



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Standortauswahl

Forschungsagenda 2020

Forschungs- und Entwicklungsbedarfe zur Umsetzung des Standortauswahlverfahrens

Stand: Juni 2020

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Anlagenverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	3
Vorwort zur Standortauswahl Forschungsagenda 2020	4
1 Einleitung	5
1.1 Die Bundesgesellschaft für Endlagerung als Vorhabenträgerin	5
1.2 Das Standortauswahlverfahren	6
2 Forschung im Standortauswahlverfahren	8
3 Aufstellung der Forschungsagenda 2020	11
4 Forschungsfelder der Forschungsagenda	13
4.1 Forschungsfeld 1 – Verhalten radioaktiver Abfälle und Entwicklung der radiotoxischen und chemotoxischen Eigenschaften	13
4.2 Forschungsfeld 2 – Geowissenschaftliche Fragestellungen	14
4.3 Forschungsfeld 3 – Endlagerkonzept	14
4.4 Forschungsfeld 4 – vorläufige Sicherheitsuntersuchungen	16
4.5 Forschungsfeld 5 – Sozialwissenschaften	17
Literaturverzeichnis	19
Anzahl der Blätter dieses Dokumentes	19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematischer Ablauf des Standortauswahlverfahrens 6

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Roadmap zur Standortauswahl Forschungsagenda 2020
GZ: SG01203/6-1/1-2020#1 - Objekt-ID: 800169

Abkürzungsverzeichnis

AtG	Atomgesetz
BASE	Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
BGZ	Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
DAEF	Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung
DECOVALEX	DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments
EURAD	EUropean Joint Programme on RADioactive Waste Management
Euratom	Europäische Atomgemeinschaft
ewG	Einschlusswirksamer Gebirgsbereich
FEP	Features, Events, Processes
FEP-DB	FEP (Features, Events, Processes) – Datenbank
FuE	Forschung und Entwicklung
IT	Informationstechnologie
StandAG	Standortauswahlgesetz
W&T	Wissenschaft und Technik

Vorwort zur Standortauswahl Forschungsagenda 2020

Nach einer ersten Bewertung des Forschungs- und Entwicklungsbedarfes im Jahr 2017 für die Aufgaben der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) im Standortauswahlverfahren wurden bereits Anfang 2018 erste Forschungs- und Entwicklungsarbeiten initiiert. Zudem wurde der Bedarf an Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ermittelt. Die Ergebnisse wurden im März 2019 im Rahmen eines zweitägigen Workshops in Braunschweig vorgestellt, mit nationalen Experten der Endlagerforschung erörtert und in dem Bericht der Standortauswahl zusammengestellt (BGE 26.06.2019).

Im Sinne des lernenden und transparenten Verfahrens gemäß dem Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – (StandAG)) ist der BGE die Fortsetzung des Austauschs zu Forschung und Entwicklung im Bereich Standortauswahl wichtig. Kritik und Anregungen aus den Diskussionen im Frühjahr 2019 wurden aufgegriffen und in der aktuellen Forschungsagenda berücksichtigt. Die vorliegende Unterlage „Standortauswahl Forschungsagenda 2020“ stellt eine Überarbeitung des Berichts „Forschungs- und Entwicklungsbedarf Standortauswahlverfahren – Sicht des Vorhabenträgers“ (BGE 26.06.2019) dar. In dieser Forschungsagenda werden die Schwerpunkte und Aktivitäten der Forschung, die mit Hinblick auf die Durchführung des Standortauswahlverfahrens von Bedeutung sind, berücksichtigt. Es werden die Grundlagen, die Methodik und die Struktur der Forschungsplanung erklärt und wichtige Schnittstellen für die Zusammenarbeit aufgezeigt. Mit dieser Forschungsagenda werden Informationen zu Beteiligungen der BGE in nationalen und internationalen Gremien und Kooperationen gegeben sowie Ansätze zum Nachhalten des Standes von Wissenschaft und Technik vorgestellt.

In der Forschungsagenda erfasst die BGE Aktivitäten und Projekte, die direkten Bezug zu den Aufgaben als Vorhabenträgerin in der Standortauswahl haben sowie erforderliche neue Erkenntnisse für das Verfahren generieren. Die Aktivitäten und Projekte umfassen die Untersuchung grundlegender Forschungsfragen, die Weiterentwicklung und Optimierung des Standes von Wissenschaft und Technik, die (Weiter-) Entwicklung geeigneter Methoden und Instrumente sowie Modelle, aber auch Versuche und Demonstrationsprojekte zur Nachweisführung für die Sicherheitsuntersuchungen oder der technischen Machbarkeit. Die Bedarfsdefinierung greift auch Studien zur themenbezogenen Sichtung und Bewertung des Standes von Wissenschaft und Technik auf sowie die Einplanung und Verfügbarkeit erforderlicher spezieller Fachexpertise. Die vorliegende Unterlage stellt also eine Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsagenda des Bereichs Standortauswahl der BGE dar. Um eine bessere Lesbarkeit des Dokumentes zu erreichen, wird der zusammenfassende Begriff Forschungsagenda verwendet. Vereinfachend werden Initiativen, Beauftragungen und Projekte unter der Bezeichnung FuE-Aktivitäten gefasst.

Die Forschungsagenda ist in vier Kapitel gegliedert. In der Einleitung werden die allgemeinen Vorgaben und Fakten, die Vorhabenträgerin und das StandAG beschrieben. Innerhalb des Kapitels 2 werden die Arbeitsschritte im Bereich

Standortauswahl aufgegriffen. Dazu gehört die konkrete Aufgabenstellung nach dem StandAG, wie mit diesen umgegangen wird, aber auch welche Vernetzungen und Kooperationen genutzt werden. Die Erstellung und der Aufbau der Forschungsagenda wird in Kapitel 3 erläutert. Hier wird auch die als Anlage 1 mitgeführte Forschungs-Roadmap eingeführt, die als Steuerungselement der Forschungs- und Projektplanung genutzt wird. Die definierten Forschungsfelder mit den dazugehörigen Themen werden in Kapitel 4 beschrieben.

1 Einleitung

Mit dem Standortauswahlverfahren gemäß dem Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG) soll für hochradioaktive Abfälle in einem partizipativen, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbsthinterfragenden und lernenden Verfahren ein Standort für eine Anlage zur Endlagerung nach Atomgesetz (AtG) in Deutschland ermittelt werden. Die Suche nach einem Standort soll in einem vergleichenden Verfahren durchgeführt werden und den bestmöglichen dauerhaften Schutz von Mensch und Umwelt für einen Zeitraum von einer Million Jahren sicherstellen. Für die Entsorgung von hochradioaktiven Abfällen wird in Deutschland die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen vorangetrieben (BMU August 2018).

Die Vorgehensweise für das Standortauswahlverfahren ist im StandAG (siehe Kapitel 1.2) festgelegt. Das Gesetz regelt die Phasen sowie Kriterien und Anforderungen, die angewendet werden müssen, um als Ergebnis des Standortauswahlverfahrens einen Vorschlag für einen Standort für ein Endlager zu erhalten. Bei diesem Prozess soll die Öffentlichkeit einbezogen und über Erkenntnisse und Ergebnisse informiert werden; zudem werden Arbeitsschritte dem Verlauf des Verfahrens angepasst. Dazu ist es erforderlich, dass der jeweils aktuelle Stand der Wissenschaft und Technik berücksichtigt wird. Am Ende jeder Phase des Verfahrens treffen der Bundestag und der Bundesrat die Entscheidung über die weiter zu betrachtenden Standorte, bis zur abschließenden Festlegung eines Endlagerstandortes am Ende der Phase III.

1.1 Die Bundesgesellschaft für Endlagerung als Vorhabenträgerin

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) ist gemäß der Aufgabenübertragung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) vom 24.04.2017 (BMU 24.04.2017) Vorhabenträgerin für das Standortauswahlverfahren und gemäß StandAG für die Umsetzung des Standortauswahlverfahrens zuständig. Damit nimmt sie als Vorhabenträgerin gemäß § 3 StandAG die definierten Aufgaben wahr. Aus diesen ergeben sich für das Standortauswahlverfahren relevante Forschungs- und Entwicklungsbedarfe unter Berücksichtigung des Standes von Wissenschaft und Technik.

Weitere Forschungsarbeiten zum Themengebiet der Entsorgung radioaktiver Abfälle erfolgen im Rahmen der Forschungsförderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für Grundlagenforschung sowie durch das Bundesministerium

für Wirtschaft und Energie (BMWi) für anwendungsorientierte wissenschaftliche Grundlagen und Nachwuchsförderung. Darüber hinaus werden auch anlagenbezogene Forschungsprojekte durch das BMU gefördert. Die Studien der Standortauswahl sind allerdings nicht Teil des Ressortforschungsplans.

Darüber hinaus bearbeitet die Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH (BGZ) weitere aufgabenbezogene Forschungsfragen mit dem Schwerpunkt auf der Sicherheit von Transport- und Lagerbehältern. Das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) forscht zur Erfüllung seiner aufsichtlichen Aufgaben, insbesondere zu den Themen Standortauswahlverfahren und Endlagersicherheit, Öffentlichkeitsbeteiligung, Zwischenlagerung und Transport von radioaktiven Abfällen sowie nukleare Entsorgungssicherheit.

1.2 Das Standortauswahlverfahren

Das Standortauswahlverfahren ist ein gestuftes Verfahren, das sich nach dem StandAG in drei Phasen gliedert (vgl. Abbildung 1). Die Ergebnisse jeder Phase und die daraus resultierenden Festlegungen durch den Bundestag und Bundesrat bestimmen den konkreten Arbeitsumfang der darauffolgenden Phase.



Abbildung 1: Schematischer Ablauf des Standortauswahlverfahrens

Die Phase I ist in zwei Schritte unterteilt. In Schritt 1 erfolgt die Ermittlung von Teilgebieten gemäß § 13 StandAG, welche günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen. Dies geschieht durch die Anwendung der in den §§ 22 bis 24 StandAG festgelegten Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen sowie geowissenschaftlichen Abwägungskriterien. Die ermittelten Teilgebiete werden in Form eines Zwischenberichtes durch die BGE veröffentlicht. In diesem „Zwischenbericht Teilgebiete“ werden u. a. alle erarbeiteten Grundlagen für die Anwendung der Ausschlusskriterien, der Mindestanforderungen und der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sowie detaillierte Darlegungen über die Datenabfragen, die Datenlieferungen und die Homogenisierung der Daten zusammengeführt. Ziel des Zwischenberichtes ist es, die ermittelten Teilgebiete mit zu erwartenden günstigen geologischen Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle darzustellen. Des

Weiteren wird sich ein Teil des Zwischenberichtes mit Gebieten beschäftigen, in welchen die Kriterien und Anforderungen aufgrund unzureichender Informationen nicht angewendet werden konnten. Dieser Berichtsteil wird eine Empfehlung zum Umgang mit diesen Gebieten mit nicht hinreichender geologischer Datenlage beinhalten.

In Schritt 2 der Phase I erfolgt die Ermittlung von Standortregionen für die übertägige Erkundung gemäß § 14 StandAG auf Basis der zuvor ermittelten Teilgebiete. Hierfür werden für jedes Teilgebiet repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen gemäß § 27 StandAG durchgeführt, bevor durch die erneute Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien günstige Standortregionen ermittelt werden. Die Anwendung der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien kann der Einengung von großen, potenziell für ein Endlager geeigneten Gebieten dienen oder für einen Vergleich zwischen Gebieten herangezogen werden, die unter Sicherheitsaspekten als gleichwertig zu betrachten sind. Des Weiteren werden für die Standortregionen standortbezogene Erkundungsprogramme für die übertägige Erkundung erarbeitet.

Die BGE fasst den Vorschlag für die übertägig zu erkundenden Standortregionen mit Begründung, den Ergebnissen aus der Fachkonferenz zu den Teilgebieten und den standortbezogenen Erkundungsprogrammen zusammen und übermittelt diesen an das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE). Der Bundestag und der Bundesrat treffen hierzu die verbindliche Entscheidung und legen den Arbeitsumfang für die Phase II fest.

In Phase II des Standortauswahlverfahrens erfolgt die übertägige Erkundung der gesetzlich festgelegten Standortregionen gemäß § 16 StandAG durch die festgelegten standortbezogenen Erkundungsprogramme. Auf Grundlage der Erkundungsergebnisse werden weiterentwickelte vorläufige Sicherheitsuntersuchungen und für jede Standortregion sozioökonomische Potenzialanalysen durchgeführt. Des Weiteren erfolgt erneut die vergleichende Analyse und Abwägung nach Maßgabe der gesetzlich festgelegten Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen, geowissenschaftlichen Abwägungskriterien und erstmals der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien. Weiter erarbeitet die BGE standortbezogene Erkundungsprogramme und Prüfkriterien für die untertägige Erkundung und die umfassenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen. Den Vorschlag für die untertägig zu erkundenden Standortregionen übermittelt die BGE mit Begründung dem BASE. Der Bundestag und der Bundesrat treffen hierzu die verbindliche Entscheidung und legen den Arbeitsumfang für die Phase III fest.

In der Phase III erkundet die BGE Standortregionen untertägig und erarbeitet umfassende vorläufige Sicherheitsuntersuchungen. Auch in dieser Phase werden die Kriterien und Anforderungen gemäß §§ 22 bis 25 StandAG angewendet. Mit der Umsetzung der Phase III und der Entscheidung von Bundestag und Bundesrat ist das finale Ziel der Standortfestlegung für ein Endlager für hoch radioaktive Abfälle erreicht.

2 Forschung im Standortauswahlverfahren

Ziel der Forschungsagenda ist, durch termingerechte und fachlich exzellente Umsetzung der Forschungsaktivitäten die erfolgreiche Durchführung des Standortauswahlverfahrens zu gewährleisten. Diese Forschungsagenda soll als Beitrag in das Forschungsprogramm der BGE einfließen.

Die Grundlagen für die Forschungs- und Entwicklungsbedarfe (FuE-Bedarfe) ergeben sich aus § 27 StandAG sowie den Sicherheitsanforderungen gemäß der Rechtsverordnung durch das BMU. Diese regeln die Anforderungen, die für die Durchführung der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen und durch das spätere Endlager für hochradioaktive Abfälle zu erfüllen sind (BMU 11.07.2019). Die Entwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik ist dabei zu berücksichtigen. Folgende zu betrachtende Schwerpunkte ergeben sich aus diesen Regularien:

- Berücksichtigung der drei potenziellen Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein in einem vergleichenden, sicherheitsgerichteten Verfahren,
- Verständnis des Verhaltens radioaktiver Abfälle und der Entwicklung der radio-toxischen und chemotoxischen Eigenschaften für das Management von Ungewissheiten und einer Stärkung der Robustheit der Sicherheitsbetrachtungen,
- maximale physikalisch mögliche Temperaturen in den verschiedenen Wirtsgesteinen zur Bewertung der Grenztemperatur an der Behälteraußenseite,
- Nachweisführung zur technischen Machbarkeit der Rückholung der Abfälle während der Betriebsphase des geplanten Endlagers,
- der endgültige Verschluss des Endlagerbergwerks in einer tiefen geologischen Formation,
- Grundsätzliche Überlegungen für die Möglichkeit einer Bergung der Abfälle nach Verschluss des Endlagerbergwerks für 500 Jahre

Die „Verordnung über die sicherheitstechnischen Anforderungen an die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle“ (BMU 11.07.2019) liegt als Referentenentwurf vor. Die BGE erwartet, dass nach Inkrafttreten Ergänzungen und Anpassungen der FuE-Bedarfe erforderlich werden. Darüber hinaus hat das BMU mit Wirkung zum September 2019 die BGE mit der ausschließlichen und vollumfänglichen Zuständigkeit für die Behälterentwicklung für ein Endlager von hochradioaktiven Abfällen beauftragt. Auch in diesem Rahmen plant die BGE Aufträge und Projekte.

Die FuE-Bedarfe werden auf die Umsetzung des Standortauswahlverfahrens fokussiert. Maßgeblich ist, was die Vorhabenträgerin tatsächlich an Erkenntnissen, (Weiter-) Entwicklungen, Modellen und Demonstrationsversuchen benötigt, um ihre Aufgaben zielorientiert umzusetzen.

Die Priorisierung der Forschungsbedarfe erfolgt mit Blick auf Dringlichkeit und Relevanz für das Standortauswahlverfahren. In der Umsetzung werden mit Rücksicht auf Ressourcen und Prioritäten konkrete Projekte formuliert und initiiert.

Führend sind vor allem Projekte zum Erkenntnisgewinn für die konkrete Anwendung der Kriterien und Anforderungen gemäß §§ 22 bis 24 StandAG, für die Durchführung der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen und Nachweisführung sowie für operative technische Entwicklungen und Methoden.

Darüber hinaus beschreibt die Forschungsagenda auch sozialwissenschaftliche Themen, die relevant für die Umsetzung des Standortauswahlverfahrens sind. Der Umgang mit sozialwissenschaftlichen Aspekten und transdisziplinären¹ Fragestellungen in den identifizierten Forschungsfeldern fördert einen vielfältigen und offenen Diskurs. Über eigene Studien und Methodenentwicklungen hinaus werden Aktivitäten zu Austausch und Beteiligungen an gemeinsamen inter- und transdisziplinären Verbänden befürwortet.

Die BGE vernetzt sich in nationalen und internationalen Gremien, um an dem Austausch zu relevanten Forschungsthemen teilzunehmen. Sie nimmt als Gast an der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF) teil und kooperiert mit anderen Vorhabenträgern und Forschungsinstituten (z. B. Universitäten, Forschungszentren, Bundesinstituten und Fachexperten). Darüber hinaus beteiligt sie sich an kooperativen Verbänden und Programmen wie z. B. DECOVALEX und EURAD. Eine Übersicht über Kooperationen und Projekte der Standortauswahl wird fortgeschrieben und veröffentlicht (BGE Juni 2020).

Die Aktivitäten werden umgesetzt durch Co-Funding Projekte, kooperative Forschungsverbände, FuE-Projekte mit Forschungsinstituten und Universitäten und durch öffentliche Ausschreibung von Aufträgen. Auch die Durchführung von eigenen Studien ist eine Option.

Erkenntnisse aus der Vernetzung und Projekten sollen systematisch in einem Wissensspeicher erfasst und für das Wissensmanagement der BGE verfügbar gemacht und nachgehalten werden. Aktuell werden hierzu seitens des Bereiches Standortauswahl IT-unterstützte Prozesse unter Anwendung von Tools zur Literaturbeschaffung, -verwaltung und -referenzierung in die Organisation eingebracht.

Für eine geeignete und zielgerichtete Planung und Verknüpfung der FuE-Aktivitäten mit dem Standortauswahlverfahren ist ein gutes Verständnis der angestrebten Zielergebnisse und Art der erforderlichen Arbeiten wichtig. Die sich hieraus ergebenden Anforderungen sind planerisch zu berücksichtigen. In diesem Rahmen wird die FuE-Planung in vier Projektkategorien strukturiert:

¹ Der Begriff „Transdisziplinarität“ bedeutet, dass zusätzlich zu der interdisziplinären Zusammenarbeit von z. B. Natur- und Geisteswissenschaften die gesellschaftliche Position (z. B. in Gestalt der interessierten Öffentlichkeit) aktiven Einfluss auf die Formulierung der Forschungsfragen und –aktivitäten hat und nicht erst eine Einbindung bei der Kommunikation und Vorstellung der Ergebnisse erfolgt. Es handelt sich also um einen über reine Transparenz hinausgehenden Ansatz, durch den die Teilhabe der Gesellschaft bereits zu Beginn der Forschungsaktivitäten gewährleistet werden soll.

A. Forschung

In Forschungsprojekten werden grundlegende neue Erkenntnisse erarbeitet mit dem Ziel identifizierte noch bestehende Wissenslücken zu füllen. Die Ergebnisse von Forschungsprojekten sind definitionsgemäß ergebnisoffen. Geeignete Mittel sind Kooperationen mit Forschungsinstituten und Universitäten.

B. Entwicklung

In Entwicklungsprojekten werden bereits bestehendes Wissen, Methoden, Modelle und Techniken für die konkrete Anwendung im Standortauswahlverfahren (weiter-)entwickelt und angepasst. Geeignet sind hier z. B. Zusammenarbeiten und Austausch mit anderen Vorhabenträgern und Fachberatern sowie ingenieurtechnischen Dienstleistern.

C. Erhebung des Standes von Wissenschaft und Technik

Forschung in Hinblick auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle wird von nationalen und internationalen Akteuren seit Jahrzehnten durchgeführt. Infolge dessen sind Erkenntnisse und Erfahrungen vorhanden, die systematisch und zielgerichtet in das laufende Standortauswahlverfahren integriert werden müssen. Die Berücksichtigung des Standes von Wissenschaft und Technik (W&T) in aktuellen Arbeiten, aber auch das Nachhalten der Entwicklungen über die langen Zeiträume der Entsorgungsprogramme hinweg, stellen eine wichtige Aufgabe dar. Projekte zur Erfassung und Bewertung des Standes von W&T sind daher für weitestgehend alle forschungsrelevanten Themen einzuplanen. Entsprechende Studien können in Eigenarbeit oder durch Fachberater erfolgen. Die Ergebnisse unterfüttern die Identifizierung von Wissenslücken und Bedarfen. Sie sind oft Basis weiterer FuE-Aktivitäten und müssen daher vorlaufend sein.

D. Fachkompetenz/Spezialexpertise

Bestimmte Aufgaben der BGE erfordern ein sehr spezifisches Fachwissen und Expertise. Im Laufe des Verfahrens sind diese besonderen Kompetenzen einzuplanen und ihre termingerechte Verfügbarkeit sicherzustellen. Entsprechende Kompetenzfelder müssen identifiziert werden, mögliche Anbieter erkundet und Kooperationen vorbereitet werden. Gegebenenfalls sind Aufbau und Erhalt eigener Spezialfachkompetenzen zu entscheiden und zu planen.

Es ist anzuerkennen, dass insbesondere größere Projekte und Forschungskooperationen oft Teilprojekte aus verschiedenen Projektkategorien enthalten. Solche komplexen Projekte sind in der Einordnung ihrer Priorität und bei der Planung angemessen zu managen.

Regelmäßig informiert die BGE über die Umsetzung der Forschungsthemen und die Weiterentwicklung der Forschungsagenda und stellt diese zur Diskussion. Die Forschungsagenda wird im Internet veröffentlicht und auf Workshops und in einschlägigen Gremien sowie im Rahmen von Veranstaltungen (z. B. „Tage der Standortauswahl“) präsentiert. Der Austausch mit Fachexperten, interessierten Bürgern und Beteiligten des Standortauswahlverfahrens ist ausdrücklich gewünscht. Die BGE greift Feedback, Kritik

und Vorschläge auf und berücksichtigt diese in der Fortschreibung der Forschungsagenda. Dadurch soll eine gemeinsame Sicht auf die Aufgaben und Herausforderungen entstehen und dort, wo verschiedene Sichtweisen bestehen, das gegenseitige Verständnis für die anderen Perspektiven gefördert werden.

Für das wissenschaftsbasierte Arbeiten wurde im Bereich Standortauswahl der BGE die Regelung „Wissenschaftsbasiertes Arbeiten im Bereich Standortauswahl“ formuliert. Sie definiert Grundsätze und Standards auch für die Projekte des Bereichs Standortauswahl der BGE und Beteiligungen in der Forschung. Zur Erfüllung dieser Anforderungen strebt der Bereich Standortauswahl eine systematische, zielgerichtete, ergebnisoffene, von dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik ausgehende und auf anerkannten, fortschrittlichen, wissenschaftlichen Methoden basierte Bearbeitung der Forschungsfragen an. Der Aufbau und Erhalt wissenschaftlicher Kompetenz der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ist angestrebt.

Die fachliche Qualitätssicherung der Forschungsaktivitäten des Bereichs Standortauswahl wird durch externe Reviews gewahrt. Die an externe Auftragnehmer vergebenen Projekte werden fachlich durch die BGE begleitet. Nach Abschluss des Projektes nimmt die BGE die Ergebnisse entgegen. Seitens der BGE ist eine Veröffentlichung der Ergebnisberichte in einschlägigen Fachzeitschriften (peer-review) ausdrücklich gewünscht und durch den Auftragnehmer selbst vorzusehen. Die BGE führt im Anschluss dieser Diskussion eine Einordnung der Ergebnisse für das Standortauswahlverfahren durch.

Kosten für Forschung und Entwicklung des Vorhabenträgers im Zusammenhang mit der Standortauswahl sind nach § 28 Abs. 2 Nr. 6 StandAG umlagefähig, d. h. sie werden anteilig auf die Umlagepflichtigen umgelegt.

3 Aufstellung der Forschungsagenda 2020

Die Forschungsagenda der Standortauswahl und die Roadmap stellen Rahmen und Struktur zur Steuerung der Planung und Koordination der Aktivitäten dar. In der Forschungsagenda werden konkrete Bedarfe bzw. Projekte formuliert und in das Standortauswahlverfahren eingeordnet. Dabei entsprechen die Forschungsbedarfe den auf den bestehenden Wissensstand bezogenen Wissenslücken, die durch passende Aktivitäten geschlossen werden können. Hierzu werden laufend die Ziele und Schwerpunkte, die notwendigen Maßnahmen sowie die Anforderungen an die wissenschaftliche Arbeit erörtert und einbezogen.

Die Identifikation und Formulierung der Forschungsbedarfe erfolgt sukzessive im Zuge des iterativen Verfahrens der Standortauswahl in engem Zusammenwirken der Fachabteilungen und dem Vorhabensmanagement des Bereichs Standortauswahl. Es fließen Erfahrungen aus den Endlagerprojekten der BGE, Themen, die sich aus der Gremienarbeit und Kooperationen ergeben sowie Hinweise von Fachexperten und interessierten Bürgern ein. In dieser frühen Phase der Standortauswahl ist eine Aktualisierung nach einem Jahr mit Entwicklung der „Standortauswahl Forschungsagenda 2021“ anvisiert. Bis Ende des Jahres 2020 soll die Agenda mit einer konkretisierten Planung, strukturiert

nach den Anforderungen der vier Projektkategorien, unterfüttert werden. Hierfür soll ein Pilot ausgewählt werden, anhand dessen die Struktur und Verfahren der FuE-Planung und der Umsetzung entwickelt und validiert werden können. Im weiteren Verfahren ist vorgesehen, die Agenda zweijährlich fortzuschreiben. Bei der Aktualisierung werden Veränderungen in Regelungen, wie den neuen Sicherheitsanforderungen, berücksichtigt.

Die „Standortauswahl Forschungsagenda 2020“ ist strukturiert in fünf Forschungsfelder:

1. Inventar radioaktiver Abfälle und deren radiotoxische und chemotoxische Eigenschaften
2. Geowissenschaftliche Fragestellungen
3. Endlagerkonzept
4. Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen
5. Sozialwissenschaften

Den Forschungsfeldern werden relevante Themen zugeordnet. Für jedes Thema werden Forschungsbedarfe erfasst und in die Forschungs-Roadmap (siehe Anlage 1) eingepflegt. In der Roadmap werden Bedarfe und Projekte mit dem Zeitpunkt der benötigten Ergebnisse und der ggf. abgeschätzten Dauer dargestellt. Um in der Forschungsagenda 2020 ein umfassendes Bild geben zu können, sind auch bereits abgeschlossene FuE-Projekte des Bereichs Standortauswahl in der Roadmap aufgenommen.

Themen, die einen klaren Bezug zu den Aufgaben der Standortauswahl haben, für die allerdings nach aktueller Lage keine Forschungsbedarfe definiert sind, werden als „weitere Themen“ in der Roadmap geführt. Die BGE wird für die „weiteren Themen“ begleitend zum Standortauswahlverfahren die Entwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik beobachten und sich mit Partnern und anderen interessierten Beteiligten austauschen. In der weiteren Umsetzung des Verfahrens werden diese Themen mit jeder Fortschreibung der Agenda neu bewertet. Gegebenenfalls werden Bedarfe angepasst und Projekte geplant. Auch die Beteiligungen des Bereiches Standortauswahl an kooperativen Projekten und Abschlussarbeiten (z. B. Diplom-/Masterarbeiten, Promotionsvorhaben) ist weiterhin von Interesse.

Bedarfe werden zu Beginn unspezifisch für alle potenziellen Wirtsgesteine formuliert. Erst in der konkreten Planung von Projekten wird der Bezug zu dem entsprechenden Wirtsgestein definiert.

Der Fokus der vorliegenden Forschungsagenda liegt auf dem Erkenntnisgewinn und den Ergebnissen für die Phase I und für den Beginn der Phase II des Standortauswahlverfahrens.

Die Schwerpunkte der „Standortauswahl Forschungsagenda 2020“ werden im Kapitel 4 vorgestellt. Eine Zusammenfassung des Standes von der Wissenschaft und der Technik zu jedem Forschungsfeld ist nicht Gegenstand der vorliegenden Forschungsagenda.

4 Forschungsfelder der Forschungsagenda

4.1 Forschungsfeld 1 – Verhalten radioaktiver Abfälle und Entwicklung der radiotoxischen und chemotoxischen Eigenschaften

Definition

In Deutschland werden die radioaktiven Abfälle bei der Endlagerung in wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung unterteilt. Zu den wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen zählen die hochradioaktiven Abfälle und aufgrund ihrer Wärmeabgabe, auch ein Teil der mittelradioaktiven Abfälle. Zu den Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung gehören die schwachradioaktiven Abfälle und der Großteil der mittelradioaktiven Abfälle.

Neben der Radiotoxizität können die radioaktiven Abfälle und ausgedienten Brennelemente auch chemotoxische Stoffe enthalten, auch das ist ggf. bei den Sicherheitsbetrachtungen zu berücksichtigen.

Gemäß § 1 Abs. 2 StandAG werden im Standortauswahlverfahren hochradioaktive Abfälle mit der Maßgabe betrachtet, dass der ausgewählte Standort die bestmögliche Sicherheit bietet, um diese sicher für eine Million Jahre endzulagern. Für eine abschließende Sicherheitsbetrachtung sind die Quantifizierung und ein sehr gutes Verständnis der Eigenschaften der hochradioaktiven Abfälle sowie der verbundenen Prozesse und Veränderungen relevant.

Fokus

Das Forschungsfeld befasst sich damit, ein besseres Verständnis des Verhaltens hochradioaktiver Abfälle in einer Endlagerumgebung zu entwickeln. Diese Erkenntnisse bilden eine essentielle Grundlage zur Bestimmung einer geeigneten Endlagerauslegung.

FuE-Aktivitäten dieses Forschungsfeldes beschäftigen sich unter anderem mit der radiochemischen Entwicklung von hochradioaktiven Abfällen und zielen insbesondere darauf ab, mögliche Veränderungen des radioaktiven Abfalls inklusive deren Prozesse und Auswirkungen auf eine sichere Endlagerung zu verstehen. Auch der Ausschluss von Kritikalität und deren Bezug auf die Integrität des Barriersystems sind Themen, welche die BGE zu besorgen hat. Es ist einzuplanen und abzusichern, dass die fachspezifische Expertise termingerecht verfügbar ist.

Themen

Das Forschungsfeld ist in die Themen ***Eigenschaften und Verhalten hochradioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente, radiochemische Entwicklung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle*** sowie ***Kritikalitätsausschluss*** gegliedert.

4.2 Forschungsfeld 2 – Geowissenschaftliche Fragestellungen

Definition

Geowissenschaftliche Informationen bilden die Grundlage hinsichtlich der Auswahl und der Sicherheitsbewertung eines geeigneten Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle. Dies beinhaltet genaue Kenntnisse über die derzeitige geologische, strukturgeologische und hydrogeologische Situation, als auch Prognosen zur Langzeitentwicklung unter anderem unter Berücksichtigung klimatischer Veränderungen. Diese Ergebnisse beeinflussen die Auslegung und die Planung eines Endlagers und liefern somit wichtige Daten für das Forschungsfeld 3 – „Endlagerkonzept“ sowie für das Forschungsfeld 4 – „vorläufige Sicherheitsuntersuchungen“.

Fokus

Im Fokus dieses Forschungsfeldes stehen FuE-Aktivitäten, die zu einem grundlegenden Verständnis der geowissenschaftlichen Langzeitentwicklung für die nächsten eine Million Jahre beitragen. Wichtige Informationen für die Sicherheitsbewertung eines Standortes sind zum Beispiel 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.

Weitere FuE-Aktivitäten ergeben sich aus der Anwendung der gesetzlich geforderten Kriterien und Anforderungen (§§ 22 bis 24 StandAG). Hierbei ist auch die Charakterisierung der drei Wirtsgesteine von Bedeutung.

Geowissenschaftliche und geophysikalische Erkundungsmethoden werden für das Verfahren benötigt und dienen einerseits Ungewissheiten zu minimieren sowie andererseits einen Referenzzustand zu ermitteln. Für diesen Referenzzustand sind weiterhin Strategien zum Monitoring eines Standorts zu entwickeln, die den neuesten Stand der Technik berücksichtigen und bereits während der Erkundungsphasen eingeplant werden müssen.

Themen

Das Forschungsfeld beinhaltet Forschungsaktivitäten zu den Themen **geowissenschaftliche Prozesse, klimatische Prozesse, Kriterien und Anforderungen nach StandAG, Eigenschaften des Wirtsgesteins** sowie **Erkundung**.

4.3 Forschungsfeld 3 – Endlagerkonzept

Definition

Die Planung eines Endlagers erfordert die Entwicklung wirtsgesteinsspezifischer Sicherheitskonzepte und Methoden zur Nachweisführung sowie geeigneter Methoden zum sicherheitsgerichteten Vergleich der Endlagerkonzepte hinsichtlich der Langzeitentwicklung.

Darüber hinaus sind bei der Planung eines Endlagers die Anforderungen an die Reversibilität zu berücksichtigen.

Endlagerkonzepte sind abhängig vom ausgewählten Wirtsgestein, Art, Menge und Inventar des radioaktiven Abfalls und beinhalten die Entwicklung von Behälterkonzepten, Verfüll- und Verschlusskonzepten sowie die Planung der Tagesanlagen.

Für dieses Forschungsfeld sind der Transfer und das Einbeziehen der Erkenntnisse aus dem Forschungsfeldern 1 „Inventar radioaktiver Abfälle“ und deren radiotoxische und chemotoxische Eigenschaften und dem Forschungsfeld 2 „geowissenschaftliche Fragestellungen von erheblicher Bedeutung“.

Fokus

In diesem Forschungsfeld wird die Entwicklung von Behältern je nach Wirtsgestein spezifischen Anforderungen betrachtet. Zu berücksichtigen sind dabei z. B. die Korrosion von Behältern oder die Grenztemperatur an der Behälteroberfläche. Die Entwicklung von Behälterkonzepten beinhaltet Untersuchungen zu geeigneten Behältermaterialien sowie die Darstellung von Abhängigkeiten und einwirkender Prozesse zwischen dem Endlagerbehälter und der geotechnischen Barriere (z. B. mechanische Belastungen), die für einen Integritätsnachweis förderlich sind bzw. ihn erschweren. Auch Verfüll- und Verschlusskonzepte müssen wirtsgesteinsspezifisch entwickelt bzw. weiterentwickelt werden.

Die Auslegung und das Design eines Endlagers müssen die thermische Auslegung und die Verteilung der radioaktiven Abfälle in einem Endlager mit betrachten. Die Entwicklung derartiger Konzepte und Techniken erfolgt iterativ, so dass der Detaillierungsgrad im Laufe des Standortauswahlverfahrens zunimmt. Zur Auslegung des Endlagersystems gehört auch die Planung der Tagesanlagen.

Die Betriebssicherheit eines Endlagers während der Errichtung, des Betriebs und der Stilllegung des Bergwerks haben maßgeblichen Einfluss auf die Erarbeitung von Endlagerkonzepten. Gemäß § 1 Abs. 4 StandAG muss für den Zeitraum der Betriebsphase des Endlagers die technische Machbarkeit der Rückholbarkeit der Abfälle bestehen und nachgewiesen werden.

Darüber hinaus müssen generelle Überlegungen für die Möglichkeit einer Bergung der radioaktiven Abfälle für einen Zeitraum von 500 Jahren nach dem Verschluss des Bergwerks erfolgen.

Bei der Entwicklung der Konzepte für die Endlagerauslegung sind Maßnahmen zur Kernmaterialüberwachung (Safeguards) während der Betriebsphase und nach dem Verschluss vorzusehen. Dies erfordert die Entwicklung geeigneter Überwachungskonzepte für unterschiedliche Endlagerauslegungen sowie die Weiterentwicklung der Überwachungstechnik.

Vor diesem Hintergrund werden alle FuE-Aktivitäten zur Erarbeitung von Endlagerkonzepten im Kontext der Reversibilität durchgeführt. In diesem Zusammenhang sind geeignete Monitoringkonzepte und -techniken zu besorgen.

Zur Bestätigung und Überprüfung der entwickelten Konzepte und technischen Lösungen werden Demonstrationsversuche unter realen Bedingungen geplant und durchgeführt.

Themen

Das Forschungsfeld beinhaltet Forschungsaktivitäten zu den Themen **Behälterkonzept, Verfüll- und Verschlusskonzept, Endlagerauslegung und Design, Endlagertechnik, Tagesanlagen, Betriebssicherheit, Monitoring, Nachweis der technischen Rückholbarkeit, Bergbarkeit sowie Kernmaterialüberwachung (Safeguards).**

4.4 Forschungsfeld 4 – vorläufige Sicherheitsuntersuchungen

Definition

Im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen ist zu bewerten, inwieweit der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle unter Berücksichtigung der geologischen Standortgegebenheiten erwartet werden kann. Hierbei wird das Endlager in seiner Gesamtheit betrachtet und entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich seiner Sicherheit über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahren bewertet. Der sichere Einschluss von radioaktiven Abfällen ist in seiner Gesamtheit das Ergebnis der Erkenntnisse aus den zuvor beschriebenen Forschungsfeldern. Vor allem aber ist die sichere Verwahrung abhängig von der Integrität der geologischen und geotechnischen Barrieren. Die Ergebnisse aus dem Forschungsfeld 1 „Inventar radioaktiver Abfälle“ und deren radiotoxische und chemotoxische Eigenschaften, aus dem Forschungsfeld 2 „geowissenschaftliche Fragestellungen“ und dem Forschungsfeld 3 „Endlagerkonzept“ sind daher maßgeblich in dieses Forschungsfeld mit einzubeziehen.

Fokus

In diesem Forschungsfeld werden die Fragen bearbeitet, die zur Durchführung der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen zu klären sind.

Erforderlich für die Bewertung der Langzeitsicherheit ist ein gutes Verständnis der geowissenschaftlichen Situation und der geowissenschaftlichen Langzeitentwicklung, der Barriersysteme, der Verschlüsse, der eingelagerten radioaktiven Abfälle und deren Langzeitverhalten sowie der Auslegung des Endlagers. Die FuE-Aktivitäten zielen auf die Verbesserung dieses Verständnisses ab.

Es müssen Strategien zum Umgang von Ungewissheiten entwickelt werden, um diese während der Errichtungs-, Betriebs- und Stilllegungsphase eines Endlagers zu identifizieren und zu minimieren.

Um nachweisen zu können, dass ein Endlager die im Standortauswahlgesetz vorgeschriebenen Sicherheitsanforderungen erfüllt, müssen generelle Sicherheitskonzepte und Konzepte zur Nachweisführung entwickelt werden.

Die Erstellung und Nutzung von FEP-Katalogen ist für alle Phasen des Standortauswahlverfahrens relevant. Mit Hilfe der Ableitung von Szenarien können alle Komponenten

und Prozesse, die für die gegenwärtige und zukünftige Entwicklung eines Endlagers relevant sind, identifiziert und charakterisiert werden. Als ersten Schritt werden vorhandene FEP-Kataloge zusammengetragen und in einer FEP-Datenbanklösung (FEP-DB) zusammengefasst. Aufsetzend auf diese FEP-DB können Erweiterungen bzw. Überarbeitungen durchgeführt werden.

Von Bedeutung für die Langzeitsicherheit sind die Integritätsnachweise der geologischen und geotechnischen Barrieren. Die geologische Barriere, also der einschlusswirksame Gebirgsbereich (ewG), muss nachweislich eine einschließende Wirkung über den gesamten Nachweiszeitraum von einer Million Jahren aufweisen.

Der radiologische Nachweis zielt darauf ab, dass evtl. Freisetzungen von Radionukliden am Rand des ewG unterhalb der Geringfügigkeitsgrenze liegen.

Themen

Dieses Forschungsfeld beinhaltet Forschungsaktivitäten zu den Themen ***Ungewissheiten, Nachweisführung, FEP-Kataloge und Szenarienentwicklung, Integritätsnachweis geologischer und geotechnischer Barrieren*** sowie ***radiologischer Nachweis***.

4.5 Forschungsfeld 5 – Sozialwissenschaften

Definition

Gemäß § 1 Abs. 2 S.1 StandAG ist das Standortauswahlverfahren partizipativ, wissenschaftsbasiert, transparent, selbsthinterfragend und lernend. Die Öffentlichkeit soll hierzu über den Ablauf des Standortauswahlverfahrens informiert werden und die aufkommenden Fragestellungen sind unter sozialwissenschaftlichen Gesichtspunkten zu betrachten. Des Weiteren sind für die Auswahl eines Endlagerstandorts sozioökonomische Potenzialanalysen zu berücksichtigen.

Fokus

Dieses Forschungsfeld betrachtet die Wechselwirkungen zwischen naturwissenschaftlich und technischen Gegebenheiten einerseits und gesellschaftlichen Aspekten andererseits.

Als Vorhabenträger hat die BGE die partizipative, wissenschaftsbasierte, transparente, selbsthinterfragende und lernende Durchführung des Standortauswahlverfahrens zu besorgen. Die Anforderungen an die Organisation der BGE, die sich hieraus ergeben, müssen geklärt und geeignete Methoden zur Umsetzung und Evaluierung entwickelt werden.

Für geeignete Formate zur Kommunikation und Information verschiedener Interessengruppen und Beteiligter über die lange Verfahrensdauer hinweg, werden Methoden und Instrumente entwickelt und optimiert. Durch Untersuchung transdisziplinärer Themen, wie Sicherheitskultur, Fehlerkultur, Management von Ungewissheiten, Rechtsempfinden und Reversibilität im Verfahren und deren Entwicklung über lange Zeiträume hinweg mit anderen betroffenen Beteiligten und Projektpartnern wird der Austausch und die Zusam-

menarbeit gefördert. Dieser Ansatz verbessert das gemeinsame Verständnis für verschiedene Sichtweisen, die in der Umsetzung des Standortauswahlverfahrens zu berücksichtigen sind.

Für die sozioökonomische Potenzialanalyse müssen geeignete Methoden zur Verfügung stehen, um die potenziellen Auswirkungen eines Endlagers auf einen Standort bzgl. der ökonomischen und sozialen Ebene abschätzen zu können.

Themen

Dieses Forschungsfeld beinhaltet Forschungsaktivitäten zu den Themen ***Transparenz und Ergebnis-/Wissensvermittlung, sozioökonomische Potenzialanalysen, Wechselwirkung Mensch-Technik-Organisation*** sowie ***Standortauswahl vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Diskussion.***

Literaturverzeichnis

- AtG: Atomgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 239 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist
- BGE (26.06.2019): *Forschungs- und Entwicklungsbedarf Standortauswahlverfahren. Sicht des Vorhabenträgers.* Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
- BGE (Juni 2020): *Forschungskooperationen und -projekte des Bereichs Standortauswahl der BGE.* [online]. Zugriff am: 12.08.2020. <https://www.bge.de/de/endlagersuche/forschung/>
- BMU (11.07.2019): *Referentenentwurf zur Verordnung über die sicherheitstechnischen Anforderungen an die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle.* [PDF-Datei]. Zugriff am: 12.08.2020. <https://www.bmu.de/gesetz/referentenentwurf-zur-verordnung-ueber-die-sicherheitstechnischen-anforderungen-an-die-entsorgung-hoc/>
- BMU (24.04.2017): *Übertragung der Wahrnehmung von Aufgaben und Befugnisse auf die Bundes-Gesellschaft für Endlagerung mbH.* [PDF-Datei]. Zugriff am: 12.08.2020. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Endlagerprojekte/aufgabenuebertragung_BGE_bf.pdf
- BMU (August 2018): *Zweiter Bericht zur Durchführung der Richtlinie 2011/70/Euratom.* [PDF-Datei]. Zugriff am: 12.08.2020. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/euratom_zweiter_durchfuehrungsbericht_bf.pdf
- StandAG: Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 247 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist