



**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

# **FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG**

## **F&E-Strategie der BGE**

Stand April 2024



# Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

mit der vorliegenden F&E-Strategie erhalten Sie einen Einblick in das umfassende Aufgabenspektrum der BGE und in den Umgang der BGE mit dem Themenbereich Forschung und Entwicklung (F&E).

Das Themenfeld F&E ist ein wichtiger Bestandteil für die Aufgabenwahrnehmung der BGE. Im Bereich der Endlagerung radioaktiver Abfälle sind über lange Zeiträume hohe Sicherheitsanforderungen zu erfüllen, um Mensch und Umwelt dauerhaft vor den schädlichen Wirkungen der radioaktiven Abfälle zu schützen. Dies formuliert klare Anforderungen an die Arbeiten der BGE, welche nur unter Berücksichtigung des sich kontinuierlich weiter entwickelnden Stands von Wissenschaft und Technik sowie der Identifizierung und Förderung relevanter Forschungsfelder, -themen und -fragen optimal erfüllt werden können. So ist F&E ein wichtiger und integraler Baustein auf dem Weg zur sicheren Endlagerung radioaktiver Abfälle.

Wesentlich ist, hierfür das gesamte Standortauswahlverfahren mit den möglichen zukünftigen Herausforderungen im Blick zu haben. Relevant ist ebenfalls, das aktuelle Vorgehen kritisch zu hinterfragen, Forschung zu neuen Themenfeldern frühzeitig zu erkennen und zu initiieren und innovative Lösungsansätze zu fördern.

Die langen Zeiträume der nuklearen Entsorgung erfordern auch den Aufbau und Erhalt der notwendigen personellen Fachexpertise, sowohl bei der BGE selbst als auch bei den anderen Akteuren. Die vorliegende F&E-Strategie der BGE arbeitet die Rolle der F&E bei der BGE sowie ihre Aktivitäten im nationalen und internationalen F&E-Kontext klar heraus, bietet Orientierung zu relevanten F&E-Themenkomplexen und soll einen konstruktiven und zukunftsweisenden Austausch zu F&E-Aktivitäten und -Themen fördern.

Der erste Entwurf der F&E-Strategie wurde von nationalen und internationalen Wissenschaftler\*innen sowie Vertreter\*innen von Institutionen der nuklearen Entsorgung kommentiert. Für die sehr konstruktiven Hinweise möchte ich mich ganz herzlich bedanken. Diese haben zu einer deutlichen Schärfung der F&E-Strategie geführt.

Mir, wie der gesamten BGE, ist transparentes Handeln sowie der Austausch mit der (Fach-) Öffentlichkeit sehr wichtig. Ich freue mich deswegen auf Rückmeldungen und Kommentare zu der nun vorliegenden F&E-Strategie.

Iris Graffunder  
Vorsitzende der Geschäftsführung

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>2</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>6</b>
1.1 Gesetzlicher und regulatorischer Rahmen	8
1.2 Grundlagen und Phasen des deutschen Entsorgungsprogramms	10
1.3 Aufgaben der BGE im Rahmen des deutschen Entsorgungsprogramms	11
1.3.1 Produktkontrolle	11
1.3.2 Errichtung und Betrieb des Endlagers Konrad	12
1.3.3 Stilllegung des Endlagers Morsleben	13
1.3.4 Stilllegung der Schachanlage Asse II nach Rückholung der radioaktiven Abfälle	14
1.3.5 Standortauswahlverfahren	15
1.4 Herleitung und Konzept der F&E-Strategie	18
<b>2 Forschung und Entwicklung in der BGE</b>	<b>19</b>
2.1 Kategorisierung, Planung und Initiierung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der BGE	20
2.2 Qualitätssicherung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben	22
2.3 Nationale Forschungslandschaft zur nuklearen Entsorgung	23
2.4 Mitarbeit und Beteiligung in internationalen Gremien und Kooperationen	24
<b>3 F&amp;E-Felder und -Themen</b>	<b>25</b>
3.1 F&E-Feld 1 – Radiologische und chemische Eigenschaften radioaktiver Abfälle	26
3.2 F&E-Feld 2 – Geowissenschaftliche Fragestellungen	28
3.3 F&E-Feld 3 – Endlagerplanung, Errichtung, Betrieb und Stilllegung	30
3.4 F&E-Feld 4 – Endlagersicherheit / Sicherheitsuntersuchungen	32
3.5 F&E-Feld 5 – Soziotechnische Fragestellungen	34
3.6 F&E-Feld 6 – Digitalisierung	36
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>38</b>

# Abkürzungsverzeichnis

<b>AtG</b>	Atomgesetz
<b>BAM</b>	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
<b>BASE</b>	Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung
<b>BfS</b>	Bundesamt für Strahlenschutz
<b>BGE</b>	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
<b>BGE TEC</b>	BGE Technology GmbH
<b>BGR</b>	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
<b>BGZ</b>	Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH
<b>BIM</b>	Building Information Modeling
<b>BMBF</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung
<b>BMU</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
<b>BMUV</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
<b>BMWi</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
<b>BMWK</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
<b>CatchNet</b>	Catchment transport and Cryo-hydrology Network
<b>DAEF</b>	Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung
<b>DDR</b>	Deutsche Demokratische Republik
<b>DECOVALEX</b>	DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments
<b>EndlSiAnfV</b>	Endlagersicherheitsanforderungsverordnung
<b>EndlSiUntV</b>	Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung
<b>ESK</b>	Entsorgungskommission
<b>EURAD</b>	EUropean Joint Programme on RADioactive Waste Management
<b>EURATOM</b>	Europäische Atomgemeinschaft
<b>FEP</b>	Features, Events, Processes (Eigenschaften, Ereignisse, Prozesse)
<b>FEP-DB</b>	FEP (Features, Events, Processes) – Datenbank
<b>F&amp;E</b>	Forschung und Entwicklung
<b>FZJ</b>	Forschungszentrum Jülich GmbH
<b>GFZ</b>	Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum

<b>GRS</b>	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH
<b>GWB</b>	Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen
<b>HZDR</b>	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
<b>IAEA</b>	International Atomic Energy Agency
<b>IfG</b>	Institut für Gebirgsmechanik GmbH
<b>IGD-TP</b>	Implementing Geological Disposal of radioactive waste Technology Platform
<b>IGSC</b>	Integration Group for the Safety Case
<b>KIT</b>	Karlsruher Institut für Technologie
<b>MTO</b>	Mensch Technik Organisation
<b>NBG</b>	Nationales Begleitgremium
<b>NEA</b>	Nuclear Energy Agency
<b>OECD</b>	Organisation for Economic Co-operation and Development
<b>PCGK</b>	Public Corporate Governance Kodex
<b>PFB</b>	Planfeststellungsbeschluss
<b>PT GRS</b>	Projektträger Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
<b>PTKA</b>	Projektträger Karlsruhe
<b>RWTH Aachen</b>	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
<b>SDG</b>	Sustainable Development Goals
<b>StandAG</b>	Standortauswahlgesetz
<b>THMC</b>	Thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemisch
<b>TU</b>	Technische Universität
<b>UFZ</b>	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH
<b>URF Network</b>	Underground Research Facilities Network for Geological Disposal
<b>ÜsiKo</b>	Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen für das Endlager Konrad
<b>vSU</b>	vorläufige Sicherheitsuntersuchungen
<b>WMO</b>	Waste Management Organisation / Vorhabenträger
<b>W&amp;T</b>	Wissenschaft und Technik

# 1 Einleitung

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) ist im Rahmen des deutschen Entsorgungsprogramms für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle verantwortlich. Sie wurde als Bundesunternehmen im Juli 2016 gegründet. Auf Basis des Atomgesetzes (AtG) zur friedlichen Nutzung der Kernenergie und zum Schutz vor der schädlichen Wirkung von ionisierenden Strahlen sowie des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standorts für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (StandAG) wurden der BGE die Aufgaben zur Endlagerung radioaktiver Abfälle vom Bund übertragen. Alleinige Gesellschafterin der Bundesgesellschaft ist die Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)<sup>1</sup>. Die Verantwortlichkeiten und Aufgaben der BGE ergeben sich aus dem AtG und dem StandAG. Die BGE hat die ihr übertragenen Aufgaben (Abbildung 1) und die sich daraus ergebenden Pflichten grundsätzlich selbst wahrzunehmen und die nach Stand von Wissenschaft und Technik (W&T) notwendige Vorsorge gegen Schäden zu gewährleisten.

Die BGE formuliert die Endlagerungsbedingungen und kontrolliert im Rahmen der Produktkontrolle die Endlagerfähigkeit der konditionierten und verpackten radioaktiven Abfälle. Sie errichtet und betreibt das Endlager Konrad für schwach- und mittelradioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und legt das Erkundungsbergwerk Gorleben still und verfüllt es. Die BGE ist zuständig für den sicheren Betrieb sowie die Stilllegung des Endlagers Morsleben für schwach- und mittelradioaktive Abfälle. Sie hat die Aufgabe, die schwach- bis mittelradioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II<sup>2</sup> zurückzuholen und die Schachanlage anschließend stillzulegen. Hierzu

gehören auch die Planung und der Betrieb der dafür erforderlichen Konditionierungsanlage und des Zwischenlagers. Zudem setzt die BGE das Standortauswahlverfahren für einen Standort für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle mit bestmöglicher Sicherheit für 1 Million Jahre um. Dies beinhaltet auch den Bau, Betrieb und Verschluss dieses Endlagers im Anschluss an die Standortauswahl, sowie die Entwicklung entsprechender Endlagerbehälter für hochradioaktive Abfälle und die Planung und den Betrieb eines Eingangslagers und einer erforderlichen Konditionierungsanlage. Die Umsetzung ihrer Aufgaben bildet die BGE ablauforganisatorisch über entsprechende Großprojekte ab.

Forschung und Entwicklung (F&E) sind ein wichtiger Bestandteil der Aufgabenwahrnehmung der BGE. Die vorliegende F&E-Strategie beschreibt den übergeordneten Rahmen dieser F&E-Aktivitäten und definiert die generellen F&E-Felder, die für die Aufgabenwahrnehmung der BGE relevant sind. Dabei berücksichtigt sie auch die unterschiedlichen Anforderungen an F&E, die sich aus den verschiedenen Aufgaben der BGE ergeben. Ziel der F&E-Strategie ist es nicht, F&E-Aktivitäten auf der Ebene einzelner F&E-Vorhaben zu beschreiben. Sie dient vielmehr als Steuerungsinstrument für die strategische, aber auch konkrete Planung der F&E-Aktivitäten der BGE sowie der Orientierung der interessierten und der Fachöffentlichkeit. Die F&E-Strategie gliedert sich in drei Kapitel. Kapitel 1 gibt einen knappen Überblick über den gesetzlichen und regulatorischen Rahmen sowie die Grundlagen und Phasen des deutschen Entsorgungsprogramms der radioaktiven Abfälle und beschreibt die konkreten Aufgabenstellungen der BGE sowie die Herleitung und das Konzept der F&E-Strategie. Kapitel 2 erläutert die Rahmen-

<sup>1</sup> In 2021 wurde das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) in Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) umbenannt. Ihm wurden zudem alle verbliebenen Zuständigkeiten für Kernenergie und nukleare Sicherheits- und Entsorgungsforschung ohne Zuständigkeit für die Finanzierung von Rückbau und Entsorgung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), jetzt Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), übertragen.

<sup>2</sup> Der § 57b AtG spricht begrifflich von einer Rückholung der in die Schachanlage Asse II eingelagerten radioaktiven Abfälle. Im § 2 StandAG wird unterschieden zwischen Rückholbarkeit, die geplante Entfernung der eingelagerten Behälter während der Betriebsphase, und Bergung, dem ungeplanten Herausholen von radioaktiven Abfällen aus einem Endlager.

bedingungen, strategischen Ansätze sowie Planung der F&E-Aktivitäten der BGE und ordnet die BGE als F&E-Akteur sowohl in die nationale als auch internationale Forschungslandschaft ein. Dazu gehören auch die nationalen und interna-

tionalen Vernetzungen und Kooperationen der BGE im Rahmen ihrer F&E-Aktivitäten. Abschließend beschreibt Kapitel 3 die identifizierten F&E-Felder mit den dazugehörigen Themen, ohne jedoch auf die Ebene einzelner F&E-Vorhaben zu gehen.



Abbildung 1: Aufgaben der BGE und Lage der Endlager und Bergwerke.

## 1.1 Gesetzlicher und regulatorischer Rahmen

Für die Endlagerung der radioaktiven Abfälle werden die Zuständigkeiten im AtG geregelt. Nach § 9a Abs. 3 AtG hat der Bund Anlagen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle einzurichten. Die Wahrnehmung dieser hoheitlichen Aufgabe wurde der BGE mbH vom BMU (BMU 2017; aktuell: BMUV) am 25. April 2017 übertragen. Die BGE wird von einem Aufsichtsrat kontrolliert und aus dem Bundeshaushalt finanziert. Der Bund refinanziert einen Teil der Kosten durch Weiterberechnung an die Ablieferungspflichtigen, teilweise vertreten durch einen staatlich verwalteten Fond. Damit übernimmt die BGE als bundeseigenes Unternehmen die Planung, die Errichtung, den Betrieb und die Stilllegung von Endlagern. Nach § 3 Abs. 1 StandAG ist die BGE als Dritte nach § 9a Abs. 3 S. 2 2. Hs. AtG Vorhabenträgerin im Sinne des StandAG. Sie hat die Aufgabe, das Standortauswahlverfahren durchzuführen.

Das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) als Bundesoberbehörde ist

grundsätzlich die zuständige Zulassungs- und Aufsichtsbehörde der vom Bund einzurichtenden Anlagen zur Endlagerung. Darüber hinaus führt das BASE die atom- und strahlenschutzrechtliche Aufsicht über die Schachanlage Asse II sowie über den Vollzug des Standortauswahlverfahrens und ist auch der Träger der Öffentlichkeitsbeteiligung im Standortauswahlverfahren.

Durch die Übergangsvorschrift § 58 AtG ist für die Endlager Konrad und Morsleben bis auf die Aufsicht die Zuständigkeit der Landesbehörden festgeschrieben. Die über die Aufsicht hinausgehende Zuständigkeit des BASE tritt beim Endlager Konrad nach Erteilung der Zustimmung zur Inbetriebnahme durch die atomrechtliche Aufsicht, bei Morsleben nach Vollziehbarkeit des sich in einem anhängigen Verwaltungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben zu erlassenden Planfeststellungsbeschlusses ein.



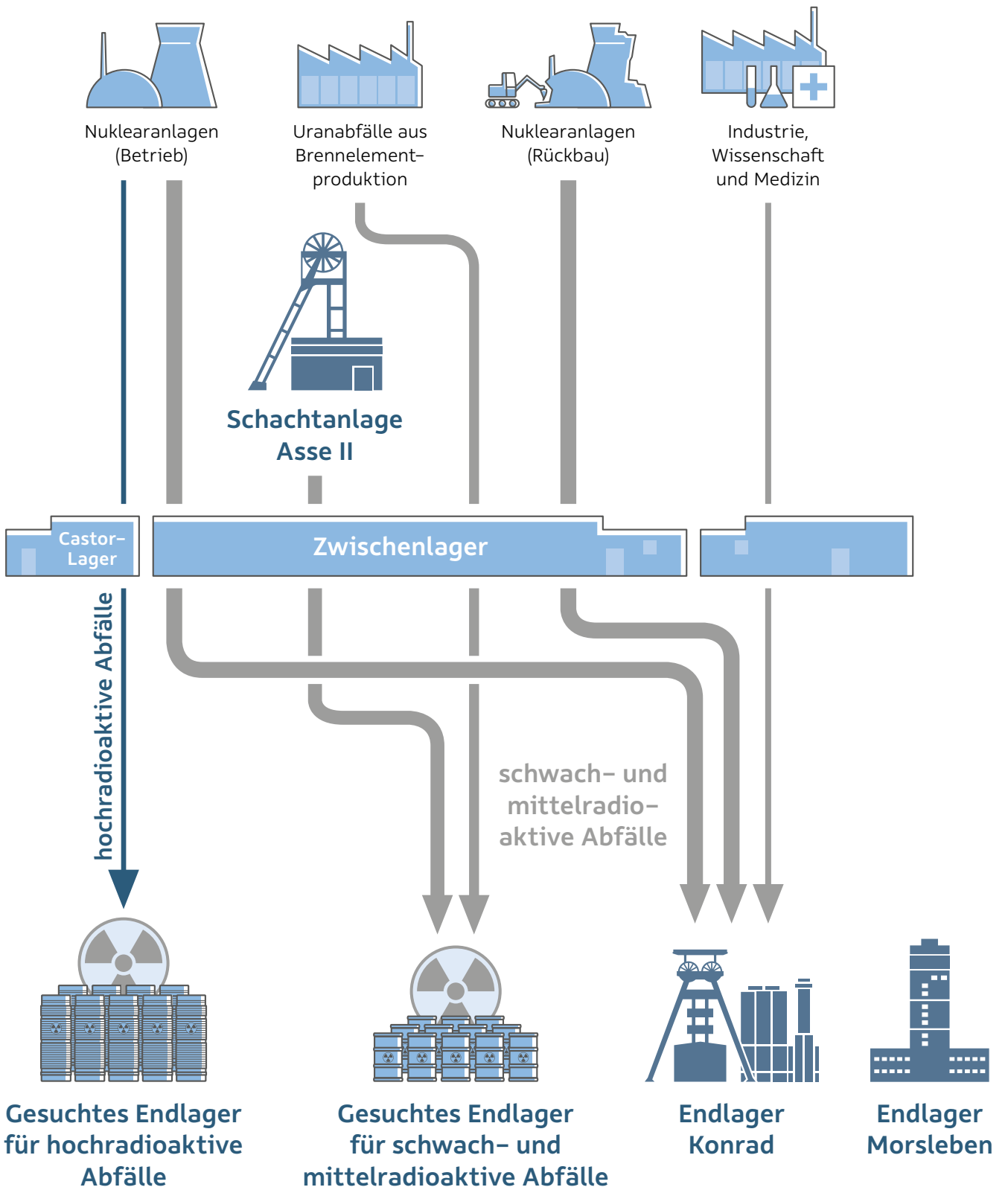


Abbildung 2: Entsorgungspfade für radioaktive Abfälle in Deutschland. „Nuklearanlagen“ steht als Synonym für Leistungsreaktoren, Anlagen der Öffentlichen Hand und Anlagen der kerntechnischen Industrie.

## 1.2 Grundlagen und Phasen des deutschen Entsorgungsprogramms

In der Bundesrepublik Deutschland fallen radioaktive Reststoffe und Abfälle an. Der Umgang mit diesen radioaktiven Reststoffen und Abfällen wird im *Nationalen Entsorgungsprogramm* (BMU 2015) der Bundesregierung dargestellt, welches alle 10 Jahre federführend durch das BMUV aktualisiert wird und die Strategie für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung radioaktiver Abfälle festlegt. Die radioaktiven Abfälle stammen aus dem Betrieb und Rückbau von Nuklearanlagen nach AtG (Kernkraftwerke, Wiederaufarbeitungsanlage, Anlagen des Brennstoffkreislaufs, Großforschung mit Heißen Zellen) sowie aus Forschung, Industrie und Medizin (Abbildung 2).

Die Endlagerung ist der letzte Entsorgungsschritt für die radioaktiven Abfälle. Dabei plant die Bundesrepublik Deutschland, alle Arten radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen einzulagern (BMU 2015). Die geologische Tiefenlagerung ist nach aktuellem, international akzeptiertem Kenntnisstand die Methode mit der bestmöglichen Sicherheit, um Mensch und Umwelt dauerhaft vor ionisierender Strahlung und sonstigen schädlichen Wirkungen radioaktiver Abfälle zu schützen (Deutscher Bundestag 2016; NEA 2008).

Radioaktive Abfälle können auf Basis ihrer Dosisleistung und Halbwertszeit in hochradioaktive, mittelradioaktive und schwachradioaktive Abfälle unterteilt werden (z. B. IAEA 2009). Da in Deutschland für alle radioaktiven Abfälle eine Endlagerung in tiefen geologischen Formationen vorgesehen ist, ist die Wärmeentwicklung der Abfälle eine relevante Größe. Deutschland unterteilt deswegen die radioaktiven Abfälle in wärmeentwickelnde Abfälle und Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. Die wärmeentwickelnden Abfälle umfassen die hochradioaktiven Abfälle. Die Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung umfassen die schwachradioaktiven und mittelradioaktiven Abfälle (Abbildung 3).

## Abfallbezeichnung

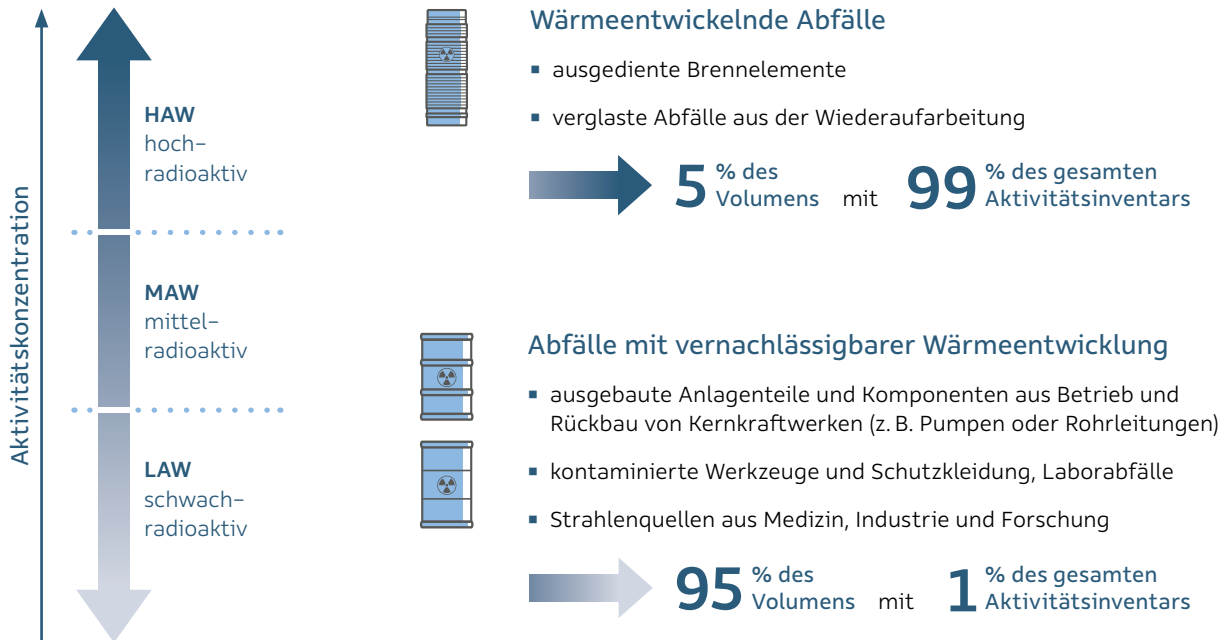


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Klassifizierung radioaktiver Abfälle.

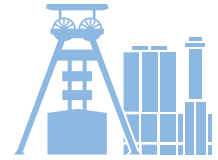
## 1.3 Aufgaben der BGE im Rahmen des deutschen Entsorgungsprogramms

### 1.3.1 Produktkontrolle



Die Produktkontrolltätigkeiten der BGE bilden eine wichtige Grundlage für ihre Aufgaben, da nach AtG nur endlagerkonforme Abfälle eingelagert werden dürfen. Die BGE verzeichnet seit Jahren ein kontinuierlich steigendes Antragsvolumen, dass mit der künftigen Fertigstellung des Endlagers Konrad auf einen Höchststand zusteuern wird. Um eine zügige Bearbeitung der Antragsverfahren in der Produktkontrolle zu erzielen, wurde das Projekt *Nuclear Waste Logistics* von der BGE initiiert und gestartet, um eine vollständig digitale Abwicklung der Antragsverfahren zu ermöglichen. Bislang werden bis zu 800 Antragsverfahren in analoger Form parallel koordiniert und bearbeitet. Diese Antragsverfahren sind überaus komplex, erfordern umfassende Abstimmungen zwischen den Beteiligten und haben derzeit in der Regel lange Laufzeiten.

Unter Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen soll mit dem neuen Antragsmanagementwerkzeug eine enge Abstimmung mit den Prozessbeteiligten ermöglicht und die digitalen Anträge bei der Produktkontrolle der BGE eingereicht sowie an den Sachverständigen übermittelt werden. Umgekehrt sollen auf dieser Ebene ebenfalls die Bescheide der Produktkontrolle nach Vorliegen des digitalen Prüfdokuments des Sachverständigen an den Antragsteller übermittelt werden. Auch die Abwicklung aller Abstimmungen zwischen Antragsteller, BGE und Sachverständigen soll über die Plattform erfolgen. Das Projektcontrolling zur Sicherstellung von Terminvorgaben, insbesondere im Hinblick auf die Planungsnotwendigkeiten bzgl. des Rückbaus von kerntechnischen Anlagen, kann auf diesem Weg realisiert werden.



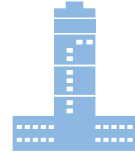
### 1.3.2 Errichtung und Betrieb des Endlagers Konrad

Die BGE ist für die Errichtung und den Betrieb des Endlagers Konrad für schwach- und mittelradioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung zuständig. Das ehemalige Eisenerzbergwerk Konrad (von 1964 bis 1976 betrieben) ist das erste nach AtC genehmigte Endlager. Die geowissenschaftlichen Erkundungen für die Umnutzung als Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung begannen 1976. Der Antrag für einen Planfeststellungsbeschluss (PFB) zum Bau eines Endlagers wurde 1982 eingereicht. Dieser wurde am 22. Mai 2002 durch das Land Niedersachsen erteilt und 2007 nach Abschluss der letzten Rechtsmittel-

instanz bestandskräftig. Seit 2007 wird die Schachanlage Konrad gemäß PFB zum Endlager umgerüstet. Die BGE führt vor der Inbetriebnahme eine *Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von W&T (ÜsiKo)* durch. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Planungen und den Bau des Endlagers ein. Die Einlagerung von bis zu 303.000 Kubikmetern schwach- und mittelradioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in das Endlager Konrad soll in den 2030er Jahren beginnen. Nach dem Ende des Betriebs werden alle Hohlräume des Bergwerks verfüllt und die Tageschächte langzeitsicher verschlossen.



Luftbild des Endlagers Konrad.



### 1.3.3 Stilllegung des Endlagers Morsleben

Das Endlager Morsleben wurde in einem ehemaligen Kali- und Steinsalzbergwerk (betrieben von 1898 bis 1968) eingerichtet. Die Erkundung zur Tauglichkeit als Endlager startete 1965 durch die damalige Deutsche Demokratische Republik (DDR). Nach einem Auswahlprozess begann 1971 die Errichtung des Endlagers. Nach einer Probephase wurde ab 1981 mit der Einlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen vor allem aus der Nutzung von Kernkraftwerken in der DDR begonnen. Im Zuge der Wiedervereinigung wurde die Verantwortlichkeit für das Endlager Morsleben 1990 auf das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) übertragen. Zwischen 1994 und 1998 diente das Endlager Morsleben für die Aufnahme von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen aus

dem gesamten Bundesgebiet. Im Jahr 2001 wurde beschlossen, dass keine weiteren Abfälle in dem Salzstock eingelagert werden. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden insgesamt etwas mehr als 37.000 Kubikmeter schwach- und mittelradioaktive Abfälle in rund 480 m Teufe eingelagert. Das BfS reichte 2005 einen Plan zur Stilllegung ein und die BGE übernahm 2017 die Verantwortung mit dem Ziel der Stilllegung des Endlagers unter Verbleib der Abfälle. Morsleben ist das erste deutsche Endlager, das nach Atomrecht und unter Verbleib der Abfälle stillgelegt werden soll. Das für die Stilllegung notwendige Genehmigungsverfahren läuft aktuell. Die Genehmigung wurde noch nicht erteilt. Der zentrale Punkt des Genehmigungsverfahrens ist die Bewertung der Langzeitsicherheit.



Luftbild des Endlagers Morsleben.



### 1.3.4 Stilllegung der Schachtanlage Asse II nach Rückholung der radioaktiven Abfälle

Im ehemaligen Salzbergwerk Asse wurde von 1909 bis 1964 Kali- und Steinsalz abgebaut. Die Schachtanlage wurde im Jahr 1965 von der Bundesrepublik Deutschland gekauft. Zwischen 1967 und 1978 wurden rund 126.000 Fässer bzw. rund 47.000 Kubikmeter schwach- und mittelradioaktive Abfälle in 13 Kammern der Schachtanlage eingelagert. Von 1981 bis 1995 wurde die Schachtanlage zu Forschungszwecken genutzt. 1988 wurde ein Lösungszutritt festgestellt, der eine Verbindung zum Deckgebirge hat. Im Jahr 2009 wurde die Schachtanlage Asse II unter Atomrecht gestellt und 2010 nach einem Optionenvergleich die Rückholung der radioaktiven Abfälle als Stilllegungsoption beschlossen. 2013 trat die Lex Asse, das *Gesetz zur Beschleunigung der Rückholung radioaktiver Abfälle und der Stilllegung der Schachtanlage Asse II* in Kraft, das die unverzügliche Stilllegung der Schachtanlage Asse II gesetzlich festschreibt. Die Stilllegung soll nach Rückholung

der eingelagerten Abfälle erfolgen. Die Betreiberverantwortung für die Schachtanlage Asse II ging 2017 an die BGE über. Diese legte 2020 einen Plan für die Rückholung vor. Schätzungen gehen davon aus, dass die rückgeholtten Abfälle sowie die zusätzliche Menge an kontaminiertem Salzgrus ein Gesamtabfallvolumen von ca. 175.000 bis 220.000 Kubikmeter an konditionierten Abfällen für die spätere Endlagerung ergeben (BMUV 2023). Aktuell erfolgen Stabilisierungsarbeiten im Bergwerk bzw. Vorsorgemaßnahmen aus der Notfallplanung und die Vorbereitung der Rückholung der radioaktiven Abfälle. Für die Rückholung der radioaktiven Abfälle sind ein neues Rückholbergwerk mit dem neuen Schacht Asse 5, die dazugehörigen Tagesanlagen sowie eine Abfallbehandlungsanlage und ein Zwischenlager für die rückgeholtten Abfälle zu planen, zu genehmigen und zu errichten (Plan zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II – Rückholplan, 2020).



Luftbild der Schachtanlage Asse II.

### 1.3.5 Standortauswahlverfahren

Für die Entsorgung der hochradioaktiven Abfälle ist die BGE als Vorhabenträgerin gemäß StandAG mit der Suche und Auswahl eines Standorts für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland beauftragt. Gemäß § 1 StandAG ist in einem partizipativen, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbsthinterfragenden und lernenden Verfahren der Standort für die Errichtung einer Anlage zur Endlagerung zu ermitteln, der im Ergebnis des vergleichenden Verfahrens die bestmögliche Sicherheit für einen Zeitraum von einer Million Jahre aufweist. Für die langfristige Sicherheit soll die Endlagerung der hochradioaktiven Abfälle in tiefen geologischen Gesteinsschichten erfolgen. In Deutschland kommen gemäß StandAG drei Wirtsgesteinstypen für die Endlagerung hoch-

radioaktiver Abfälle in Frage: Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein. Das Standortauswahlverfahren ist ein gestuftes Verfahren, das sich in drei Phasen gliedert (StandAG 2017; Abbildung 4). In allen drei Phasen sind wiederholt die Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen sowie geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anzuwenden. Die planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien sind nur gegebenenfalls anzuwenden. Neben den im StandAG definierten Kriterien und Anforderungen spielen die sogenannten vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (vSU; StandAG 2017) eine zentrale Rolle. Ihr Gegenstand ist die Bewertung, inwieweit der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle unter Ausnutzung der geologischen Standortgegebenheiten erwartet werden kann.

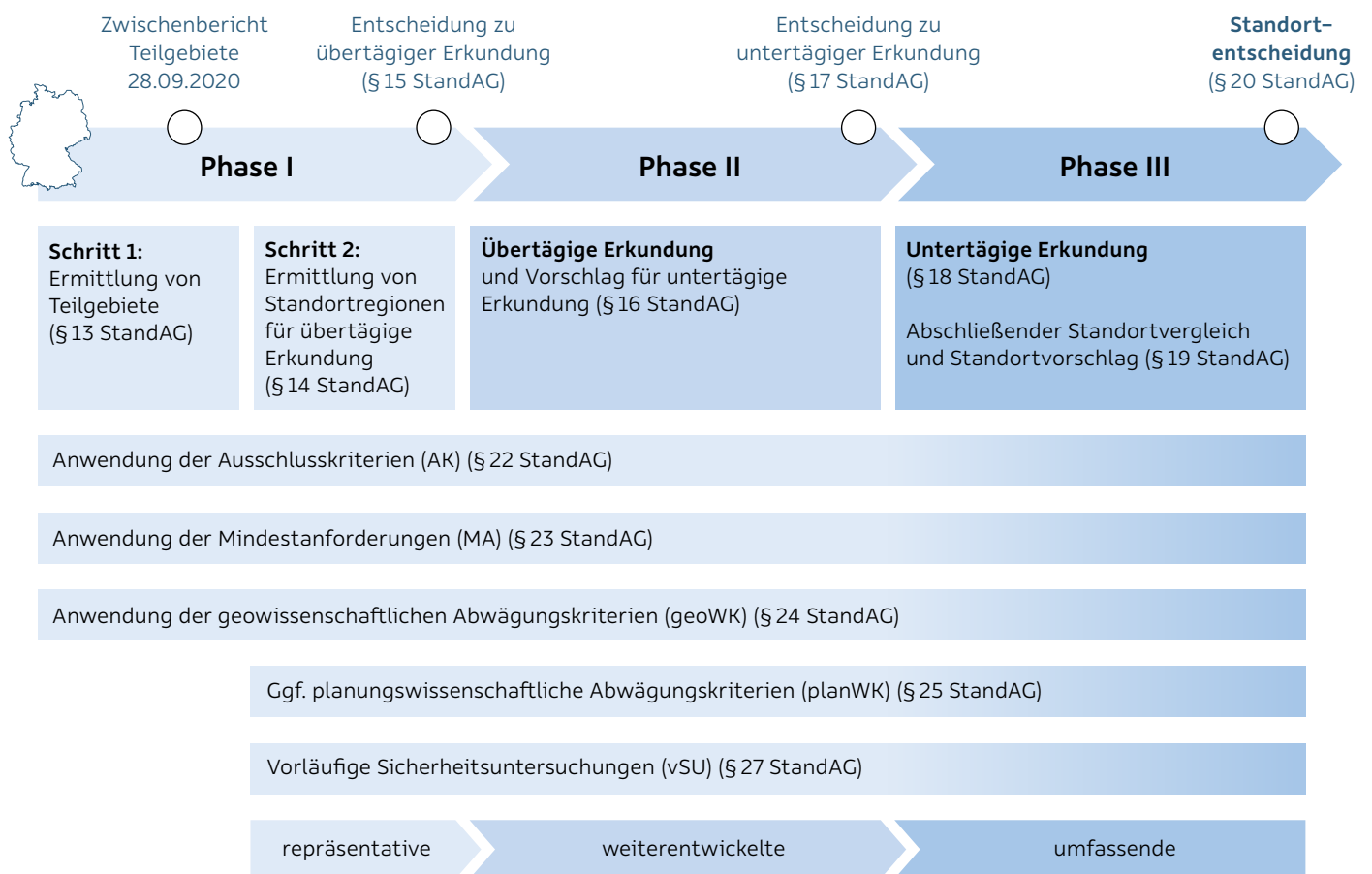


Abbildung 4: Schematischer Ablauf des Standortauswahlverfahrens nach StandAG. Die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (vSU; EndlSiUntV, 2020) nehmen mit dem Fortschreiten des Verfahrens in ihrer Detailtiefe von repräsentativen hin zu umfassenden vSU zu.

Die Anforderungen an ihre Durchführung sind in der Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndlSiUntV, 2020) geregelt. Von Phase I (repräsentative vSU) über Phase II (weiterentwickelte vSU) zu Phase III (umfassende vSU) nimmt der Detaillierungsgrad der vSU zu.

In **Schritt 1 der Phase I** erfolgte die Ermittlung von Teilgebieten, welche günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen. Die 90 ermittelten Teilgebiete wurden im September 2020 im *Zwischenbericht Teilgebiete* veröffentlicht (BGE 2020). Damit wurde Schritt 1 der Phase I abgeschlossen und das erste formelle Beteiligungsverfahren *Fachkonferenz Teilgebiete* gestartet. Derzeit erfolgt **Schritt 2 der Phase I**, in dem Standortregionen für die übertägige Erkundung auf Basis der zuvor ermittelten Teilgebiete bestimmt werden. Hierfür führt die BGE für alle 90 Teilgebiete repräsentative vSU durch und ermittelt auf Grundlage der Ergebnisse sowie der erneuten Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien und gegebenenfalls der Anwendung der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien günstige Standortregionen. Für diese Standortregionen erarbeitet die BGE standortbezogene Erkundungsprogramme für die übertägige Erkundung. Die BGE übermittelt den Vorschlag für die **übertägig zu erkundenden Standortregionen** zusammen mit den Ergebnissen aus der *Fachkonferenz Teilgebiete* an das **BASE** und legt diesem die standortbezogenen Erkundungsprogramme für die übertägige Erkundung vor.

In **Phase II** erkundet die BGE die gesetzlich festgelegten Standortregionen übertägig und führt auf Grundlage der Erkundungsergebnisse für jede Standortregion die weiterentwickelten vSU durch. Des Weiteren führt sie in den Standortregionen sozioökonomische Potenzialanalysen durch. Auf Grundlage dieser Ergebnisse und der erneuten Anwendung der Ausschlusskriterien, der Mindestanforderungen und der geowissenschaftlichen

Abwägungskriterien sowie gegebenenfalls der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien ermittelt die BGE günstige Standorte für die unterirdische Erkundung. Weiter erarbeitet die BGE standortbezogene Erkundungsprogramme und Prüfkriterien für die untertägige Erkundung und die umfassenden vSU. Den Vorschlag für die **untertägig zu erkundenden Standorte** übermittelt die BGE dem **BASE** und legt diesem die standortbezogenen Erkundungsprogramme für die untertägige Erkundung sowie die Prüfkriterien vor.

In **Phase III** erkundet die BGE die gesetzlich festgelegten Standorte untertägig und führt auf Grundlage der Erkundungsergebnisse für jeden Standort die umfassenden vSU durch. Auf Grundlage der Ergebnisse wendet die BGE die Prüfkriterien sowie erneut die Kriterien und Anforderungen gemäß StandAG an und ermittelt geeignete Standorte. Basierend auf einer vergleichenden Bewertung der betrachteten Standorte übermittelt die BGE ihren **Standortvorschlag für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle** an das **BASE**.

Am Ende der Phasen I und II prüft das BASE die Vorschläge der BGE, gibt dieser gegebenenfalls die Möglichkeit zu einer Stellungnahme, und übermittelt die Vorschläge zusammen mit einer begründeten Empfehlung an das BMUV. Die Bundesregierung unterrichtet den Deutschen Bundestag und den Bundesrat. Die übertägig zu erkundenden Standortregionen (Ende Phase I) sowie die untertägig zu erkundenden Standorte (Ende Phase II) werden per **Bundesgesetz** bestimmt. Am Ende von Phase III prüft das BASE den Standortvorschlag der BGE einschließlich des zugrundeliegenden Standortvergleichs von mindestens zwei Standorten und bewertet, welches der Standort mit der bestmöglichen Sicherheit ist und übermittelt diesen an das BMUV. Die Bundesregierung unterrichtet den Deutschen Bundestag und den Bundesrat über den Standortvorschlag, über welchen durch **Bundesgesetz** entschieden wird.



Im Rahmen des Standortauswahlverfahrens für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle wird auch bewertet, ob dieser Standort auch für ein zusätzliches Endlager für die aus der Asse II geborgenen schwach- und mittelradioaktiven Abfälle und die weiteren Abfälle, die nicht im Endlager Konrad endgelagert werden können, genutzt werden kann. Nach StandAG ist die zusätzliche Endlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen am Standort für das Endlager für hochradioaktive Abfälle zulässig, wenn die gleiche bestmögliche Sicherheit des Standorts wie bei der alleinigen Endlagerung hochradioaktiver Abfälle gewährleistet ist. Für die zusätzliche Endlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen ist nach § 21 Endlagersicherheitsanforderungsverordnung (EndlSiAnfV) die Auffahrung eines separaten Endlagerbergwerks erforderlich. Ebenso dürfen zwischen den technischen Infrastrukturen der beiden Endlagerbergwerke keine sicherheitsrelevanten wechselseitigen Abhängigkeiten oder nachteiligen Beeinflussungen stattfinden. Zudem ist die übertägige Handhabung der radioaktiven Abfälle voneinander zu trennen.



## 1.4 Herleitung und Konzept der F&E-Strategie

Die F&E-Strategie der BGE basiert zu weiten Teilen auf den Dokumenten *Forschungs- und Entwicklungsbedarf Standortauswahlverfahren* (BGE 2019) sowie *Forschungsagenda Standortauswahl* (BGE 2021), die die F&E-Bedarfe für das Standortauswahlverfahren dargestellt haben. Die F&E-Strategie ersetzt die *Forschungsagenda Standortauswahl* und entwickelt diese zu einer übergeordneten Strategie für alle F&E-Aktivitäten der BGE weiter. Die in der F&E-Strategie identifizierten F&E-Felder und -Themen leiten sich insbesondere aus der Aufgabenwahrnehmung der BGE, den regulatorischen Randbedingungen und Anforderungen, dem nationalen und internationalen Austausch in Gremien und Kooperationen sowie der Auswertung laufender und abgeschlossener F&E-Vorhaben in Verbindung mit der Erfassung des Stands von W&T ab.

Daneben fließen die Empfehlungen der Entsorgungskommission zu F&E mit Bezug zur Standortauswahl (ESK 2016) ein. Zudem verfolgt die BGE die strategischen F&E-Aktivitäten der internationalen Forschungslandschaft wie beispielsweise die Entwicklung der *Roadmap* des European Joint Programme on RADioactive Waste Management (EURAD; EURAD 2021) und der *Strategic Research Agenda* der Implementing Geological Disposal of radioactive waste Technology Platform (IGD-TP; IGD-TP 2020) sowie die F&E-Programme anderer Vorhabenträgerinnen (engl.: Waste Management Organisations, WMOs). Auch diese Informationen gehen in die F&E-Strategie ein. Der fortgesetzte Austausch mit der (Fach-)Öffentlichkeit liefert zusätzliche Impulse für die (Weiter-)Entwicklung der F&E-Felder und -Themen.

Als übergeordnetes Dokument ist es nicht Ziel der F&E-Strategie, F&E-Aktivitäten auf der Ebene einzelner F&E-Vorhaben zu beschreiben. Für das Großprojekt Standortauswahl wird deswegen als weiteres Dokument die *Roadmap der Standortauswahl* (BGE 2023) geführt. Sie listet alle durchgeführten und geplanten F&E-Vorhaben im Standortauswahlverfahren und setzt diese in zeitlichen Bezug. Die *Roadmap der Standortauswahl* wird bezüglich der einzelnen F&E-Vorhaben regelmäßig aktualisiert.

Die F&E-Strategie selbst wird alle 5 Jahre aktualisiert, um veränderte Rahmenbedingungen (z. B. geänderte Gesetze und regulatorische Vorgaben), die Weiterentwicklung des Stands von W&T, neue Erkenntnisse (z. B. aus dem Austausch mit der (Fach-)Öffentlichkeit, aus der Mitarbeit in nationalen und internationalen Gremien oder aus F&E-Aktivitäten) sowie Anforderungen aus der Umsetzung der Aufgaben selbst aufgreifen zu können. Der BGE ist der Austausch zu wissenschaftlichen Fragestellungen mit Fachexpert\*innen, interessierten Bürger\*innen und Beteiligten sehr wichtig. Die BGE begrüßt deshalb Feedback, Kritik und Vorschläge zur Fortschreibung ihrer F&E-Strategie.

Eine Übersicht und detaillierte Beschreibung der konkreten F&E-Vorhaben der BGE sowie ihrer Beteiligungen an nationalen und internationalen Gremien und Kooperationen mit F&E-Bezug wird kontinuierlich fortgeschrieben und veröffentlicht.

## 2 Forschung und Entwicklung in der BGE

Die BGE betreibt aufgaben- bzw. standortbezogene F&E. Bei ihrer Aufgabenwahrnehmung stellt die BGE einen hohen Anspruch an ein wissenschaftsbasiertes Arbeiten. Zur Umsetzung der F&E-Aktivitäten ist der BGE eine systematische, zielgerichtete, ergebnisoffene, vom aktuellen Stand von W&T ausgehende und auf anerkannten, wissenschaftlichen Methoden basierende Bearbeitung wichtig. Alle F&E-Aktivitäten der BGE haben zum Ziel, die wissenschaftlichen Grundlagen für die Umsetzung ihrer Aufgaben zur Verfügung zu stellen. Zu den F&E-Aufgaben der BGE gehört es aber auch, Themen und Fragestellungen zu adressieren, bei denen kein akuter Handlungsbedarf besteht, die aber absehbar für die Aufgabenwahrnehmung bedeutsam werden oder die einen kurzfristigen Handlungsbedarf erfordern könnten (sog. Vorlauforschung).

Aufgrund der unterschiedlichen Aufgaben der BGE und dem unterschiedlichen Umsetzungsgrad variieren die Anforderungen und Charakteristika der F&E-Aktivitäten. Für die fortgeschrittenen Großprojekte Konrad, Morsleben und Asse stellen sich insbesondere Entwicklungs- und Demonstrationsaufgaben. So liegen F&E-Aktivitäten im Großprojekt Konrad vor allem im Bereich von Entwicklungsarbeiten für die Endlagererrichtung (Bau- und Anlagentechnik) sowie der Optimierung des sicheren Endlagerbetriebs. Für das Großprojekt Morsleben spielen insbesondere die geotechnischen Maßnahmen und die Bewertung ihrer Ungewissheiten und ihrer sicherheitsrelevanten Eigenschaften eine wesentliche Rolle. Hierzu werden z. B. Demonstrationsversuche in den Bergwerken Morsleben, Bernburg und Sondershausen sowie an einem bereits errichteten Halbdamm in Teutschenthal durchgeführt und mit umfangreichen Untersuchungen und Modellierungen begleitet. Bei der Rückholung im Großprojekt Asse müssen

auch Themen wie Genehmigung, Abfallbehandlung und Zwischenlagerung der Abfälle miteinbezogen werden. Bei dem zutretenden Salzwasser unter Tage werden neben Ursachenforschung auch deren Ursprung, Überwachung und Entsorgung betrachtet. F&E-Bedarf besteht vor allem im Bereich der Rückholungsmethoden.

Das Großprojekt Standortauswahl befindet sich noch in einer frühen Phase. F&E-Aktivitäten sind aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen und der Notwendigkeit eines wissenschaftsbasierten und lernenden Verfahrens ein wichtiger Bestandteil der Umsetzung. Da in der aktuell laufenden Phase I noch keine regionen- oder standortbezogenen Daten erhoben werden dürfen, haben die F&E-Aktivitäten überwiegend grundlegenden bzw. generischen Charakter. Mit Fortschreiten des Standortauswahlverfahrens werden standortbezogene F&E-Aktivitäten zunehmen und Entwicklungsaufgaben eine wichtigere Rolle einnehmen. So werden für die Phasen II und III des Standortauswahlverfahrens u. a. auch Entwicklungs- und Demonstrationsversuche zur Nachweisführung von Sicherheitsanalysen sowie standortbezogene in situ Experimente geplant werden. Eine zentrale Herausforderung des Standortauswahlverfahrens ist die vergleichende Bewertung von Endlager-systemen in unterschiedlichen Wirtsgesteinen mit entsprechend unterschiedlichen geologischen, geotechnischen und technischen Barrieren sowie unterschiedlichen Kenntnisständen. Hierzu die notwendigen methodischen Werkzeuge sowie qualitativen und quantitativen Kenntnisse zu liefern, ist eine wichtige Aufgabe der F&E-Aktivitäten. Die Vorstellung und Diskussion von F&E-Bedarfen und konkreten Vorhaben geschieht z. B. im Rahmen von wissenschaftlichen Veranstaltungen wie den *Tagen der Standortauswahl* und weiteren öffentlichen Veranstaltungen.

## 2.1 Kategorisierung, Planung und Initiierung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der BGE

Die F&E-Aktivitäten der BGE umfassen sowohl F&E-Tätigkeiten im eigentlichen Sinne als auch Arbeiten zur Erfassung des Stands von W&T sowie zum Aufbau und Erhalt von Fachkompetenz und Spezialexpertise. Für die Kategorisierung, Planung und Initiierung ihrer F&E-Aktivitäten orientiert sich die BGE zum einen an der F&E-Definition der Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD 2018) und zum anderen an einer Einordnung der F&E-Aktivitäten hinsichtlich ihrer Zielsetzung.

F&E-Tätigkeiten im eigentlichen Sinne erfüllen die folgenden fünf Kriterien (OECD, 2018): Sie gewinnen **neuartige** Erkenntnisse auf Basis neuer Konzepte (**schöpferisch**). Ihr Ausgang darf dabei nicht bereits im Vorfeld bekannt sein (**ergebnisoffen**) und die Tätigkeit muss **systematisch** umgesetzt werden. Zudem müssen sie zu Resultaten führen, die **übertragbar und/oder reproduzierbar** sind. Unter den Begriff „ergebnisoffen“ fallen dabei auch Forschungsarbeiten zur Bestätigung bereits vorhandener Ergebnisse. Übertragbar und/oder reproduzierbar sind die Resultate dann, wenn sie veröffentlicht und damit auch anderen zugänglich sind. Die Definition der OECD (2018) von F&E-Tätigkeiten umfasst nicht nur die Grundlagenforschung, sondern auch die angewandte Forschung und die experimentelle Entwicklung, die für die Aufgabenwahrnehmung der BGE besonders relevant sind. Zur experimentellen Entwicklung zählen auch Demonstrationsvorhaben, sofern diese die obigen fünf Kriterien erfüllen. Demonstrationsversuche ausschließlich zur Erlangung einer Genehmigung oder Zulassung gehören daher nicht zu den F&E-Aktivitäten. Die fünf Kriterien sind bei Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstra-

tionsvorhaben unterschiedlich ausgeprägt. Die BGE hat die Definition der OECD (2018) in ihre internen Vorgaben für die Vergabe von F&E-Leistungen integriert (siehe BGE, Anwendungshilfe zur vergaberechtlichen Einordnung, Begründung und Prüfung von Forschungsvorhaben, 2021).

Für die interne Planung unterscheidet die BGE folgende vier Zielsetzungen ihrer F&E-Aktivitäten. Einzelne F&E-Aktivitäten können dabei mehreren Zielsetzungen dienen.

Die Grundlage zur Identifizierung von Wissenslücken und offenen Fragen sowie Ableitung von konkreten F&E-Aktivitäten der BGE erfolgt u. a. durch die **Erhebung und Nachverfolgung des Stands von W&T**. F&E hinsichtlich der Endlagerung radioaktiver Abfälle wird von nationalen und internationalen Akteuren seit Jahrzehnten durchgeführt. Infolge dessen sind Erkenntnisse und Erfahrungen vorhanden, die mit Blick auf die Anforderungen der Aufgaben der BGE bewertet werden müssen. Auch die Bewertung der Anwendbarkeit und Aktualität von Ergebnissen aus früheren F&E-Aktivitäten ist ein wichtiger Aspekt. Das Nachhalten der Entwicklungen des Stands von W&T über die langen Zeiträume der Endlagerung hinweg stellt ebenso eine wichtige Aufgabe dar. Die Erhebung und Nachverfolgung des Stands von W&T führt die BGE zum einen selbst durch, z. B. im Rahmen ihrer Gremienbeteiligungen, Kooperationen oder Bewertungen von F&E-Ergebnissen. Zum anderen vergibt die BGE Aufträge an Dritte zur Erfassung des Stands von W&T in bestimmten Themenfeldern.

**Forschung** erarbeitet neue Erkenntnisse mit dem Ziel, die auf Basis der Bewertung des Stands von

W&T identifizierten und noch bestehenden Wissenslücken zu schließen, sofern dies für die Aufgabenwahrnehmung der BGE notwendig ist. Die Ergebnisse von Forschungsvorhaben sind definitionsgemäß offen. Forschungsvorhaben werden überwiegend im Rahmen von Forschungsaufträgen von Dritten durchgeführt. Daneben beteiligt sich die BGE auch selbst an Forschungsvorhaben und -kooperationen bzw. führt Forschungsvorhaben durch.

**Entwicklung** passt bereits bestehende Methoden, Modelle und Techniken sowie bestehendes Wissen an die konkreten Anwendungserfordernisse der BGE an und entwickelt diese (weiter). Demonstrationsversuche im Sinne von F&E werden dieser Kategorie zugeordnet. Entwicklungsvorhaben werden überwiegend im Rahmen von Entwicklungsaufträgen von Dritten durchgeführt. Daneben beteiligt sich die BGE auch selbst an Entwicklungsvorhaben und -kooperationen bzw. führt diese durch.

Die spezifischen Aufgaben der BGE sowie die langen Zeiträume ihrer Umsetzung erfordern den **Aufbau und Erhalt von Fachkompetenz und Spezialexpertise**. F&E-Aktivitäten dieser Zielsetzung umfassen z. B. F&E-Vorhaben zur Entwicklung spezifischer Methoden sowie zur Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses. Die BGE vernetzt sich mit wissenschaftlichen Einrichtungen, unterhält Kooperationsverträge mit Hochschulen und betreut und unterstützt bereits jetzt in den von ihr initiierten F&E-Vorhaben eine Vielzahl an Abschlussarbeiten und Promotionsvorhaben. Die Erarbeitung eines Doktorandenkonzepts für Promotionsarbeiten zu fachspezifischen Themen bei der BGE befindet sich kurz vor dem Abschluss.

Die Planung und Initiierung konkreter F&E-Vorhaben erfolgt auf Basis des ermittelten Stands von W&T, der Zielsetzung der F&E-Vorhaben sowie mit Blick auf die zeitliche und inhaltliche Dringlichkeit und Relevanz für die Umsetzung der Aufgaben der BGE. Maßgeblich ist, was die BGE an Erkenntnissen, (Weiter-)Entwicklungen, Modellen und Demonstrationsversuchen wann benötigt, um ihre Aufgaben zielorientiert umsetzen zu können. Bei der Planung werden nicht nur der Zeitpunkt des Vorliegens der benötigten Ergebnisse, sondern auch mögliche längere Vorlaufzeiten zur Initiierung von F&E-Aktivitäten betrachtet (z. B. evtl. öffentliche Vergabeverfahren, Genehmigungsverfahren, notwendige Vorentwicklungsarbeiten, Datenabfrage von Dritten, Verfügbarkeit bzw. Einrichtung von Infrastrukturen für Versuche). Insbesondere experimentelle Vorhaben und Demonstrationsversuche können (Vor-)Laufzeiten von mehreren Jahren haben und müssen deswegen frühzeitig geplant und initiiert werden. Für die Standortauswahl ist die Ableitung der F&E-Bedarfe zudem regulatorisch in § 12 EndlSiUntV geregelt.

Je nach Fragestellung und Zielsetzung der F&E-Aktivitäten benutzt die BGE verschiedene Instrumente zur Initiierung, Vergabe und Umsetzung der F&E-Vorhaben. Hierzu gehören u. a. öffentliche Ausschreibungen, unter bestimmten Voraussetzungen Direktvergaben gemäß § 116 des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB), eigene F&E-Arbeiten und kooperative Forschungsverbünde. Die BGE veröffentlicht auf ihrer Homepage (<https://www.bge.de/de/aktuelles/forschungsaufrufe/>) wissenschaftliche Fragestellungen und ruft zur Einreichung entsprechender Projektskizzen (Vorhaben nach § 116 GWB) auf.

## 2.2 Qualitätssicherung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

Wissenschaftliche Exzellenz ist eine zentrale Forderung der BGE, sowohl an die Bearbeitung der F&E-Vorhaben als auch an die möglichen Auftragnehmenden. Die BGE bekennt sich durchgehend zu den aktuell geltenden Standards des Public Corporate Governance Kodex (PCGK 2020) der Bundesrepublik Deutschland, um Verfahren und Entscheidungen transparenter zu machen. Die BGE hat den Anspruch sowohl die Umsetzung ihrer Aufgaben als auch die Durchführung und Umsetzung ihrer F&E-Aktivitäten transparent und nachvollziehbar darzustellen. Die Vorhaben werden unter Zugrundelegung des Stands von W&T durchgeführt und die erzielten Ergebnisse als Abschlussbericht dokumentiert. Im Falle von Auftragsarbeiten sind die erzielten Ergebnisse und der Abschlussbericht grundsätzlich im Namen der Auftragnehmenden zu veröffentlichen und an die BGE zu übermitteln. Die fachliche und formale Qualitätssicherung obliegt den Auftragnehmenden, dabei sind die erstellten Unterlagen auf eine hinreichende Be-

arbeitungstiefe zu prüfen. Seitens der BGE werden die Vorhaben von wissenschaftlich und thematisch qualifizierten Fachbegleitenden betreut und geprüft. Die Qualität wird anhand der Standards guter wissenschaftlicher Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft e.V. (DFG 2019) gewährleistet. Dabei kommen die BGE sowie die externen Auftragnehmenden den geltenden Anforderungen und Richtlinien zur Qualitätssicherung nach. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse der Vorhaben in anerkannten Open-Access-Zeitschriften, die einer wissenschaftlichen Qualitätssicherung im Rahmen des Peer-Review-Verfahrens unterliegen, ist seitens der BGE ausdrücklich erwünscht. Die Erkenntnisse aus F&E-Vorhaben und Vernetzungen fließen in die F&E-Strategie ein und werden für das Wissensmanagement der BGE verfügbar gemacht, um den aktuellen Stand von W&T nachzuhalten. Damit wird sichergestellt, dass Synergien und Verknüpfungen zwischen den einzelnen Aufgaben der BGE genutzt werden können.

## 2.3 Nationale Forschungslandschaft zur nuklearen Entsorgung

Mit ihren grundsätzlich aufgaben- bzw. standortbezogenen F&E-Aktivitäten deckt die BGE einen klar definierten Bereich der nuklearen Entsorgungsforschung in Deutschland im Themengebiet der Endlagerforschung ab. Weitere nationale F&E-Aktivitäten im Themenbereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle erfolgen durch andere Institutionen in Deutschland, wie im Folgenden aufgeführt.

Das BMUV fördert F&E-Projekte der anwendungsorientierten Grundlagenforschung (BMW 2021). Zudem führt das BMUV im Rahmen seines Ressortforschungsplans eigene F&E-Aktivitäten durch. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert grundlegende Forschungsarbeiten auf dem Feld der Entsorgungsforschung, die insbesondere der gezielten Nachwuchsförderung dienen (BMBF 2024). Die Projektförderung des BMUV und des BMBF zur nuklearen Entsorgung werden aktuell über die Projektträger Karlsruhe (PTKA) und Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (PT GRS) abgewickelt. Neben dieser klassischen Projektförderung finanziert das BMBF auch F&E-Aktivitäten zum Themengebiet der nuklearen Entsorgung im Rahmen der institutionellen Förderung der Helmholtz-Gemeinschaft.

Das BASE forscht zur Erfüllung seiner aufsichtlichen Aufgaben insbesondere zu den Themen Standortauswahlverfahren und Endlagersicherheit, Öffentlichkeitsbeteiligung, Zwischenlagerung und Transport von radioaktiven Abfällen sowie nukleare Sicherheit. Das Nationale Begleitgremium

(NBG) begleitet vermittelnd und unabhängig das Standortauswahlverfahren und beauftragt wissenschaftliche Gutachten zu seinen spezifischen Themen. Weitere F&E-Aktivitäten werden durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) durchgeführt. Des Weiteren bearbeitet die Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH (BGZ) aufgabenbezogene Forschungsfragen mit den Schwerpunkten auf der Sicherheit von Transport- und Lagerbehältern sowie zur Zwischenlagerung.

Forschungseinrichtungen und Hochschulen, die derzeit zu Fragen der nuklearen Entsorgung forschen, sind u. a. die Helmholtz-Zentren Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Forschungszentrum Jülich GmbH (FZJ), Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V. (HZDR), Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ) und Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungs-Zentrum (GFZ), die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, die BGE Technology GmbH (BGE TEC), das Öko-Institut e.V., das Institut für Gebirgsmechanik GmbH (IfG) sowie exemplarisch einzelne Institute oder Lehrstühle an den Universitäten TU Clausthal, TU Bergakademie Freiberg, RWTH Aachen, Friedrich-Schiller-Universität Jena, TU Berlin, Leibniz Universität Hannover, Universität Kassel und TU Braunschweig. Die meisten dieser Forschungseinrichtungen haben sich in der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF) zusammengeschlossen, an deren Sitzungen die BGE als ständiger Gast teilnimmt.

## 2.4 Mitarbeit und Beteiligung in internationalen Gremien und Kooperationen

Die Mitarbeit in internationalen Gremien und Beteiligung an internationalen F&E-Aktivitäten sind wichtige Bestandteile der F&E-Aktivitäten der BGE. Sie dienen einerseits dem Austausch zum Stand von W&T. Andererseits sollen sie bestehende Wissenslücken und Kenntnisdefizite durch F&E schließen bzw. die dafür notwendigen Verfahren und Techniken entwickeln. Die BGE beteiligt sich an F&E-Aktivitäten in generischen Untertage-laboren wie Felslabor Mont Terri (Schweiz), Felslabor Grimsel (Schweiz), BedrettoLab (Schweiz) und Horonobe (Japan), um Erkenntnisse unter möglichst realitätsnahen Bedingungen zu gewinnen. Die Teilnahme an Forschungsverbänden wie DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments (DECOVALEX) und Catchment transport and Cryohydrology Network (CatchNet) dient der internationalen Vernetzung sowie der Durchführung spezifischer F&E-Aktivitäten. Einige der F&E-Aktivitäten sowie der wissenschaftliche Austausch werden im Rahmen von Kooperationen mit anderen WMOs durchgeführt, wie im Rahmen der Beteiligung in der Executive Group der IGD-TP. Die BGE hat zudem bilaterale Kooperationsverträge mit anderen WMOs geschlossen: Andra (Frankreich) seit Juni 2018, SKB (Schweden) seit April 2020, Nagra (Schweiz) seit Mai 2020 und NWS (Groß-

britannien) seit September 2020. Auf europäischer Ebene beteiligt sich die BGE als deutsche mandatierte WMO an EURAD. In diesem Programm bearbeiten verschiedene Akteursgruppen wie WMOs, technische Beratungsorganisationen (mit Beteiligung der Zivilgesellschaft und der Regulierungsbehörden) und Forschungsinstitute gemeinsam priorisierte Fragestellungen in wissenschaftlich-technischen F&E-Vorhaben und strategischen Studien. Ergänzt werden die Projekte durch ein umfangreiches Wissensmanagementprogramm. Übergeordnetes Ziel von EURAD ist, die erfolgreiche Umsetzung der nationalen Entsorgungsprogramme zu unterstützen. Nach erfolgreicher Durchführung von EURAD (2019–2024) beteiligt sich die BGE an der Planung und Umsetzung von EURAD-2 (2024–2029). Außerdem arbeitet die BGE in verschiedenen Gremien der OECD Nuclear Energy Agency (OECD-NEA) mit. So beteiligt sie sich u. a. an den drei wirtsgesteinsspezifischen Arbeitsgruppen (Salt Club, Clay Club und Crystalline Club) der OECD-NEA Integration Group for the Safety Case (IGSC) und ist in dieser selbst ebenfalls vertreten und in diversen Projekten aktiv. Des Weiteren ist die BGE Mitglied im Underground Research Facilities Network for Geological Disposal (URF Network) der International Atomic Energy Agency (IAEA).



## 3 F&E-Felder und -Themen

Für die Umsetzung der einzelnen Aufgaben der BGE ergeben sich relevante F&E-Themen, die entsprechend ihrer fachlichen Schwerpunkte folgenden sechs F&E-Feldern zugeordnet sind:



Manche F&E-Themen können mehreren F&E-Feldern zugeordnet werden. Auch können die einzelnen F&E-Felder nicht losgelöst voneinander betrachtet werden, da gegenseitige Verknüpfungen und Wechselwirkungen zwischen ihnen bestehen. Diese Verknüpfungen und Wechselwirkungen werden kurz dargestellt, ohne jedoch in die Detailtiefe zu gehen. Während sich die F&E-Felder 1 bis 4 auf klar definierte inhaltliche Aufgaben beziehen, besitzen die F&E-Felder 5 und 6 Querschnittscharakter und wirken mit ihren F&E-Themen auf alle anderen F&E-Felder. Aufgrund ihrer Spezifika sowie ihren unterschiedlichen Projektphasen sind nicht alle F&E-Themen für alle Aufgaben der BGE gleich re-

levant. Auch sind die gelisteten F&E-Themen nicht statisch zu sehen. Mit fortlaufender Aufgaben-umsetzung und/oder auf Basis neuer Erkenntnisse können sich Beschreibung und Relevanz einzelner F&E-Themen ändern oder neue F&E-Themen hinzukommen. Da es nicht Ziel der F&E-Strategie ist, F&E-Aktivitäten auf der Ebene einzelner, konkreter F&E-Vorhaben darzustellen, erfolgt in der Beschreibung der F&E-Felder und -Themen ebenfalls keine Darstellung des Stands von W&T sowie der F&E-Aktivitäten zur Ermittlung und Nachhaltung des Stands von W&T. Letztere werden durchgeführt, um konkrete F&E-Vorhaben ableiten zu können.

## 3.1 F&E-Feld 1 – Radiologische und chemische Eigenschaften radioaktiver Abfälle

### Definition

Für die Sicherheitsbetrachtung, die Auslegung und die Beurteilung des Verhaltens eines Endlagers sind die Charakterisierung, die Quantifizierung sowie ein sehr gutes Verständnis der Eigenschaften der radioaktiven Abfälle relevant. Hierzu gehören insbesondere ihre radiologischen, chemischen und physikochemischen Eigenschaften und deren Veränderungen mit der Zeit sowie Fragen zu einer möglichen Radionuklidfreisetzung, -migration und -rückhaltung und damit verbunden ihres Verhaltens im Nah- und Fernfeld.

Im F&E-Feld 1 wird ein besseres Verständnis der Eigenschaften radioaktiver Abfälle und ihres Verhaltens im Endlagersystem entwickelt. Diese Erkenntnisse bilden eine wesentliche Grundlage zur Auslegung des Endlagers (F&E-Feld 3 – „Endlagerplanung, Errichtung, Betrieb und Stilllegung“) sowie für Sicherheitsuntersuchungen (F&E-Feld 4 – „Endlagersicherheit / Sicherheitsuntersuchungen“).

### Fokus

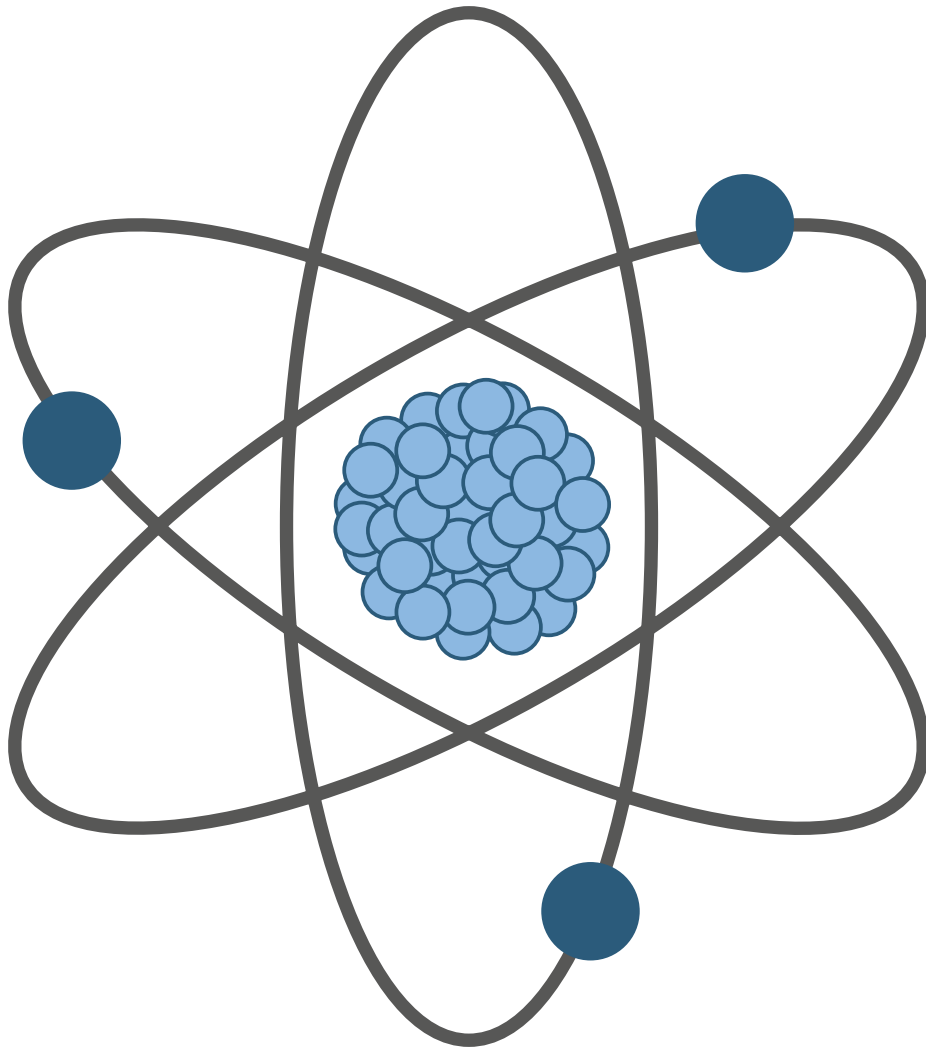
F&E-Aktivitäten des F&E-Felds 1 beschäftigen sich u. a. mit den initialen Eigenschaften der radioakti-

ven Abfälle, wie z. B. abgebrannte Brennelemente und auch verglaste Abfälle, sowie der radiochemischen Entwicklung dieser Abfälle. Ebenso gehören Fragen des Quellterms, der Radionuklidfreisetzung aus der Abfallmatrix (z. B. Brennstoff, Glas, Zement etc.), Löslichkeitsbegrenzungen und Rückhaltung durch Sorptionsprozesse zu den F&E-Aktivitäten des F&E-Felds 1. Dabei wird auch betrachtet, wie sich Veränderungen in den Eigenschaften von z. B. den Behältern (durch Korrosion), den geotechnischen Barrieren und den Abfallformmatrizen selbst auf das Verhalten der radioaktiven Abfälle und damit auf eine mögliche Radionuklidfreisetzung, -migration und -rückhaltung auswirken.

Auch die sichere Einhaltung der Unterkritikalität (Kritikalitätsausschluss) muss für den gesamten Bewertungszeitraum eines Endlagers nachgewiesen werden.

### Themen

Das F&E-Feld 1 beinhaltet F&E-Aktivitäten zu den Themen *Eigenschaften und Verhalten radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente, radiochemische Entwicklung radioaktiver Abfälle, Prozesse der Radionuklidfreisetzung, -migration und -rückhaltung* sowie *Kritikalitätsausschluss*.



## 3.2 F&E-Feld 2 – Geowissenschaftliche Fragestellungen

### Definition

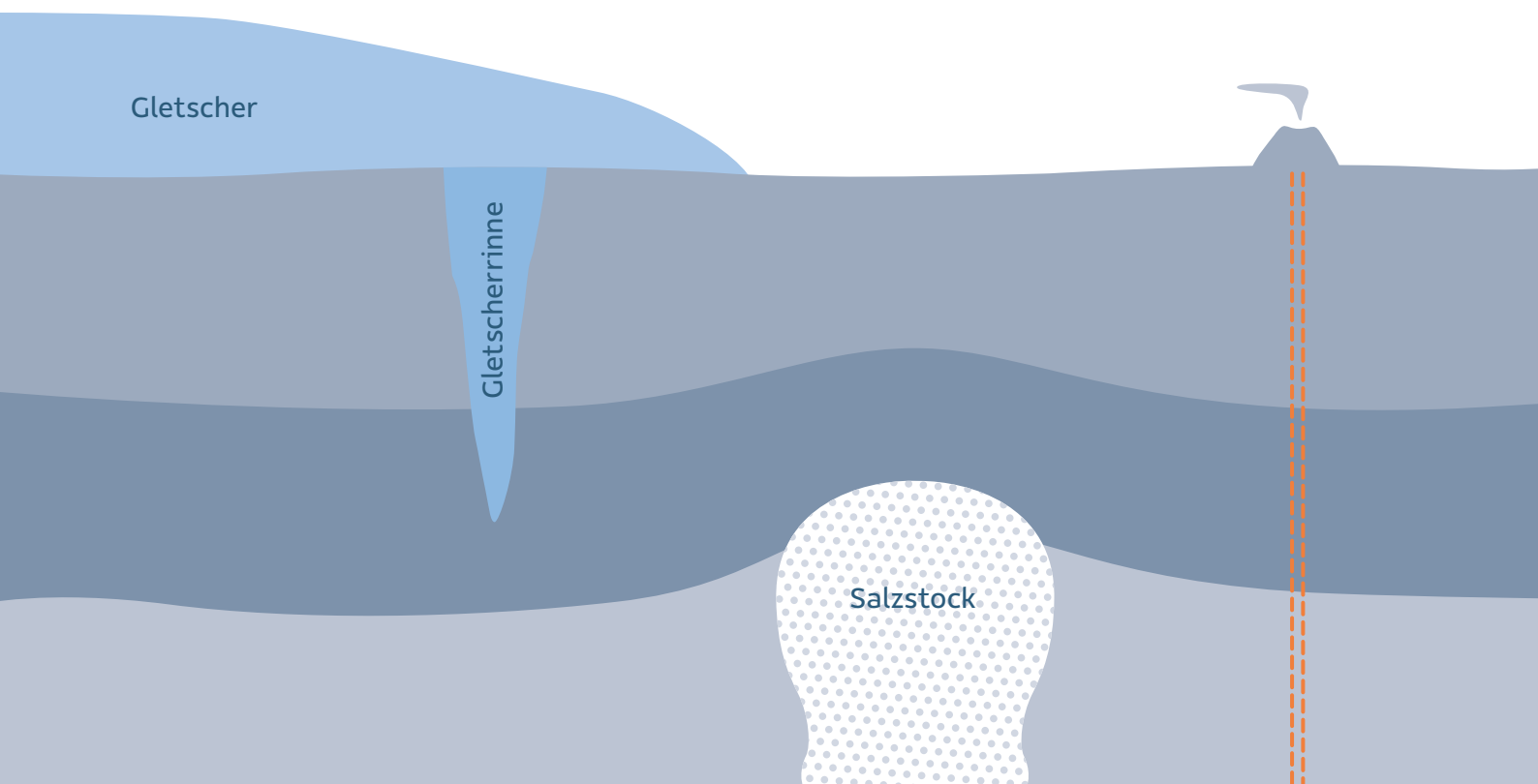
Bei allen Aufgaben der BGE spielen geowissenschaftliche Fragestellungen eine wesentliche Rolle. Die genaue Kenntnis der jeweiligen geologischen, strukturgeologischen, hydrogeologischen und geochemischen Situation ist für alle Großprojekte der BGE wichtig. Geowissenschaftliche Informationen bilden die Grundlage hinsichtlich der Auswahl und der Sicherheitsbewertung des (potenziellen) Standorts eines Endlagers für radioaktive Abfälle. Zu den geowissenschaftlichen Fragestellungen gehören auch das Verständnis sowie die Prognosen zur Langzeitentwicklung eines Endlagerstandorts.

Diese Informationen – im Standortauswahlverfahren zusammengefasst in der Geosynthese – beeinflussen die Auslegung und die Planung eines

Endlagers und liefern somit wichtige Daten für das F&E-Feld 3 – „Endlagerplanung, Errichtung, Betrieb und Stilllegung“ sowie für das F&E-Feld 4 – „Endlagersicherheit / Sicherheitsuntersuchungen“.

### Fokus

Im Fokus des F&E-Felds 2 stehen F&E-Aktivitäten, die zu einem grundlegenden Verständnis der geowissenschaftlichen Prozesse, geologischen Situation und deren Langzeitentwicklung beitragen. Hierzu gehören auch Informationen zum Standort, z. B. Aussagen zur tektonischen Entwicklung, zum Vulkanismus, zur seismischen Aktivität, zur Aktivität von Störungszonen und zur klimatischen Langzeitentwicklung und deren Einfluss auf die Sicherheit eines Endlagers für die nächste eine Million Jahre.

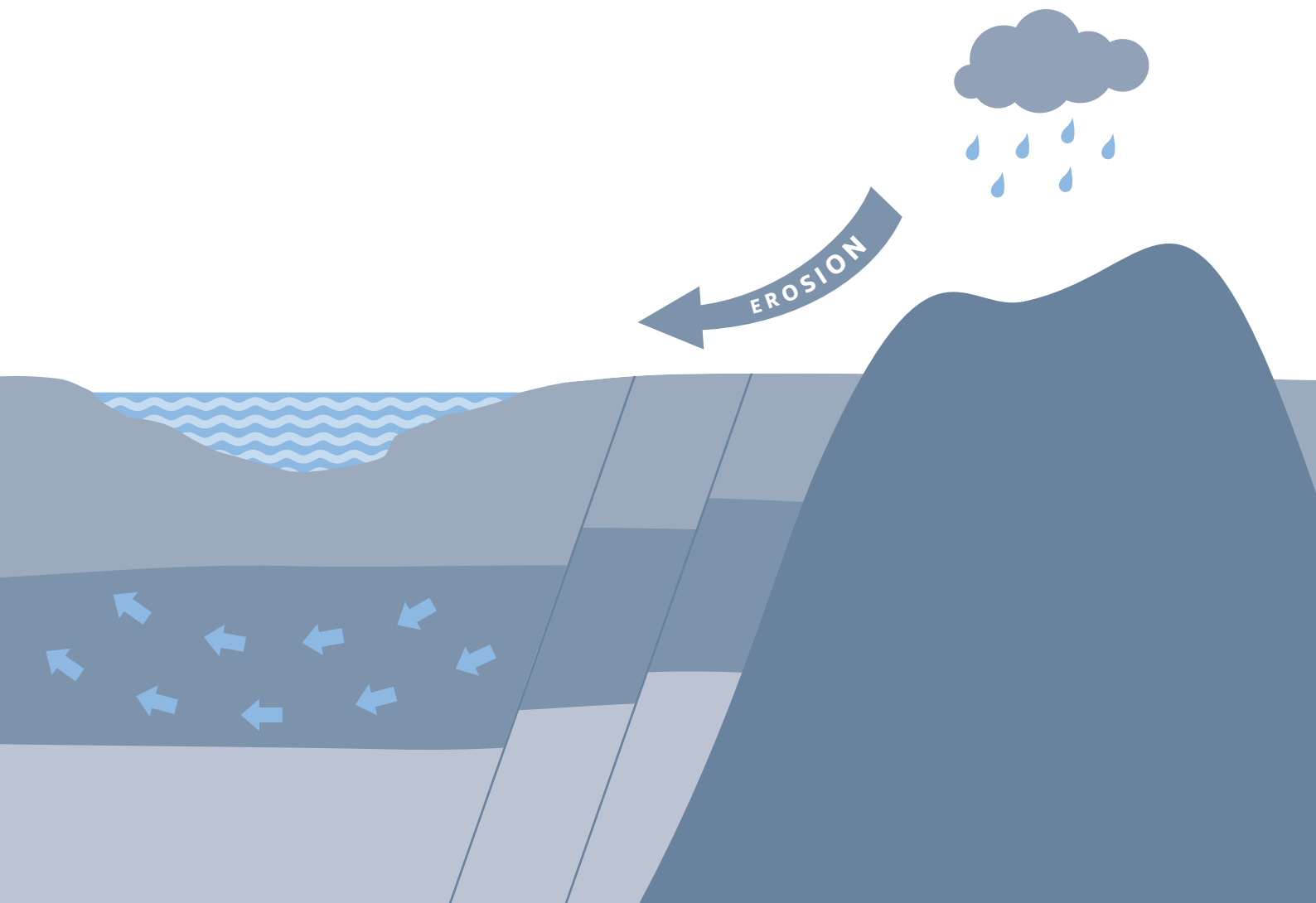


Für das Standortauswahlverfahren ergeben sich aus der Anwendung der gesetzlich geforderten Kriterien und Anforderungen (§§ 22 bis 24 StandAG) spezifische, geowissenschaftliche Fragestellungen und F&E-Aktivitäten. Die Charakterisierung der drei Wirtsgesteine und deren Eigenschaften sowie die umgebenden Gesteinsabfolgen (Rahmen- und/oder Deckgesteine) geht mit unterschiedlichen Anforderungen an F&E einher. Die Eigenschaften der Wirtsgesteine hinsichtlich ihrer mechanischen, thermischen und hydraulischen Eigenschaften (und deren Kopplungen) sind zu bestimmen und Skaleneffekte zu bewerten. Gerade für die geowissenschaftlichen Fragestellungen sind Langzeitversuche bzw. -untersuchungen in Laborexperimenten sowie in situ wichtig. Dabei wird auch die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Wirtsgesteine und die Rolle von Ungewissheiten betrachtet.

Geowissenschaftliche und geophysikalische Erkundungsmethoden sind sowohl für die bestehenden Standorte als auch für die Phasen II und III des Standortauswahlverfahrens wichtig. Die Weiterentwicklung zerstörungsfreier Erkundungsmethoden und deren Auswertung sind bei Endlagerfragen von besonderer Bedeutung, um die Integrität des Wirtsgesteins zu gewährleisten.

### Themen

Das F&E-Feld 2 beinhaltet F&E-Aktivitäten zu den Themen *geowissenschaftliche Prozesse, klimatische Prozesse, Eigenschaften der Wirtsgesteine* und *Erkundung* sowie spezifisch für das Standortauswahlverfahren *Kriterien und Anforderungen nach §§ 22 bis 24 StandAG*.



### 3.3 F&E-Feld 3 – Endlagerplanung, Errichtung, Betrieb und Stilllegung

#### Definition

Planung, Errichtung, Betrieb und Stilllegung eines Endlagers erfordern die Entwicklung spezifischer Endlager-, Stilllegungs-, Sicherheits- und Nachweiskonzepte und gehen einher mit verschiedenen Anforderungen und daraus resultierenden Fragestellungen. Diese sind abhängig von den geologischen Gegebenheiten des Endlagerstandorts sowie der Art, der Menge und dem Inventar der radioaktiven Abfälle. Sie beinhalten die Entwicklung von Behälter-, Ausbau-, Sicherungs-, Verfüll- und Verschlusskonzepten, Konzepte zu Betriebs- und Langzeitsicherheit sowie die Planung der Tagesanlagen. Bei der Planung sind mögliche Anforderungen an die Rückholung und Bergung zu berücksichtigen.

Für das F&E-Feld 3 sind der Transfer und das Einbeziehen der Erkenntnisse aus dem F&E-Feld 1 – „Radiologische und chemische Eigenschaften radioaktiver Abfälle“, F&E-Feld 2 – „Geowissenschaftliche Fragestellungen“ und F&E-Feld 4 – „Endlagersicherheit / Sicherheitsuntersuchungen“ von Bedeutung.

#### Fokus

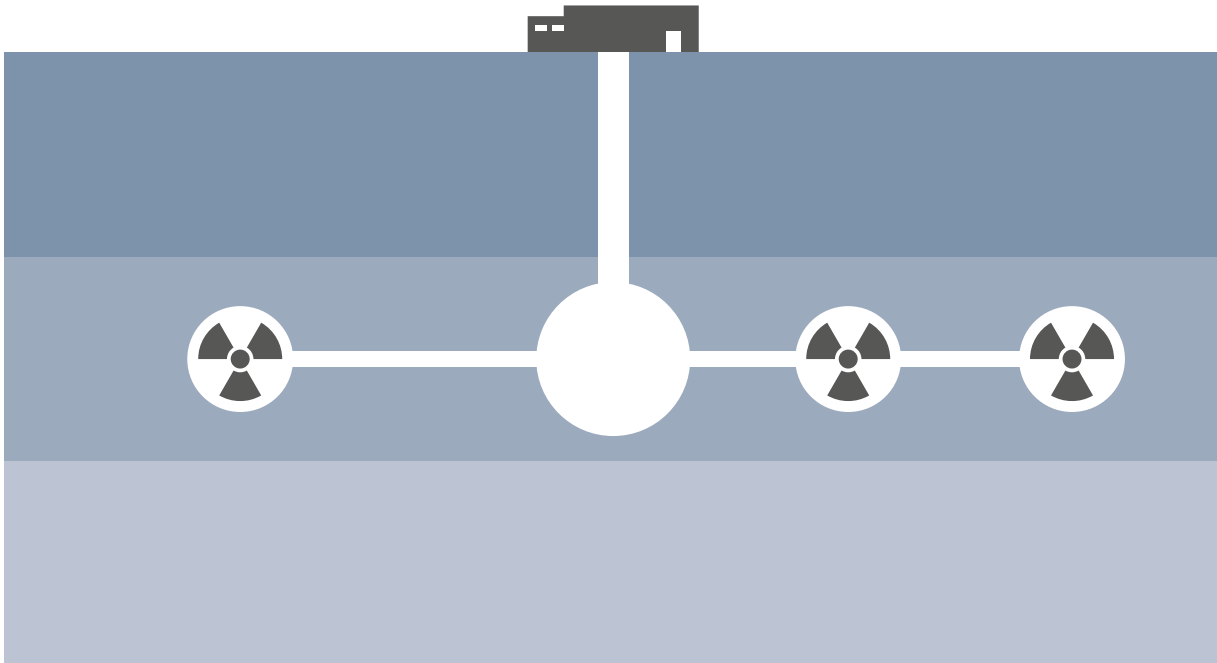
Für Konzipierung, Auslegung und Sicherheitsbewertung eines Endlagers muss das gesamte Endlagersystem betrachtet werden. Zur Auslegung des Endlagersystems gehört auch die Planung der Tagesanlagen. Insgesamt umfasst dieser Ansatz die Interaktion vielfältiger Aspekte, etwa Einwirkungen aus dem Gebirge und den eingelagerten Abfallgebänden, aber auch Betrachtungen zum Radionuklidinventar und geotechnischen Elementen. Darüber hinaus sind Endlagerbehälter, Verfüll- und Verschlussbauwerke und die dazu gehörenden Materialtechnologien zu betrachten. Ausbau- und Sicherungsmaßnahmen sowie Verfüll- und Verschlusskonzepte müssen wirtsgesteinsspe-

zifisch entwickelt bzw. weiterentwickelt werden. Die Entwicklung der Konzepte für die Auslegung des Endlagers für hochradioaktive Abfälle erfolgt parallel für die betrachteten Wirtsgesteine.

Die Entwicklung derartiger Konzepte und Techniken erfolgt iterativ, so dass der Detaillierungsgrad mit Fortschreiten der Aufgaben zunimmt. Zur Bestätigung und Überprüfung der entwickelten Konzepte und technischen Lösungen sowie zum Nachweis und/oder zur Weiterentwicklung ihrer bautechnischen Umsetzbarkeit werden auch Demonstrationsversuche unter realen Bedingungen geplant und durchgeführt.

Es sind geeignete Monitoringkonzepte und -techniken zu entwickeln, um Abweichungen von den erwarteten Entwicklungen des Endlagersystems frühzeitig aufzeigen zu können. Neben geologischen Aspekten umfasst ein solches Monitoring auch geotechnische Barrieren und deren Eigenschaften. Monitoringkonzepte und -techniken müssen den Stand der Technik berücksichtigen und bereits während der Erkundungsphasen eingeplant werden. Fragen zur Möglichkeit eines Einsatzes von Überwachungssystemen in der Nachbetriebsphase eines Endlagers gehören ebenfalls in das F&E-Feld 3.

Die Betriebssicherheit eines Endlagers während der Errichtung, des Betriebs und der Stilllegung hat maßgeblichen Einfluss auf die Erarbeitung von Endlagerkonzepten und deren konkrete geotechnische Ausgestaltung. Die technische Umsetzung ist dabei wirtsgesteinsspezifisch. F&E-Themen bestehen auch zur gegenseitigen Abhängigkeit bzw. Wechselwirkung zwischen Aspekten der Betriebssicherheit auf der einen Seite und den Anforderungen an die Langzeitsicherheit auf der anderen. Im Rahmen technischer Entwicklungsprojekte (z. B. durch den Aufbau und Betrieb eines Technikums innerhalb der BGE) wird die Weiterentwicklung der



Endlagertechnik angestrebt. Das Ziel der BGE ist es zudem, die Optimierung der Arbeitssicherheit durch die Verlagerung von Arbeitsplätzen außerhalb potenzieller strahlenexponierter Bereiche zu erreichen.

Die Entwicklung von Behälterkonzepten beinhaltet Untersuchungen zu geeigneten Behältermaterialien sowie die Darstellung von Abhängigkeiten und einwirkenden Prozessen zwischen dem Endlagerbehälter und der geotechnischen Barriere (z. B. mechanische Belastungen), die für einen Integritätsnachweis erforderlich sind. Als auslegungsrelevant zu berücksichtigen sind auch die Korrosion von Behältern oder die Grenztemperatur an der Behälteroberfläche.

Für die Stilllegung der Endlager und den damit einhergehenden Verschluss müssen umfangreiche Untersuchungen und Modellierungen durchgeführt werden. F&E-Bedarf besteht außerdem in der

Entwicklung von Technologien für eine potentielle Rückholung und Bergung.

Für die Durchführung der Kernmaterialüberwachung (Safeguards) während der Betriebsphase, der Stilllegung und nach dem Verschluss gibt es seitens der IAEA und der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) Vorgaben, die umzusetzen sind. Dafür muss die BGE geeignete Konzepte für unterschiedliche Endlagerauslegungen entwickeln und diesbezüglich F&E-Bedarfe identifizieren.

### Themen

Das F&E-Feld 3 beinhaltet F&E-Aktivitäten zu den Themen *Behälterkonzept, Verfüll- und Verschlusskonzept, Endlagerauslegung und Design, Endlagertechnik, Tagesanlagen, Betriebssicherheit, Monitoring, Nachweis der technischen Rückholbarkeit, Möglichkeit einer Bergung* sowie *Kernmaterialüberwachung (Safeguards)*.

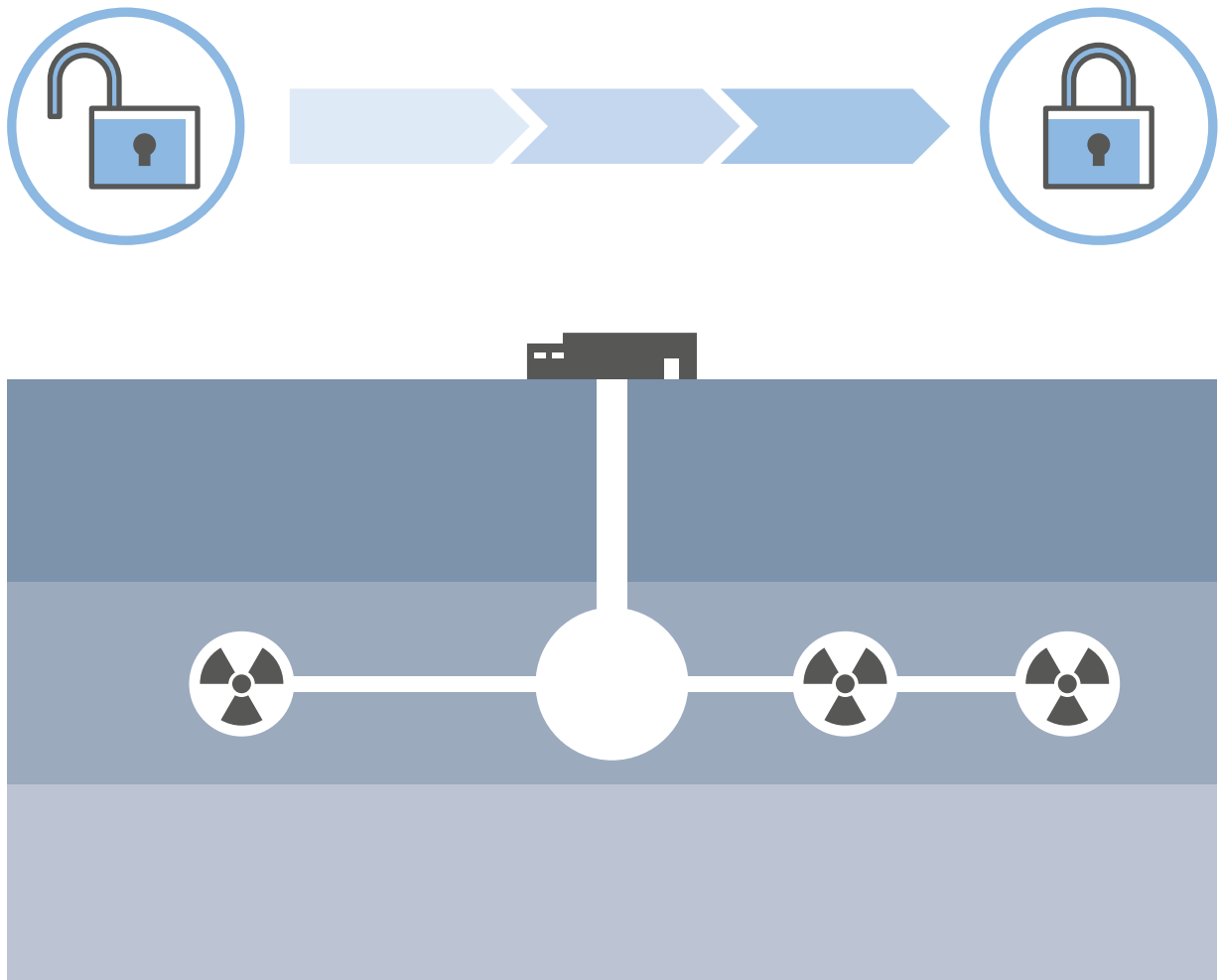
### 3.4 F&E-Feld 4 – Endlagersicherheit / Sicherheitsuntersuchungen

#### Definition

Im Rahmen der Endlagersicherheit ist zu bewerten, inwieweit der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle unter Berücksichtigung der geologischen Standortgegebenheiten gewährleistet ist. Hierzu wird das Endlagersystem in seiner Gesamtheit betrachtet und hinsichtlich seiner Sicherheit bewertet. Eine belastbare Bewertung des sicheren Einschlusses der radioaktiven Abfälle beruht dabei zu einem großen Teil auf den Erkenntnissen der zuvor beschriebenen F&E-Felder. Vor allem aber ist der sichere Einschluss abhängig von der

Integrität der geologischen und geotechnischen Barrieren. Dafür müssen auch das Barrierensystem und die darauf einwirkenden (Langzeit-) Prozesse genau verstanden und berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse aus dem F&E-Feld 1 – „Radiologische und chemische Eigenschaften radioaktiver Abfälle“, insbesondere auch aus dem F&E-Feld 2 – „Geowissenschaftliche Fragestellungen“ und dem F&E-Feld 3 – „Endlagerplanung, Errichtung, Betrieb und Stilllegung“, werden daher maßgeblich in dieses F&E-Feld einbezogen.





## Fokus

Das F&E-Feld 4 umfasst die F&E-Bedarfe, die zur Durchführung von Sicherheitsuntersuchungen zu bearbeiten sind. Um die Sicherheitsanforderungen zu erfüllen, muss ein Gesamtkonzept erstellt werden, in dem die Anforderungen aus Langzeitsicherheit, betrieblicher Sicherheit, etc. zusammengeführt und abgestimmt werden. Darauf basierend wird eine Methodik zur Sicherheitsbewertung erarbeitet. Die vSU im Standortauswahlverfahren sind zudem eine wichtige Grundlage, um verschiedenen Standortregionen und Standorte sicherheitsgerichtet vergleichend zu bewerten. Wie ein solcher Vergleich qualitativ und/oder quantitativ durchgeführt werden kann, ist ebenfalls Bestandteil von F&E-Feld 4.

Ein wesentlicher Punkt von Sicherheitsuntersuchungen ist der Umgang mit Ungewissheiten. Durch F&E-Aktivitäten sollen Strategien und Methoden entwickelt werden, um Ungewissheiten zu charakterisieren, ggf. zu quantifizieren und wenn möglich zu reduzieren.

Die Erstellung und Nutzung von FEP-Katalogen (engl.: Features, Events, Processes) ist für alle (vorläufigen) Sicherheitsuntersuchungen relevant. Die abgeleiteten Szenarien beschreiben mögliche gegenwärtige und zukünftige Entwicklungen eines Endlagers und haben damit Einfluss auf die Auslegung eines Endlagers sowie die Sicherheitsbewertung. Als erster Schritt werden vorhandene FEP-Kataloge zusammengetragen und in einer FEP-Datenbank (FEP-DB) zusammengefasst. Aufsetzend auf diese FEP-DB können Erweiterungen bzw. Überarbeitungen durchgeführt werden.

Für die Langzeitsicherheit ist die Integrität der geologischen, geotechnischen und technischen Barrieren von zentraler Bedeutung. Diese muss mindestens für den Zeitraum gewährt sein, für den die jeweiligen Barrieren Sicherheitsfunktionen übernehmen. Für die (vorläufigen) Sicherheitsuntersuchungen spielt der Nachweis der Integrität der verschiedenen Barrieren eine wesentliche Rolle.

Im Falle des Endlagers für hochradioaktive Abfälle muss das Barrierensystem in seinem Zusammenspiel eine einschließende Wirkung über den gesamten Bewertungszeitraum aufweisen. Es ist außerdem sicherzustellen, dass das Massenausstragskriterium (§ 4 Abs. 5 EndlSiAnfV) eingehalten wird. Der sichere Einschluss zielt darauf ab, dass eventuelle Expositionen aufgrund von Austragungen der Radionuklide geringfügig im Vergleich zur natürlichen Strahlenexposition sind. Für diese Betrachtungen spielen Fragen der Radionuklidfreisetzung, -migration und -rückhaltung und ihre Abhängigkeiten von den zeitabhängigen Randbedingungen im Nah- und Fernfeld eine zentrale Rolle. Ein wesentliches Werkzeug sind dabei thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemisch (THMC) gekoppelte Modellierungen. Diese gilt es weiterzuentwickeln, sowohl in methodischer Hinsicht als auch mit Blick auf die benötigten unterliegenden Daten.

## Themen

Das F&E-Feld 4 beinhaltet F&E-Aktivitäten zu den Themen *Ungewissheiten, Nachweisführung (Prüfung und Darstellung der Sicherheitsfunktionen), FEP-Kataloge und Szenarientwicklung, Integritätsnachweis des Barrierensystems* sowie *Gewährleistung des sicheren Einschlusses*.

## 3.5 F&E-Feld 5 – Soziotechnische Fragestellungen

### Definition

Sozialwissenschaftliche sowie soziotechnische Fragestellungen sind wichtige Aspekte im Bereich der Endlagerung radioaktiver Abfälle. Sie sind zusammen mit den naturwissenschaftlichen und technischen Fragestellungen aus den anderen F&E-Feldern zu berücksichtigen. Diese Fragestellungen werden im F&E-Feld 5 betrachtet. Des Weiteren wird ein transdisziplinärer Forschungsansatz verfolgt, um Anforderungen und Erwartungen an die Endlagerung nicht nur aus technischer und naturwissenschaftlicher Sicht, sondern auch aus gesamtgesellschaftlicher Perspektive zu bestimmen. Neben interdisziplinärer und disziplinärer Forschung zu soziotechnischen Fragestellungen werden insbesondere transdisziplinäre Arbeiten durchgeführt, die die Verknüpfung zur fachlich interessierten Öffentlichkeit herstellen. Durch die Betrachtung der Endlagerung als ein soziotechnisches System ist das Zusammenwirken von Mensch, Technik und Organisation (MTO; Ulich, 2013) hinsichtlich potenzieller Risiken und deren Einfluss auf die Endlagersicherheit zu untersuchen.

Dieses F&E-Feld ist ein Querschnittsthema und weist Schnittstellen zu allen vorherigen F&E-Feldern auf, insbesondere F&E-Feld 2 – „Geowissenschaftliche Fragestellungen“, F&E-Feld 3 – „Endlagerplanung, Errichtung, Betrieb und Stilllegung“ und F&E-Feld 4 – „Endlagersicherheit / Sicherheitsuntersuchungen“.

### Fokus

Das F&E-Feld 5 betrachtet die Wechselwirkungen zwischen naturwissenschaftlichen und technischen Gegebenheiten einerseits und gesellschaftlichen Aspekten andererseits.

Als Vorhabenträgerin hat die BGE dafür Sorge zu tragen, dass die Prinzipien aus § 1 StandAG umgesetzt werden: Das Standortauswahlverfahren muss partizipativ, wissenschaftsbasiert, transparent,

selbsthinterfragend und lernend sein. Dies ist generelles Leitbild der BGE. Das zeigt sich beispielsweise im transparenten Handeln der Großprojekte, in denen die Bürger\*innen fortlaufend informiert und involviert werden. Die soziotechnischen Anforderungen an die Organisation der BGE, die sich hieraus ergeben, müssen geklärt und geeignete Methoden zur Umsetzung und Evaluierung des lernenden Verfahrens entwickelt werden. Im Fokus stehen dabei Herausforderungen und Voraussetzungen des organisationalen Lernens. Dies umfasst auch die Berücksichtigung und Einbindung sozialwissenschaftlicher Aspekte und Erkenntnisse hinsichtlich von menschlichen Faktoren (Aspekte der menschlichen Zuverlässigkeit, Vorurteile, Umgang mit Unsicherheiten etc.). Im Hinblick auf die BGE als Organisation ist die Identifizierung bestehender Prozesse des organisationalen Lernens sowie die Evaluation und Ermittlung fortlaufenden Anpassungsbedarfs – auch unter Berücksichtigung der Reversibilität und im Hinblick der Institutionensicherung – von Relevanz. Hierbei ist von Belang, unter welchen Kontextbedingungen dies in der Praxis umgesetzt werden kann.

Zur Kommunikation mit und Information von verschiedenen Interessensgruppen und Beteiligten über die lange Verfahrensdauer hinweg, werden geeignete Methoden, Instrumente und Formate entwickelt und optimiert, u.a. wird im Wissensmanagement der BGE das Standortauswahlverfahren zeithistorisch begleitet, um wesentliche wissenschaftliche, rechtliche und gesellschaftliche Zusammenhänge und Entscheidungsprozesse aufzuzeigen und verfügbar zu halten. Zwecks der Verfolgung des Stands von W&T werden F&E-Aktivitäten zum Wissens-, Know-How- und Erfahrungsaustausch auf nationaler und internationaler Ebene initiiert.

Für die sozioökonomische Potenzialanalyse gemäß § 16 Abs. 1 StandAG müssen geeignete Methoden rechtzeitig zur Verfügung stehen bzw. vorhandene Ansätze optimiert werden, um die potenziellen

Auswirkungen eines Endlagers auf einen Standort bzgl. der ökonomischen und sozialen Ebenen abschätzen zu können. Außerdem sollen gesellschaftliche Reaktionen in Hinblick auf die Endlager sowie deren (potenzielle) Standorte identifiziert und analysiert werden.

Bei der Betrachtung von Endlagerung als soziotechnisches System ist das Verhältnis und die Interaktion von MTO für das Sicherheitsmanagement zu untersuchen. Darunter fällt die Identifizierung, Evaluation und Weiterentwicklung arbeits- und organisationspsychologischer Aspekte in den Prozessen der Endlagerung (beispielsweise hinterfragendes System, Sicherheits- und Fehlerkultur etc.) sowie ggf. Entwicklung von neuen Elementen. Zusätzlich ist die Vulnerabilität der Interaktion von MTO infolge sich ändernder gesellschaftlicher Kontextbedingungen zu berücksichtigen.

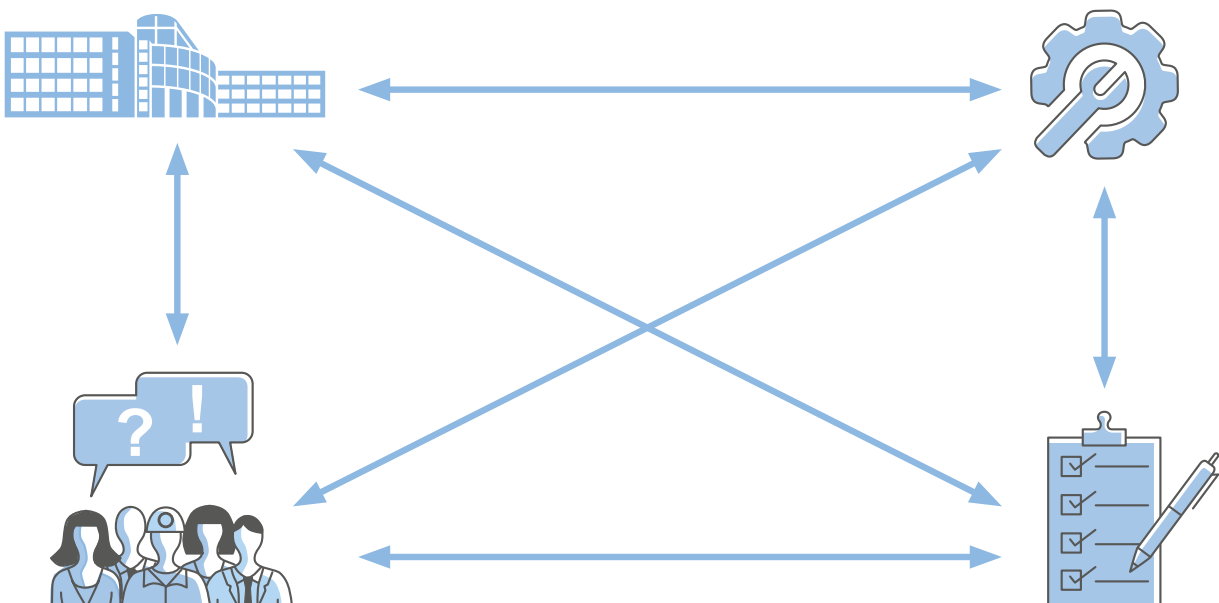
Mit F&E-Partnern wird ein transdisziplinärer Ansatz verfolgt, um Themen wie Überwachung, Rückholbarkeit bzw. Rückholung, Bergung und Reversibilität langfristig im Austausch und in Zusammenarbeit mit Betroffenen, Akteuren, Interessengruppen etc. zu untersuchen. Dieser

Ansatz verbessert das gemeinsame Verständnis verschiedener Sichtweisen, die in der Endlagerung radioaktiver Abfälle zu berücksichtigen sind.

Die BGE verfolgt eine Nachhaltigkeitsstrategie mit entsprechenden Zielen und Themen, die sich an die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie und die Sustainable Development Goals (SDG) der Vereinten Nationen anlehnt (siehe Nachhaltigkeitsberichte der BGE). In der Umsetzung der Endlagerung radioaktiver Abfälle als soziotechnisches Vorhaben können Forschungsthemen zur Ermittlung und Umsetzung verschiedener Nachhaltigkeitsaspekte identifiziert werden. Dies umfasst Fragestellungen in den Grenzbereichen zwischen Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft.

## Themen

Das F&E-Feld 5 beinhaltet F&E-Aktivitäten zu den Themen *Transparenz und Ergebnis-/Wissensvermittlung des lernenden Verfahrens, sozioökonomische Potenzialanalysen, Wechselwirkung Mensch-Technik-Organisation, Endlagerung vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Diskussion* sowie *Endlagerung im transdisziplinären Kontext*.



## 3.6 F&E-Feld 6 – Digitalisierung

### Definition

Der digitale Transformationsprozess in allen Gesellschaftsbereichen ist auch im technologischen Wandel der BGE zu berücksichtigen. Dabei zeigt sich der digitale Wandel im gesamten F&E-Prozess. Zum einen werden Instrumente, Geräte und Fahrzeuge digital modifiziert. Zum anderen werden durch die digitale Umwandlung und Darstellung von Informationen sowie den Einsatz digitaler Kommunikationsmittel mehr Transparenz und breitere gesellschaftliche Teilhabe ermöglicht. Die Digitalisierung ist mit vielfältigen Chancen verbunden, bringt aber auch große Herausforderungen mit sich. Die neuen Wege der Generierung, Übertragung und Vernetzung von Informationen prägen die Gesellschaft in allen Bereichen und verändern das Unternehmenssystem grundlegend.

Dieses Querschnittsfeld betrifft alle genannten F&E-Felder und ist von hoher Relevanz für die verschiedenen F&E-Themen.

### Fokus

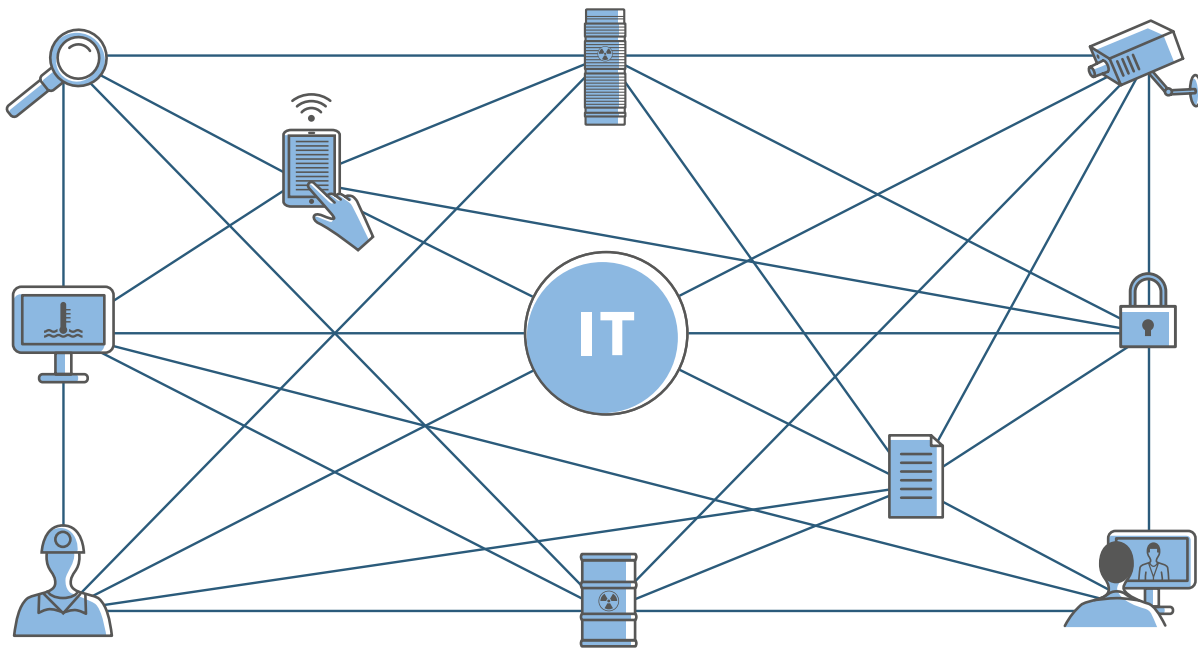
Das F&E-Feld 6 betrachtet die Methoden der Digitalisierung, die einen schnelleren Austausch von Informationen und kürzere Bearbeitungszeiten erlauben sowie durch den Einsatz von modernster Technik die Errichtung und den Betrieb der (Endlager-)Standorte der BGE sicherer machen. Zudem entwickelt die BGE numerische Codes und arbeitet an der Optimierung von Softwareumgebungen, z. B. für Simulationen und Modellierungen.

Die BGE hat das Building Information Modeling (BIM) für die Planung und Ausführung der Bauwerke über Tage eingeführt. Mit der Anwendung dieser Methode können viele Abläufe im Lebenszyklus eines Gebäudes verbessert werden. Die im Rahmen von BIM eingeführten Technologien, etwa eine digitale Projektplattform, erlauben eine verbesserte Kommunikation innerhalb der BGE sowie mit Auftragnehmenden während der Bauphasen.

Das Digitalisieren der Schachtanlagen und Überführen vorhandener Bauwerke in virtuelle 3D-Gebäudemodelle ermöglichen ein unmittelbares Übersenden von offenen Aufgaben an der Baustelle ohne Zeitverzug und führen zur Optimierung der Prozesse. Des Weiteren lassen sich durch BIM zeitliche Abläufe während der Bauphase demonstrieren. So können Bauabläufe und Lieferketten optimiert und Ungewissheiten im Vorfeld erkannt werden. Dadurch lassen sich Kosten besser kalkulieren und Planungsfehler vermeiden. Richtig eingesetzt kann BIM zu schnelleren Entscheidungen führen, bessere Terminalsicherheit gewährleisten und die Zusammenarbeit der Projektbeteiligten verbessern.

Bislang beinhaltet die Sicherheitsbewertung für ein Endlager eine Vielzahl umfangreicher Dokumente. Digitale Technologien ermöglichen die Darstellung der Sicherheitsbewertung in Form eines Digital Safety Case (OECD-NEA 2022). Im Vorfeld muss untersucht werden, wie sich diese Neuerungen auf die Anwendung in behördlichen Prozessen sowie die Vermittlung und Präsentation der Informationen gegenüber der Zivilgesellschaft auswirken. Nachfolgende Generationen müssen mit diesen Daten arbeiten können, weshalb gegebenenfalls neue Datenträger oder Datenhaltungs- bzw. -archivierungskonzepte entwickelt werden müssen. In Überlegungen zur Langzeitarchivierung von Daten ist auch die Erhaltung zur Verwendung der Daten notwendiger Softwareprodukte einzu-beziehen.

Digitale Zwillinge oder Digital Twins sind virtuelle Modelle eines realen Objekts. In der Endlagerung radioaktiver Abfälle können dies Tagesanlagen, Container oder ein gesamtes Endlager sein. Unter Nutzung realer Daten lassen sich mit diesen digitalen Zwillingen Planungen, Tests, Überwachung von Systemen sowie Modellrechnungen durchführen, um einen Gesamtprozess realistisch abzubilden und einen Einblick in das System (bzw. Teile davon) eines Endlagers zu bekommen. Die hierbei gewonnenen Informationen können u. a. für die



Sicherheitsbewertungen verwendet werden. Digitale Zwillinge sind komplexe Gebilde, die individuell für jeden Einzelfall entwickelt werden müssen.

Bei der digitalen Transformation und der Entwicklung digitaler Sicherheitskonzepte stehen die IT- und Betriebssicherheit im Vordergrund wie beispielsweise bei der Vision vom autonomen Endlager. Hierbei kombiniert die BGE die Vorteile von Industrie 4.0 zur Digitalisierung der industriellen Produktion mit ihren eigenen bzw. an sie gerichteten Anforderungen. Das Ziel der BGE ist es, die Optimierung der Arbeits- und Betriebssicherheit durch die Verlagerung von Arbeitsplätzen außerhalb potenziell strahlenexponierter Bereiche zu erreichen – beispielsweise mittels Fernsteuerung oder Einsatz autonomer Verfahren. F&E-Vorhaben werden mit Blick auf die Besonderheiten des Bergbaus unter Tage bzw. kerntechnischer Anlagen betrieben. Themen sind beispielsweise autonome Arbeitsmaschinen, Einsatz von künstlicher Intelligenz (z. B. bei der geologischen Erkundung, Überwachung und Sicherheitstechnik), Machine Learning und die Digitalisierung und Steuerung von Verkehrstechnik über und unter Tage.

Ein weiteres Anliegen der BGE ist die Erfassung und Wiedergabe impliziten Wissens sowie die Bereitstellung von digitalen Formaten zum be-

reichsübergreifenden Informationsaustausch. Eine wichtige Aufgabe ist die Einführung und Pflege der Enterprise Search Software iFinder und die kontinuierliche Erweiterung der dadurch digital verfügbar gemachten Informationen. Der iFinder ist eine Metasuchmaschine und bildet zusammen mit der digitalen Informationsbasis (Sammlung von Berichten mit wissenschaftlichen Charakter) eine Einheit. Mit ihrer Hilfe wird das Endlagerwissen der BGE und der Vorgängerinstitutionen verfügbar gemacht. Der iFinder kann in Zukunft in Verbindung mit anderen Digitalisierungsthemenschwerpunkten eingesetzt werden. Die Software kann verschiedene Datenpools erschließen und diese für die gesamte BGE oder für ausgewählte Mitarbeitende zur Verfügung stellen. Statt nur als Suchmaschine und digitale Informationsbasis zu fungieren, bietet die Software zudem die Möglichkeit, ein (Geo-) Datenmanagementwerkzeug für mehrere Anwendungen und Aufgaben in einem zu sein.

## Themen

Das F&E-Feld 6 beinhaltet F&E-Aktivitäten zu den Themen *Building Information Modeling (BIM)*, *Digital Safety Case*, *Digitale Sicherheitskonzepte (IT- und Betriebssicherheit)*, *Digitale Zwillinge*, *Künstliche Intelligenz*, *Machine Learning* sowie *Wissensmanagement*.

## Literaturverzeichnis

- AtG: Atomgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2153) geändert worden ist
- BGE (2019): Forschungs- und Entwicklungsbedarf Standortauswahlverfahren. Sicht des Vorhabenträgers. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://www.bge.de/fileadmin/user\\_upload/Standortsuche/Wesentliche\\_Unterlagen/Fachdiskussionen/Forschungsagenda/Workshop\\_zum\\_Forschungs-\\_und\\_Entwicklungsbedarf\\_der\\_BGE\\_als\\_Vorhabenstraegerin\\_gemaess\\_Standortauswahlgesetz/20190902\\_2\\_Anhang\\_1.pdf](https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Forschungsagenda/Workshop_zum_Forschungs-_und_Entwicklungsbedarf_der_BGE_als_Vorhabenstraegerin_gemaess_Standortauswahlgesetz/20190902_2_Anhang_1.pdf)
- BGE (2021): Standortauswahl Forschungsagenda 2021. Forschungs- und Entwicklungsbedarf zur Umsetzung des Standortauswahlverfahrens. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://www.bge.de/fileadmin/user\\_upload/Standortsuche/Wesentliche\\_Unterlagen/Fachdiskussionen/Forschungsagenda/STA\\_Forschungsagenda\\_2021\\_barrierefrei.pdf](https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Forschungsagenda/STA_Forschungsagenda_2021_barrierefrei.pdf)
- BGE (2020): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG (Stand: 28.09.2020). Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://www.bge.de/fileadmin/user\\_upload/Standortsuche/Wesentliche\\_Unterlagen/Zwischenbericht\\_Teilgebiete/Zwischenbericht\\_Teilgebiete\\_barrierefrei.pdf](https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete/Zwischenbericht_Teilgebiete_barrierefrei.pdf)
- BGE (2023): Roadmap zur Forschungsagenda Standortauswahl (Stand Dezember 2023). Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://www.bge.de/fileadmin/user\\_upload/Standortsuche/Wesentliche\\_Unterlagen/Fachdiskussionen/Forschungsagenda/20231231\\_Anlage\\_1\\_STA\\_Forschungsagenda\\_Roadmap\\_Dez\\_2023\\_F4\\_barrierefrei.pdf](https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Forschungsagenda/20231231_Anlage_1_STA_Forschungsagenda_Roadmap_Dez_2023_F4_barrierefrei.pdf)
- BMBF (2024): Richtlinie zur Förderung von Zuwendungen im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung in der nuklearen Sicherheitsforschung und der Strahlenforschung vom 09.01.2024. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/bekanntmachungen/de/2024/01/2024-01-18-Bekanntmachung-Sicherheitsforschung.html>
- BMU (2015): Programm für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (Nationales Entsorgungsprogramm). Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Nukleare\\_Sicherheit/nationales\\_entsorgungsprogramm\\_aug\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/nationales_entsorgungsprogramm_aug_bf.pdf)
- BMU (2017): Übertragung der Wahrnehmung von Aufgaben und Befugnisse auf die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Endlagerprojekte/aufgabenuebertragung\\_\\_BGE\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Endlagerprojekte/aufgabenuebertragung__BGE_bf.pdf)
- BMUV (2023): Verzeichnis radioaktiver Abfälle (Bestand zum 31. Dezember 2022 und Prognose). Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Nukleare\\_Sicherheit/2022\\_verzeichnis\\_radioaktiver\\_abfaelle.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/2022_verzeichnis_radioaktiver_abfaelle.pdf)
- BMWi (2021): BMWi-Forschungsförderung zur nuklearen Sicherheit. Projektförderprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie zur Sicherheitsforschung für kerntechnische Anlagen 2021–2025. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/projektfoerderprogramm-nukleare-sicherheitsforschung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/projektfoerderprogramm-nukleare-sicherheitsforschung.pdf?__blob=publicationFile&v=6)
- Deutscher Bundestag (2016): Abschlussbericht der Kommission Lagerung hochradioaktiver Abfallstoffe „Verantwortung für die Zukunft“. Ein faires und transparentes Verfahren für die Auswahl eines nationalen Endlagerstandortes. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://www.bundestag.de/resource/blob/434430/bb37b21b8e1e7e049ace5db6b2f949b2/drs\\_268-data.pdf](https://www.bundestag.de/resource/blob/434430/bb37b21b8e1e7e049ace5db6b2f949b2/drs_268-data.pdf)
- EndlSiAnfV: Endlagersicherheitsanforderungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094)

- EndlSiUntV: Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094, 2103)
- ESK (2016): Stellungnahme der Entsorgungskommission Endlagerforschung in Deutschland: Anmerkungen zu Forschungsinhalten und Forschungssteuerung. 12.05.2016. RSK/ESK-Geschäftsstelle beim Bundesamt für Strahlenschutz, Bonn. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter <https://www.entsorgungskommission.de/sites/default/files/reports/stnendlagerforschung12052016.pdf>
- EURAD (2021): EURAD Roadmap, extended with Competence Matrix. Deliverable D1.7 vom 27.09.2021, HORIZON 2020 project EURAD. EC Grant agreement no: 847593. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter <https://www.ejp-eurad.eu/sites/default/files/2021-09/EURAD%20-%20D1.7%20Roadmap%20extended%20with%20Competence%20Matrix.pdf>
- GWB: Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. Juni 2013 (BGBl. I S. 1750, 3245), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 405) geändert worden ist
- IAEA (2009): Classification of radioactive waste: safety guide. Vienna: International Atomic Energy Agency. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1419\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1419_web.pdf)
- IGD-TP (2020): Vision 2040 Strategic Research Agenda. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://igdtp.eu/wp-content/uploads/2022/09/2020-09-IGD-TP-Vision2040SRA-Final-Corrected\\_22-09-26.pdf](https://igdtp.eu/wp-content/uploads/2022/09/2020-09-IGD-TP-Vision2040SRA-Final-Corrected_22-09-26.pdf)
- DFG (2019): Leitlinien zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis. Kodex. Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) e.V., Bonn. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter <https://www.dfg.de/resource/blob/173732/4166759430af8dc2256f0fa54e009f03/kodex-gwp-data.pdf>
- Lex Asse: Gesetz zur Beschleunigung der Rückholung radioaktiver Abfälle und der Stilllegung der Schachtanlage Asse II vom 20. April 2013 (BGBl. I S. 921)
- NEA (2008): Moving forward with geological disposal of radioactive waste. A Collective Statement by the NEA Radioactive Waste Management Committee (RWMC). Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://www.oecd-nea.org/jcms/pl\\_18566](https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_18566)
- OECD (2018): Frascati-Handbuch 2015: Leitlinien für die Erhebung und Meldung von Daten über Forschung und experimentelle Entwicklung, Messung von wissenschaftlichen, technologischen und Innovationstätigkeiten. OECD Publishing, Paris. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1787/9789264291638-de>
- OECD-NEA (2022): NEA IDKM/EGSSC Workshop on Digital Safety Case Methods and Development. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2022-06/dsc-ws-concept\\_paper.pdf](https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2022-06/dsc-ws-concept_paper.pdf)
- PCGK (2020): Public Corporate Governance Kodex des Bundes, Teil I der „Grundsätze guter Unternehmens- und aktiver Beteiligungsführung im Bereich des Bundes“ vom 16.09.2020. Zugriff am 11.03.2024. Verfügbar unter [https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Bundesvermoegen/grundsaeetze-beteiligungsfoehrung-2020.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Bundesvermoegen/grundsaeetze-beteiligungsfoehrung-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- StandAG: Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist.
- Ulich (2013): Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme – eine Erinnerung, Journal Psychologie des Alltagshandelns, Vol. 6 / No. 1, 2013, S. 4-12.

## **Impressum**

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)

Eschenstraße 55  
31224 Peine  
T 05171 43-0

[www.bge.de](http://www.bge.de)  
[www.einblicke.de](http://www.einblicke.de)

Stand April 2024

Konzept, Layout und Texte:  
Bereich Forschung, Entwicklung, Wissensmanagement

Gestaltung und Grafiken:  
agentur spezial

Fotos:  
Christian Bierwagen

Zitation: BGE (2024): Forschung und Entwicklung.  
F&E-Strategie der BGE (Stand April 2024).  
Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH.  
<https://doi.org/10.61046/BGE2024FE>



**Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH**

Eschenstraße 55

31224 Peine

T +49 5171 43-0

F +49 5171 43-1213

[www.bge.de](http://www.bge.de)