntechnische Aufsicht über menschliche und organisatorische Faktoren?
- Wie kann die Motivation und das Wissen des Personals in der Kerntechnik erhalten werden, vor allem unter Stilllegungsbedingungen?
- Welche Tätigkeiten wird das Personal beim Übergang zur Stilllegung ausführen? Welche Tätigkeiten verändern sich, werden nicht mehr nötig sein oder kommen neu dazu? Welche Auswirkungen kann das auf die kerntechnische Sicherheit haben?
- Welche Qualifikation, Kompetenz, Quantität von Personal wird beim Übergang vom Betrieb zur Stilllegung eines Kernkraftwerks benötigt, um keinen negativen Einfluss auf die kerntechnische Sicherheit zu haben?
- Wie entstehen Expertenurteile? Was ist zu beachten, um diese nach dem Stand von W&T belastbar zu machen?





Zur Erfüllung seiner Aufgaben als Regulierungs- und Fachbehörde auf den Gebieten der Reaktorsicherheit, der Beförderung und Aufbewahrung radioaktiver Stoffe und der Endlagerung radioaktiver Abfälle betreibt das BASE ergebnisoffen und systematisch wissenschaftliche Forschung. Es greift aktuelle wissenschaftliche und gesellschaftliche Fragen und Entwicklungen auf, erkennt wichtige gegenwarts- und zukunftsbezogene Herausforderungen und erarbeitet Handlungsoptionen für die eigenen Amtsaufgaben. Dabei werden sowohl mittel- bis langfristig angelegte Fragestellungen kontinuierlich bearbeitet und wissenschaftliche Kompetenzen nachhaltig aufgebaut und erhalten, als auch kurzfristig wissenschaftliche Expertise bereitgestellt. Ziel ist dabei nicht nur die Verfolgung, sondern auch die aktive Weiterentwicklung des Standes von W&T.

Die Forschung des BASE basiert auf anerkannten wissenschaftlichen Methoden zur Gewinnung neuer Erkenntnisse und folgt den allgemein anerkannten Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis. Forschung soll die Qualität der Bewertungen und Entscheidungen sicherstellen sowie weiter verbessern und leistet somit einen maßgeblichen Beitrag zu einer wissenschaftsbasierten, lernenden und selbsthinterfragenden Arbeitsweise. Aus diesem Grund sind die BASE-Forschungstätigkeiten nach einem transparenten und nachvollziehbar begründeten Verfahren ausgerichtet und priorisiert. Die Forschungsagenda des BASE ist das Bindeglied zwischen den in der Forschungsstrategie definierten übergeordneten Zielen und den in dem jährlichen BASE-Forschungsplan konkretisierten Einzelvorhaben. Sie bildet die Grundlage für die Auswahl und Priorisierung der zu beantwortenden Forschungsfragen. Die Forschungsagenda benennt die technisch-naturwissenschaftlichen sowie sozialwissenschaftlich-gesellschaftlichen Themenfelder mit aufgabenbezogenem Forschungsbedarf in den Bereichen der Reaktorsicherheit, der Zwischenlagerung und des Transports radioaktiver Abfälle sowie des Standortauswahlverfahrens und der Endlagersicherheit für den Zeitraum bis 2023. Eine Aktualisierung ist im zweijährigen Rhythmus vorgesehen.

Aktuell befindet sich das BASE in der Aufbauphase, mit unterschiedlichen Entwicklungsständen in seinen einzelnen Abteilungen. Das 2017 angelaufene Standortauswahlverfahren mit den damit verbundenen Neuerungen in den behördlichen und institutionellen Zuständigkeiten sowie der beschlossene Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie bis 2022 führen dazu, dass Entwicklungen dynamisch verlaufen und kontinuierliche Anpassungen an neue Randbedingungen erforderlich sind. Mit seiner Forschungsagenda berücksichtigt das BASE sowohl die notwendige Fortschreibung bereits bestehender Forschungsaktivitäten auf den Feldern Reaktorsicherheit, Zwischenlagerung und Transport radioaktiver Abfälle als auch neuer Forschungsaufgaben im Rahmen des Standortauswahlverfahrens und der Öffentlichkeitsbeteiligung. Hiermit stellt das BASE sicher, dass es auf allen seinen Aufgabenfeldern stets den aktuellen Stand von W&T anwenden kann.

Im Sinne größtmöglicher Transparenz wird das BASE Forschungsergebnisse verständlich aufbereiten, grundsätzlich publizieren und fordert die Öffentlichkeit zu einer aktiven und kritischen Begleitung auf. Daher hat das BASE seine Forschungsagenda mit der Forschungsgemeinschaft und der Öffentlichkeit diskutiert (s. 1.4). Für die zahlreichen konstruktiven Kritiken und Ergänzungen bedankt sich das BASE bei allen, die ihre Zeit und Kenntnisse zur Verfügung gestellt haben. Durch dieses Engagement hat das BASE Beiträge erhalten, sowohl hinsichtlich der Forschungsthemen als auch des Forschungsrahmens, die zu einer Weiterentwicklung der nuklearen Sicherheit führen können. Das BASE führt den begonnen Dialog bei der Fortschreibung der Forschungsagenda fort.

AK-FR Arbeitskreis Forschungs- reaktoren, Unterausschuss des LAA	BMUB Bundes- ministerium für Umwelt, Natur- schutz, Bau und Reaktorsicherheit (2013 -2018)	FEM Finite-Elemente- Methode	IT Informations- technik	RK&M Preservation of Records, Knowledge & Memory across Generations – OECD/NEA Projekt	TRANSSC Transport Safety Standards Committee
AtG Atomgesetz	DAEF Deutsche Arbeits- gemeinschaft Endlager- forschung	FEP Features, Events and Processes	KKW Kernkraftwerk	RSK DKW Reaktorsicher- heitskommission, Unterausschuss „Druckführende Komponenten und Werkstoffe“	W&T Wissenschaft und Technik
AVR Arbeits- gemeinschaft Versuchsreaktor	DIN Deutsche Institut für Normung (Bezeichnung für eine Norm)	FPGA Field Programmable Gate Array	KTA Kerntechnischer Ausschuss	RSK EE Reaktor- sicherheits- kommission, Unterausschuss „Elektrische Einrichtungen“	WENRA Western European Nuclear Regulators Association
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung	DSA Deterministische Sicherheits- analyse	FR Forschungs- reaktor	KTA UA-EL Kerntechnischer Ausschuss, Unterausschuss „Elektro- und Leittechnik“	WGELEC Working Group on Electrical Power Systems (der OECD/NEA)	
BASE Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung	DWR Druckwasser- reaktor	FRM Forschungs- reaktor München	KTA UA-MK Kerntechnischer Ausschuss, Unterausschuss „Mechanische Komponenten“		
BfKEG Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung	EN Europäische Norm	GEA Ganzheitliche Ereignisanalyse	LAA Länderausschuss für Atom- kernenergie	SEWD Sonstige Einwirkungen Dritter	
BfS Bundesamt für Strahlenschutz	ENSI Eidgenössisches Nuklear- sicherheits- inspektorat	GRS Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH	MOX Mischoxid	SiAnf Sicherheits- anforderungen	
BGE Bundes- gesellschaft für Endlagerung mbH	EU Europäische Union	GVA Gemeinsam verursachte Aus- fälle	MTO Mensch-Technik- Organisation	StandAG Standortauswahl- gesetz	
BMBF Bundes- ministerium für Bildung und Forschung	EURATOM European Atomic Energy Community	HF Human Factor	NEA Nuclear Energy Agency	StrlSchG Strahlenschutz- gesetz	
BMU Bundes- ministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (ab 2018)	EVA Einwirkungen von außen	HOF Human and Organisation Factors	nestor Kompetenz- netzwerk Langzeit- archivierung	StrlSchV Strahlenschutz- verordnung	
BMU Bundes- ministerium für Umwelt, Natur- schutz und Reaktorsicherheit (bis 2013)	ewG Einschluss- wirksamer Gebirgsbereich	HP Human Performance	OECD Organisation for Economic Cooperation and Development	SÜ Sicherheits- überprüfung	
	FAK Facharbeitskreis	IAEA / IAEO International Atomic Energy Agency bzw. Internationale Atomenergie- Organisation	PSA Probabilistische Sicherheits- analyse	SWR Siedewasser- reaktor	
	FAK PSA Facharbeitskreis „Probabilistische Sicherheits- analysen für Kernkraftwerke“	IEC International Electrotechnical Commission	PSÜ Periodische Sicherheits- überprüfung	THMC/B Thermisch- hydraulisch- mechanisch- chemische/ -biologische Prozesse	
		ISO Internationale Organisation für Normung (auch Bezeichnung für eine Norm)	QMS Qualitäts- management- system	THTR Thorium- Hochtemperatur- Reaktor	

Gesetze:**(AtG 2018)**

Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie gegen ihre Gefahren (Atomgesetz)

(BfKEG 2016)

Gesetz über die Errichtung eines Bundesamtes für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE-Errichtungsgesetz)

(EURATOM 2009)

Richtlinie 2009/71/Euratom des Rates vom 25. Juni 2009 über einen Gemeinschaftsrahmen für die nukleare Sicherheit kerntechnischer Anlagen

(EURATOM 2014)

Richtlinie des Rates 2014/87/Euratom vom 8. Juli 2014 zur Änderung der Richtlinie 2009/71/Euratom über einen Gemeinschaftsrahmen für die nukleare Sicherheit kerntechnischer Anlagen

(StandAG 2017)

Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz)

(StrSchG 2017)

Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz)

Sonstige Quellen:**(BMBF 2007)**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Konzept einer modernen Ressortforschung. Bonn, Berlin 2007

(BMU 2018)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Forschungsrahmen und Ressortforschungsplan 2018. Oktober 2017

(BMU 2010)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle. 22 S. Bonn, 30. September 2010

(DAEF 2017)

Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF): Standortauswahl für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle: Empfehlungen der DAEF zu Rolle und Methodik der im Standortauswahlgesetz vorgesehenen Sicherheitsuntersuchungen. Juni 2017

(NMU 2002)

Niedersächsisches Umweltministerium (NMU): Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes Konrad in Salzgitter als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. 22. Mai 2002

(SiAnf 2015)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke und Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke. 3. März 2015

(FAK 2015)

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalysen (FAK PSA): Methoden und Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke. Mai 2015., BfS SCHR 61/16, Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Salzgitter, September 2016

(IAEA 2012)

International Atomic Energy Agency (IAEA): The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste. Wien, 2012

(OECD 2013)

Radioactive Waste Management Committee (RWMC): The Safety Case for Deep Geological Disposal of Radioactive Waste: 2013 State of the Art. Paris, 2013

www.base.bund.de/forschung