



## **POSITIONSPAPIER der Entsorgungskommission**

### **Standortauswahlverfahren für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle: Beschleunigungspotenziale und strategische Vorgehensweise bei der Identifikation von Standortregionen (Phase I der Standortauswahl)**

#### **INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>Motivation und Begründung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Beratungshergang</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Empfehlungen und Vorschläge zur Beschleunigung des Standortauswahlverfahrens</b>	<b>4</b>
3.1	Zu ausgewählten Ansätzen der Standortauswahl im Ausland	4
3.2	Rahmenbedingungen gemäß des StandAG und der Verordnungen im Hinblick auf den Zeitplan	5 5
3.3	Schlussfolgerungen und Empfehlungen zum strategischen Vorgehen in der Standortauswahl	6
3.3.1	Allgemeines	6
3.3.2	Empfehlung: Auswahl einer einzigen, wirtsgesteinsübergreifenden Rangfolge von Standortregionen in Phase I	8 8
3.3.3	Empfehlung: Verfahrensrisiken und Ungewissheiten minimieren	10
3.3.4	Empfehlung: Verfahrensschonendes und -förderndes Zusammenspiel der Hauptakteure	11
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>11</b>
	<b>Anhang 1:</b> Zum Vergleich: Situation im Ausland	<b>14</b>
	<b>Anhang 2:</b> Überlegungen zu Wirtsgesteinstypen im Zuge der Festlegung von Standortregionen	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Literatur</b>	<b>21</b>

## 1 Motivation und Begründung

In Übereinstimmung mit dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik sowie den Empfehlungen der Endlagerkommission [1] folgend, ist die Endlagerung der hochradioaktiven Abfälle in tiefen geologischen Formationen „in einem für diese Zwecke errichteten Endlagerbergwerk mit dem Ziel des endgültigen Verschlusses“ (§ 1 Abs. 4 StandAG) mit breiter parlamentarischer Zustimmung im Standortauswahlgesetz (StandAG) gesetzlich verankert worden [2]. Hierfür ist derjenige Standort auszuwählen, der „bestmögliche Sicherheit“ durch das Zusammenwirken technischer, geotechnischer und geologischer Barrieren für den Zeitraum von einer Million Jahren bietet.

Nach § 1 Abs. 5 S. 2 StandAG wird die Festlegung des Standorts für das Jahr 2031 angestrebt. Dem gegenüber stehen Schätzungen der Vorhabenträgerin, der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) [3], die zu einer Verschiebung der Standortfestlegung um mehrere Jahrzehnte führen. Dabei sind laut Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) [4] die Zeiten für behördliche Prüfung und Öffentlichkeitsbeteiligung noch nicht hinreichend berücksichtigt. Eine vom BASE beauftragte Studie des Öko-Instituts e. V. [5] führt unter „idealen Bedingungen“ auf die Jahreszahl 2074. Für das nachfolgende Genehmigungsverfahren, die Errichtung und Inbetriebnahme des Endlagers sowie der hierfür notwendigen Konditionierungsanlage und des Eingangslagers wurde eine Dauer von ca. 20 bis 35 Jahren abgeschätzt [1], [6]. Damit wäre mit einer Inbetriebnahme der Anlagen und dem Beginn der schrittweisen Leerung der Zwischenlager frühestens Ende des Jahrhunderts, möglicherweise aber erst zu Beginn des nächsten Jahrhunderts zu rechnen. Wird für den Betrieb des Endlagers ein Zeitraum von weiteren 30 Jahren angenommen, könnte man unter den angeführten „idealen Bedingungen“ erst im Zeitraum zwischen den 2120er bis 2140er Jahren mit dem Verschluss des Endlagers beginnen. Verzögerungen durch Gerichtsverfahren oder durch etwaige Rücksprünge im Verfahren sind in diesen Schätzungen nicht berücksichtigt.

Diese zeitliche Perspektive hat zur Folge, dass der gesetzliche Auftrag zur Vermeidung unzumutbarer Lasten und Verpflichtungen für zukünftige Generationen nicht verwirklicht werden kann (§ 1 Abs. 2 S. 3 StandAG).

Im Einzelnen hat eine derart starke Verzögerung der Endlagerung folgende Auswirkungen:

- Die oberirdische Zwischenlagerung, die immer nur eine zeitlich begrenzte Zwischenlösung darstellt, verlängert sich auf weit über 100 Jahre und impliziert damit sowohl technische als auch genehmigungstechnische und gesellschaftspolitische Herausforderungen und erfordert zusätzliche materielle und personelle Ressourcen. Folgende Aspekte sind dabei zu berücksichtigen (s. auch [7]):
  - Alterung der Behälter und Inventare mit möglichen negativen Auswirkungen auf Transportfähigkeit vom Zwischenlager zum Endlagerstandort und nachfolgende Konditionierung in Endlagerbehältern,
  - genehmigungsrechtliche Fragestellungen einschließlich der notwendigen Begründung für die zu beantragende Dauer der Neugenehmigungen der Zwischenlagerung (die bisherigen Aufbewahrungsgenehmigungen laufen 2034-2047 aus) und Befassung durch den Gesetzgeber; auslaufende Zwischenlagerebene Genehmigungen müssten teilweise um fast 100 Jahre verlängert werden,

- abnehmende Akzeptanz für die Zwischenlager vor allem seitens der Bevölkerung an den jeweiligen Standorten,
  - zusätzliche Herausforderungen für den immer längerfristig notwendigen Kompetenzerhalt bei Betreibern, Behörden und Sachverständigen,
  - langfristige Gewährleistung der aktiven Überwachung und Anlagensicherung in Verbindung mit der dafür notwendigen gesellschaftlichen Stabilität.
- Mit zunehmender Dauer schwindet das derzeit in der Nukleartechnik noch vorhandene Praxiswissen zum Umgang und zur Behandlung hochradioaktiver Stoffe weiter und muss durch zunehmend aufwendigere Maßnahmen zum Wissens- und Kompetenzerhalt kompensiert werden. Zudem ist der Bestand an kerntechnischen Forschungseinrichtungen (z. B. Labore, Kontrollbereiche), an denen noch ein praktischer Umgang mit radioaktiven Stoffen erfolgt, gefährdet.
  - Mit zunehmender Dauer besteht die Gefahr, dass neben der verfügbaren Expertise auch das gesellschaftliche Interesse an der Thematik infolge sich verändernder Prioritäten bei den gesellschaftlichen Herausforderungen nachlässt und notwendige Entscheidungen noch weiter nach hinten verlagert werden oder gar nicht erfolgen.
  - § 1 Abs. 6 StandAG erklärt die Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle am ausgewählten Standort für „zulässig, wenn die gleiche bestmögliche Sicherheit des Standortes wie bei der alleinigen Endlagerung hochradioaktiver Abfälle gewährleistet ist.“ Dies betrifft insbesondere solche radioaktiven Abfälle, die nicht im Endlager Konrad eingelagert werden können [8]. Nach § 7 Abs. 5 der Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndlSiUntV) [9] ist die Möglichkeit einer Einbeziehung derartiger radioaktiver Abfälle im Laufe des Standortauswahlverfahrens jeweils im Zuge der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (vSU) zu prüfen. Andere Entsorgungsmöglichkeiten für diese radioaktiven Abfälle werden derzeit nicht betrachtet. Eine Verzögerung der Standortauswahl um Jahrzehnte bedeutet daher, dass auch der Entsorgungsweg für diese schwach- und mittelradioaktiven Abfälle langfristig unbestimmt bleibt und dementsprechend eine langfristige oberirdische Zwischenlagerung gewährleistet werden muss.
  - Die im Rahmen des Standortauswahlverfahrens zu betrachtenden Standortregionen müssen über einen langen Zeitraum geschützt werden und erschweren die Entwicklung anderweitiger Nutzungskonzepte, z. B. geothermischer Anwendungen.
  - Die Ereignisse der letzten Jahre haben gezeigt, dass nicht notwendigerweise von stabilen politischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Verhältnissen über viele Jahrzehnte (120 Jahre entsprechen 30 Legislaturperioden) ausgegangen werden kann. Rückblickend hat Deutschland in den letzten 120 Jahren zwei Weltkriege und zwei Diktaturen, umfangreiche Gebietsveränderungen und eine vorübergehende staatliche Teilung erfahren. Es fehlt zudem in Deutschland und international jegliche Erfahrung in der Durchführung eines öffentlich/industriellen Großprojekts wie das der Endlagerung über einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren. Daraus ergeben sich erhebliche Unwägbarkeiten bis hin zu einem Scheitern des Standortauswahlverfahrens.

Insgesamt sprechen also zahlreiche Gründe für eine möglichst zügige Standortauswahl, ohne dabei Abstriche hinsichtlich der Sicherheit oder der Öffentlichkeitsbeteiligung zuzulassen. Eine gegenüber den derzeit diskutierten Zeithorizonten deutlich frühere Standortentscheidung trägt zudem den gesetzlichen Vorgaben nach § 1 Abs. 2 StandAG erheblich besser Rechnung.

Im vorliegenden Positionspapier werden daher erste Empfehlungen und Vorschläge der ESK dargelegt, die – ohne die Verfahrensprinzipien in Frage zu stellen – auf eine Beschleunigung des Verfahrens im Vergleich zu den aktuell vorliegenden Abschätzungen des Zeitbedarfs für den Standortauswahlprozess hinwirken sollen. Die ESK wird sich auch weiterhin mit diesem Thema befassen und ggf. weitere Vorschläge erarbeiten.

## **2 Beratungshergang**

Der ESK-Ausschuss ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE (EL) hat die Beratungen zum Sachverhalt in seiner 96. Sitzung am 22./23.06.2023 aufgenommen. Zur Vorbereitung des Positionspapiers wurde die Ad-hoc-Arbeitsgruppe ZEITBEDARF IM STANDORTAUSWAHLVERFAHREN (AG ZEIT) eingerichtet. Der Entwurf des Positionspapiers wurde in der 6. Sitzung der AG ZEIT am 01.10.2024 fertiggestellt. In ihrer 118. Sitzung am 24./25.10.2024 hat die ESK gemeinsam mit dem Ausschuss EL über den Entwurf beraten. Sowohl der Ausschuss EL als auch die ESK haben das Positionspapier in dieser Sitzung verabschiedet.

## **3 Empfehlungen und Vorschläge zur Beschleunigung des Standortauswahlverfahrens**

### **3.1 Zu ausgewählten Ansätzen der Standortauswahl im Ausland**

Zu den wichtigsten Faktoren, die bei einer Standortauswahl zu berücksichtigen sind, gehört neben der Sicherheit die gesamtgesellschaftliche und lokale Akzeptanz oder zumindest Toleranz des Prozesses und seines Ergebnisses.<sup>1</sup> Standortauswahlprozesse in unterschiedlichen Ländern unterscheiden sich dahin gehend, welchem dieser Faktoren eine „Leitfunktion“ im Verfahren zugewiesen wird: Während die Prozesse in Deutschland und der Schweiz primär sicherheitsgerichtet sind und Akzeptanz oder Toleranz durch Partizipationsformate erarbeitet werden soll, ist in anderen Ländern (z. B. Finnland, Großbritannien, Japan, Kanada, Schweden) bei gegebener Sicherheit die Freiwilligkeit der Gebietskörperschaften an potenziellen Standorten die das Verfahren leitende Funktion [10], [11]. In Anhang 1 dieses Positionspapiers werden die Ansätze zur Standortauswahl exemplarisch für drei Länder (Frankreich, Schweden, Schweiz) beschrieben, um dies zu illustrieren. Dabei zeigt sich, dass der Prozess in der Schweiz aufgrund seiner Orientierung an der Sicherheit als „Leitfunktion“, aber auch aufgrund weiterer Parallelen zum deutschen Verfahren, das größte Potenzial hat, die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen auch auf das deutsche Verfahren zu übertragen.

---

<sup>1</sup> Auf weitere Faktoren wie z. B. Infrastruktur, Umweltverträglichkeit und Raumplanung soll hier nicht eingegangen werden.

### **3.2 Rahmenbedingungen gemäß des StandAG und der Verordnungen im Hinblick auf den Zeitplan**

Das StandAG (§ 1 Abs. 2 S. 1 StandAG) definiert ein partizipatives, wissenschaftsbasiertes, transparentes, selbsthinterfragendes, lernendes und vergleichendes Verfahren, welches es dem Gesetzgeber erlauben soll, etwa bis zum Jahr 2031 einen Endlagerstandort mit der bestmöglichen Sicherheit für einen Zeitraum von einer Million Jahren festzulegen. Das StandAG (§ 1 Abs. 2 S. 2 StandAG) definiert „bestmöglich“ verfahrensbestimmt: „[...] Der Standort mit der bestmöglichen Sicherheit ist der Standort, der im Zuge eines vergleichenden Verfahrens aus den in der jeweiligen Phase nach den hierfür maßgeblichen Anforderungen dieses Gesetzes geeigneten Standorten bestimmt wird und die bestmögliche Sicherheit für den dauerhaften Schutz von Mensch und Umwelt [...] gewährleistet“.

Die Definition unterstellt, dass der im angestrebten Zeitrahmen als bestmöglich identifizierte Standort gleichzeitig allen Anforderungen des Gesetzes, Sicherheitsanforderungen und sonstigen Regelungen genügt. Das Endlagersystem wird in diesem Verfahren in seiner Gesamtheit aus technischen, geotechnischen und geologischen Komponenten betrachtet und entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich seiner Sicherheit bewertet. Dazu wird das Verhalten des Endlagersystems unter den relevanten Belastungssituationen mit den erwarteten Inventaren an radioaktiven Abfällen und unter Berücksichtigung von Datenunsicherheiten, unterstellten Fehlfunktionen sowie zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten untersucht (§ 27 Abs. 2 StandAG). Beim Vergleich von möglichen Standortregionen werden primär die erwarteten Entwicklungen betrachtet, möglicherweise abweichende Entwicklungen haben weniger Gewicht (vgl. § 4 der Endlagersicherheitsanforderungsverordnung (EndlSiAnfV) [12]).

Das Regelwerk von StandAG [2], EndlSiAnfV [12] und EndlSiUntV [9] zieht vor allem fachliche Kriterien und in Phase I der Untersuchung zunächst bereits vorhandene Informationen, Erfahrungen und Erkenntnisse heran, um durch Definition und Untersuchung von Teilgebieten (§ 13 StandAG) das Verfahren zur Standortauswahl zu steuern. Dabei wird die Anzahl potenziell geeigneter Standorte im Ergebnis von Phase I auf wenige möglichst aussichtsreiche Regionen für die zunächst übertägige Erkundung eingengt. Abhängig von den Ergebnissen der übertägigen Erkundungen (Phase II) werden dann die Standorte mit den besten Erfolgsaussichten für die untertägige Erkundung vorgeschlagen (Phase III). In deren Ergebnis werden mindestens zwei potenziell am besten geeigneten Standorte (§ 19 Abs. 1 S. 1 StandAG) dem BASE zur Vorbereitung der endgültigen Standortentscheidung durch die Bundesregierung zum nachfolgenden Beschluss des Gesetzgebers vorgeschlagen (§§ 19, 20 StandAG).

Die Resultate der in Phase I durchzuführenden repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) definieren, welche Untersuchungsräume als potenziell geeignet für einen möglichen Endlagerstandort angesehen werden. Die Auswahl der Standortregionen für die übertägige Erkundung aus diesen nach Sicherheitsaspekten bestgeeigneten Untersuchungsräumen erfolgt dann unter erneuter Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK) (§ 24 StandAG). Dabei muss die Erfüllung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen (§§ 22, 23 StandAG) stets gesichert sein. Bezüglich einer Einlagerung im Kristallingestein mit technischen und geotechnischen Barrieren als wesentlichen Barrieren (Endlagersystem Typ 2 [13]) muss nach § 6 Abs. 4 EndlSiAnfV gezeigt werden, dass die wesentlichen technischen und/oder geotechnischen Barrieren (Behälterkonzept) nach Stand von Wissenschaft und Technik in der zum dauerhaft sicheren Einschluss nötigen Qualität hergestellt werden können. Wenn nach Anwendung der geoWK eine Einengung von großen, potenziell für ein Endlager geeigneten Gebieten oder ein Vergleich

zwischen unter Sicherheitsaspekten gleichwertigen Gebieten notwendig ist, können auch planungswissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 25 StandAG zur Anwendung kommen.

Die Frage, wie viele Standorte in Phase II und III übertägig und dann untertägig zu erkunden sind, ist gesetzlich nicht geregelt. Die von der BGE verwendete Arbeitshypothese [3] von zehn in Phase II zu erkundenden Standortregionen unter Berücksichtigung aller Wirtsgesteinstypen<sup>2</sup> lässt sich daher weder fachlich noch aus der Gesetzeslage heraus begründen. Auch ist im Regelwerk nicht ausgeschlossen, dass schon in Phase I ganze Wirtsgesteinstypen im Hinblick auf den Standort mit der bestmöglichen Sicherheit als nicht erfolgversprechend herausfallen, die dann in den Phasen II und III nicht mehr weiter untersucht werden müssen. Hier gibt es für die Anzahl (und den Aufwand) der Untersuchungen Entscheidungsspielraum auf Basis fachlicher Argumente, die auch den Faktor Zeit berücksichtigen können. Dies gilt insbesondere, da sowohl Anzahl als auch Fläche, der zu erkundenden Regionen erhebliche Auswirkungen auf den Zeitbedarf des Verfahrens haben werden.

§ 23 Abs. 1 StandAG erlaubt es, für kristalline Wirtsgesteine ohne einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG) (Endlagersystem Typ 2) auch durch verstärkte Anforderungen an die technischen und geotechnischen Barrieren den sicheren Einschluss der Radionuklide (spezifiziert in § 4 EndlSiAnfV) zu gewährleisten. Für die rvSU ist nach § 7 Abs. 6 Nr. 2 EndSiUntV davon auszugehen, dass technische und geotechnische Barrieren ihre Funktion grundsätzlich erfüllen, sofern dies nach dem gegenwärtigen Stand von Wissenschaft und Technik nicht ausgeschlossen ist. Die Untersuchung des Eignungspotenzials der Gebiete mit kristallinem Wirtsgestein bezieht sich damit in Phase I nicht nur auf die Geologie, sondern auch auf die Bewertung des heutigen Stands der Möglichkeiten, einen Behälter zu entwickeln und in der erforderlichen hohen Qualität herzustellen, der die wesentliche Einschlussfunktion über eine Million Jahren gewährleistet.

Das StandAG fordert in § 19 den Vergleich von mindestens zwei Standorten auf Basis der untertägigen Erkundungen. Weder im Gesetzestext noch in der Begründung ist jedoch näher spezifiziert, in welcher Form die untertägige Erkundung zu erfolgen hat. Die Ausführung im Glossar des Berichts der Endlagerkommission [1], dass die untertägige Erkundung mittels eines Erkundungsbergwerks erfolgt, wurde nicht in die Gesetzgebung aufgenommen. Entsprechend sehen die zeitlichen Abschätzungen der BGE unterschiedliche Varianten vor, in denen die untertägige Erkundung entweder mittels eines Bergwerks oder z. B. mittels Bohrungen erfolgen kann [3]. Auch die Erfahrung aus Standorterkundungen und -auswahlprozessen im Ausland, z. B. in Kanada, Schweden und der Schweiz, zeigt, dass eine untertägige Erkundung mittels eines Bergwerks für die Standortfestlegung nicht zwingend erforderlich ist. Eine Untersuchung der potenziellen Standorte in Phase III mit Hilfe von Bergwerken würde das Verfahren um Jahrzehnte verlängern.

### **3.3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen zum strategischen Vorgehen in der Standortauswahl**

#### **3.3.1 Allgemeines**

Die ESK kommt zu dem Schluss, dass die Sicherheit des Gesamtsystems „nukleare Entsorgung in Deutschland“ in Betracht zu ziehen ist. Dabei belastet eine übermäßig lange Verfahrensdauer für die

---

<sup>2</sup> drei Standortregionen im Wirtsgestein Tongestein, zwei Standortregionen im kristallinen Wirtsgestein, zwei Standortregionen im Wirtsgesteinstyp Steinsalz in stratiformer Lagerung und drei Standortregionen im Wirtsgesteinstyp Steinsalz in steiler Lagerung (s. Anhang 2)

Standortauswahl des Endlagers das System der Zwischenlagerung, sie belastet zukünftige Generationen und deren Sicherheit in noch größerem Maße als bislang angenommen und sie erhöht das Risiko eines Scheiterns oder eines Abbruchs des Verfahrens. Eine Verfahrensdauer bis in die 2070er Jahre hinein ist zudem nicht sicherheitsgerichtet, wenn in kürzeren Zeiträumen bereits sehr gut geeignete Standorte gefunden werden können und eine deutlich längere Standortsuche höchstens noch zu hypothetischen, marginalen Sicherheitsgewinnen für Generationen in ferner Zukunft nach Endlagerverschluss führen könnten.

Die ESK ist der Auffassung, dass die Verfahrensdauer für die Standortauswahl bereits dadurch verkürzt werden kann, dass im Ergebnis der rvSU zum Abschluss der Phase I Untersuchungsräume aus der weiteren Betrachtung frühzeitig ausgeschlossen werden, wenn bereits erkennbar ist, dass diese Untersuchungsräume keine oder nur eine geringe Aussicht haben, in die Gruppe der am besten geeigneten Standortregionen zu gelangen.

Die ESK ist weiterhin der Auffassung, dass die im Vorhaben „Prozessanalyse des Standortauswahlverfahrens“ (PaSta) [5] dargelegten Prozesse dahin gehend untersucht werden sollten, ob auf die Verfahrensbeteiligten in Richtung einer Verkürzung eingewirkt werden kann. Auch die Potenziale weiterer Parallelisierungen sind zu untersuchen. Der Bericht [5] rechnet über die konkreten Arbeiten der Standortsuche hinaus mit einem Zeitbedarf von etwa 17,5 Jahren für die Bewertung der Vorschläge der BGE in den Phasen I, II und III durch das BASE, die Umweltverträglichkeitsprüfung, die Einbeziehung der Öffentlichkeit und die nachfolgende Gesetzgebung. Die ESK ermutigt alle Beteiligten, durch maximale Transparenz bei gleichzeitiger Respektierung der Rollen der einzelnen Akteure, diesen Zeitbedarf durch paralleles Arbeiten und enge Abstimmung so weit wie möglich zu reduzieren.

Die ESK erkennt jedoch auch, dass solche Maßnahmen zu eher geringen Zeitgewinnen im Vergleich zu den derzeit diskutierten Abschätzungen führen können. Unter Bezugnahme auf die im Eingang dieses Kapitels genannten Ausführungen sieht sie mit Blick auf zwei Punkte ein wesentlich größeres Beschleunigungspotenzial:

- 1 Anzahl und Fläche der nach Phase I zu erkundenden Standortregionen haben einen direkten Einfluss auf den späteren Erkundungsaufwand (vgl. auch [5]). Je mehr Standortregionen vorgeschlagen werden, desto höher werden Erkundungsaufwand sowie Aufwand und Zeitbedarf für das Auswahlverfahren selbst. Im Idealfall sollten daher aus allen identifizierten Gebieten nur diejenigen Standortregionen für die weitere Erkundung ausgewiesen werden, für die hinsichtlich Eignung und Qualität die größten Chancen bestehen, in der Endauswahl als bestmöglicher Standort infrage zu kommen, und die gleichzeitig einen möglichst geringen Erkundungsaufwand erfordern, um ihre Eignung und Qualität nachzuweisen. Dabei sollten Anzahl und Flächen der ausgewählten Standortregionen jedoch so groß und aus konzeptioneller Sicht divers genug sein, um Verfahrensrisiken aufgrund eines eventuellen Verwerfens von Optionen zu minimieren. Das heißt, sollte sich eine Option im weiteren Verlauf als nicht geeignet erweisen, muss die Möglichkeit verbleiben, ohne größere Rücksprünge mit möglichst gleichwertigen Alternativen weiterzuarbeiten.
- 2 Mit Abschluss der Phase I werden die für die weitere Erkundung ausgewählten Standortregionen durch Gesetzgebung festgelegt. Diese sollte gleichzeitig genutzt werden, um den Standortauswahlprozess unter Berücksichtigung der bis dahin gewonnenen Erfahrungen unter Wahrung der Verfahrens-

prinzipien nach § 1 StandAG zu überdenken und so zu gestalten, dass die vielfältigen nach derzeitiger Rechtslage vorgesehenen Prozesse in ihrer Gesamtschau deutlich optimiert werden.

Das vorliegende Positionspapier fokussiert aufgrund der Eilbedürftigkeit auf Punkt 1. Die ESK behält sich eine spätere Befassung mit Punkt 2 vor, erkennt jedoch auch, dass eine ganzheitliche Befassung interdisziplinäre Anstrengungen erfordert, die über die Kompetenzen der ESK deutlich hinausgehen. Unter anderem ist hier Expertise aus den Rechts- und Planungswissenschaften sowie – hinsichtlich der Partizipationsprozesse – aus Politik- bzw. Sozialwissenschaft erforderlich. Die ESK ist in jedem Fall bereit, ihre naturwissenschaftlich-technische Kompetenz in solche Anstrengungen einzubringen.

### **3.3.2 Empfehlung: Auswahl einer einzigen, wirtsgesteinsübergreifenden Rangfolge von Standortregionen in Phase I**

Die ESK ist der Auffassung, dass sich aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen keine Notwendigkeit ergibt, über den gesamten Verfahrensverlauf hinweg alle der im StandAG genannten Wirtsgesteinstypen zu betrachten<sup>3</sup>. Wenn sich in einer Phase – auch in der jetzigen Phase I – ergeben sollte, dass ein oder mehrere Wirtsgesteinstypen bzw. Konzepte (Kristallin mit oder ohne ewG) unter den aussichtsreichsten Optionen nicht mehr vertreten sind, so ist dies im Sinne des Verfahrens. Die ESK empfiehlt daher, am Ende der Phase I wirtsgesteinsübergreifend auf der Basis der rvSU und unter der erneuten Anwendung der geoWK nach § 24 StandAG aus den Untersuchungsräumen nur diejenigen mit größter Aussicht auf den am Ende bestmöglichen Standort zu belassen und daher nur eine, d. h. wirtsgesteinsübergreifende Rangfolge mit zu untersuchenden Standortregionen als Vorschlag nach § 14 StandAG zu erstellen.

Hierbei sind Standortregionen für diese Spitzenpositionen nur nach fachlichen Kriterien auszuwählen, unabhängig davon, ob sie in ihrer Gesamtheit einen einzigen oder mehrere Wirtsgesteinstypen repräsentieren. Dies heißt nicht, dass nach erfolgter rvSU die Rangfolge bereits vorgegeben ist, jedoch sollten in diese Gruppe nur Regionen aufgenommen werden, für die eine begründete starke Aussicht besteht, dass in ihnen später der bestmögliche Standort gefunden werden kann. Dabei können die einzelnen Regionen durchaus ein unterschiedliches Potenzial für zusätzlichen Erkenntnisgewinn durch die Erkundung haben, sodass letztlich erst die Ergebnisse aus den Erkundungen in den Phasen II und III Klarheit über die endgültige Rangfolge im Hinblick auf den bestmöglichen Standort schaffen können. In die Rangfolge der zu untersuchenden Standortregionen sollten nur die im Hinblick auf einen bestmöglichen Standort erfolversprechendsten Regionen aufgenommen werden und nicht solche, die erst nach Reduktion von Unsicherheiten möglicherweise erfolversprechend werden könnten (siehe Abschnitt 3.3.3). Dieser Ansatz sollte nach Auffassung der ESK die Grundlage für die Festlegungen über den Umgang mit fehlenden hinreichenden Informationen nach § 14 Abs. 2 S. 2 StandAG sein<sup>4</sup>.

Basis für die oben genannte Vorauswahl der erfolversprechendsten Standortregionen sollte eine ganzheitliche Argumentation sein, die der Methodik des „Safety Case“ folgt. Diese ist entsprechend der Begründung der EndlSiUntV der Entscheidungsfindung zugrunde zu legen, sie beinhaltet u. a. den Ansatz der

---

<sup>3</sup> Zu Einzelheiten vgl. Anhang 2

<sup>4</sup> „Liegen zu einzelnen Gebieten keine hinreichenden Informationen für die Anwendung der Kriterien nach den §§ 22 bis 24 vor, ist eine begründete Empfehlung zum weiteren Verfahren mit diesen Gebieten aufzunehmen.“ (§ 14 Abs. 2 S. 2 StandAG)

---

„Multiple Lines of Evidence“. Zu diesen gehören auch die gesetzlich vorgesehenen Einstufungen hinsichtlich der geoWK (§ 24 StandAG). Nach Auffassung der ESK sollten diese nicht einzeln und gleichwertig angewendet werden. Entsprechend § 7 Abs. 4 EndlSiUntV ist zu prüfen, welche Relevanz die geoWK für das jeweils betrachtete System haben. Dabei ist zu beachten, dass gemäß § 24 Abs. 3 StandAG die geoWK 1 bis 4 die Beurteilung der „erreichbaren Qualität des Einschlusses und die zu erwartende Robustheit des Nachweises“ erlauben. Die geoWK 5 und 6 dienen der Beurteilung der „Absicherung des Isolationsvermögens“ (§ 24 Abs. 4 StandAG). Die geoWK 7 bis 11 beurteilen „weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften“ (§ 24 Abs. 5 StandAG). Auf diese Weise erlaubt die vergleichende und ganzheitliche Anwendung dieser Kriterien auf die Rangfolge der in den rvSU als beste Untersuchungsräume identifizierten Gebiete eine wirtsgesteinsübergreifende Rangfolge.

Eine Schlüsselrolle bei der wirtsgesteinsübergreifenden Rangfolge könnte nach Auffassung der ESK die Untersuchung der Einhaltung von § 4 Abs. 5 EndlSiAnfV (erwartete Entwicklung für Massen- und Stoffmengenaustrag aus den wesentlichen Barrieren) einnehmen, diese Rolle unterscheidet sich je nach Wirtsgesteinstyp:

- Für Endlagersysteme in Tongestein ist der Massen- und Stoffmengenaustrag ein Indikator für die Qualität der Wirtsgesteinsformation: Je mächtiger die Formation ist und je günstiger ihre Rückhalteigenschaften sind, desto geringer wird der Austrag ausfallen. Darüber hinaus bedeuten mächtigere Formationen größere Sicherheitsreserven, z. B. im Hinblick auf Erosion. Ab einer gewissen Mächtigkeit ist jedoch der weitere mögliche Sicherheitsgewinn analog zum De-minimis-Konzept im Strahlenschutz nur noch gering bzw. vernachlässigbar.
- Für Endlagersysteme im Steinsalz (steile oder flache Lagerung) wird eine quantitative untersuchungsraumspezifische – und damit diskriminierende – Abschätzung des Austrags in Phase I kaum für möglich gehalten. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei geologisch günstigen Formationen für die erwarteten Entwicklungen eine Freisetzung – wenn überhaupt – allenfalls über die verfüllten und verschlossenen Hohlräume erfolgt und dass gute Aussichten auf die Einhaltung von § 4 Abs. 5 EndlSiAnfV bis hin zu einem vollständigen permanenten Einschluss bestehen.
- Es kann davon ausgegangen werden, dass die gut geeigneten Untersuchungsräume im Steinsalz – analog zum De-minimis-Konzept im Strahlenschutz – als bezüglich des Austragskriteriums sicherheitstechnisch gleichwertig mit den besten Räumen im Tongestein einzustufen sind.
- Für Endlager in Kristallingesteinen ist es aufgrund der geringen Erkundbarkeit von Wasserwegsamkeiten im Wirtsgestein nach Auffassung der ESK wenig aussichtsreich, ein Endlagersystem vom Typ 1 (d. h. mit ewG) umzusetzen und damit die Einhaltung von § 4 Abs. 5 EndlSiAnfV zu erreichen. Selbst in einem „perfekten“ Gesteinskörper kann die Bildung von Wasserwegsamkeiten durch Auflockerung infolge einer Abtragung (Entlastungsklüfte, Alterationen von Ganggesteinen o. ä.), oder auch durch tektonische Prozesse (tektonische Brüche, Scherzonen) nicht ausgeschlossen werden. Diese Option sollte daher für die weiteren Betrachtungen ausgeschlossen werden (zum Umgang mit Risiken und Ungewissheiten s. auch Abschnitt 3.3.3).
- Für alle Endlagersysteme im Kristallingestein vom Typ 2 (d. h. technische und geotechnische Barrieren als wesentliche Barrieren) sollte übergreifend geprüft werden, inwieweit angesichts des heutigen Stands

von Wissenschaft und Technik überhaupt Aussicht auf die Einhaltung von § 4 Abs. 5 EndlSiAnfV besteht. Überlegungen und Überschlagsrechnungen der ESK legen nahe, dass dies nicht gegeben ist (s. Anhang 2, Abschnitt 2). Diese Gebiete sollten also schon im Ergebnis der rvSU aus dem Verfahren ausscheiden.

Weitere wichtige Kriterien für die Rangfolge der infrage kommenden Standortregionen wären die Robustheit des Endlagersystems und das Vorhandensein oder das Fehlen von Sicherheitsreserven. Dafür müssen neben den erwarteten auch die abweichenden Entwicklungen betrachtet werden.

Insgesamt sind stark diskriminierende Aussagen anzustreben, die eine spätere Rangfolge stützen. So sind z. B. Endlagersysteme vom Typ 2 (d. h. technische und geotechnische Barrieren als wesentliche Barrieren) einseitig auf technische und geotechnische Barrieren angewiesen. Bei gleichem Aufwand für die technischen Barrieren verfügen Endlager in Wirtsgesteinen mit Selbstabdichtungseigenschaften (Salz, Ton) über eine zusätzliche Barriere, sind also a priori robuster.

### **3.3.3 Empfehlung: Verfahrensrisiken und Ungewissheiten minimieren**

Die ESK ist der Auffassung, dass Verfahrensrisiken im Entscheidungs- und Auswahlprozess stärker berücksichtigt werden sollten. Es bestehen hierbei zwei Typen von Verfahrensrisiken, die ggf. auch miteinander einhergehen:

- Eine Befassung mit Standortregionen, die keinen Sicherheitsgewinn (gegenüber anderen Standortregionen) erwarten lassen, deren Erfolgsaussichten aber mit großen Ungewissheiten behaftet sind, impliziert das Risiko von Rücksprüngen. Außerdem werden Ressourcen allokiert, die anderweitig sinnvoller eingesetzt werden können.
- Eine Befassung mit Standortregionen, die keinen Sicherheitsgewinn (gegenüber anderen Standortregionen) erwarten lassen, jedoch einen im Vergleich zu anderen Standortregionen erhöhten Erkundungsaufwand erfordern, erhöht die Ungewissheiten hinsichtlich der Prognose zur Gesamteignung, verlängert das Verfahren und bindet Ressourcen.

Die ESK sieht diese Risiken vor allem im Zusammenhang mit Untersuchungsräumen mit vergleichsweise schlechter Datenlage sowie im Zusammenhang mit Wirtsgesteinstypen und Konzepten, die eine Erkundung mittels eines Erkundungsbergwerks erfordern.

In Bezug auf die zum jeweiligen Zeitpunkt gegebenen Datenlage empfiehlt die ESK, § 14 Abs. 2 StandAG dahin gehend umzusetzen, dass auf Untersuchungsräume fokussiert wird, deren Erfolgchancen als besonders hoch eingeschätzt werden. Weiterhin empfiehlt die ESK, sich auf Wirtsgesteinstypen und Konzepte zu fokussieren, die keine zeit- und ressourcenaufwendige Erkundung mittels eines Erkundungsbergwerks erfordern. Dies betreffe vor allem Tongestein und Steinsalz in flacher Lagerung (s. Anhang 2 dieses Positionspapiers).

Die ESK empfiehlt folgende Schritte zur Differenzierung von Untersuchungsräumen, die aufgrund der Datenlage unter Sicherheitsaspekten zunächst als gleichwertig angesehen werden:

- vergleichende Einschätzungen zu Validität und Umfang der bereits vorhandenen geowissenschaftlichen Datenlage,
- vergleichende Einschätzung des zusätzlich benötigten Informations- und Erkundungsbedarfs der zugrunde liegenden Geologie,
- vergleichende Einschätzung des Aufwands der nachfolgenden übertägigen Erkundung (Zugänglichkeit/technischer Aufwand/Ressourcen/Zeitbedarf) im Hinblick auf den Nachweis eines vergleichbaren Sicherheitsniveaus über eine Million Jahre und
- vergleichende Einschätzung, ob zusätzlich zur übertägigen Erkundung für die untertägige Erkundung ein Erkundungsbergwerk benötigt wird.

Darüber hinaus ist die ESK der Auffassung, dass die den rvSU zugrunde liegenden vorläufigen Auslegungen des Endlagers (§ 6 Abs. 2 EndlSiUntV in Verbindung mit § 11 EndlSiAnfV) keinerlei Kredit von Spekulationen auf künftige technische Entwicklungen z. B. bei der Behälterentwicklung nehmen sollten, um so Ungewissheiten hinsichtlich solcher Entwicklungen zu vermeiden. Vielmehr sollten die Auslegungen gemäß § 6 Abs. 4 EndlSiAnfV grundsätzlich mit etablierten technischen Mitteln umsetzbar sein.

### **3.3.4 Empfehlung: Verfahrensschonendes und -förderndes Zusammenspiel der Hauptakteure**

Auch angesichts der Erfahrungen mit dem Zusammenwirken der Akteure in der Schweiz (s. Anhang 1 dieses Positionspapiers) empfiehlt die ESK, in allen Verfahrensschritten den nötigen Austausch zwischen allen Verfahrensbeteiligten so zu organisieren, dass möglichst zügig ein Einvernehmen zu den Interpretationen der gesetzlichen und untergesetzlichen Vorgaben im Hinblick auf das strategische Vorgehen bei der Standortauswahl – z. B. bei der Erstellung der o. g. Rangfolge – erzielt werden kann. Ein solcher Austausch ist – bei klarer Wahrung der Rollentrennung und Transparenz – legitim und wird auch im Ausland praktiziert. Die Gestaltung derartiger Dialoge ist Gegenstand internationaler Verständigung, vgl. etwa [14]. Wie bereits bislang praktiziert, sollten die Vorgehensweisen Gegenstand des Diskurses mit dem Nationalen Begleitemm (NBG) und in den Partizipationsformaten sein.

## **4 Zusammenfassung**

Die ESK ist angesichts der veröffentlichten Abschätzungen zur Dauer des Standortauswahlverfahrens sehr besorgt. Neben den Herausforderungen einer deutlich verlängerten Zwischenlagerung, weiterhin zunehmenden Defiziten hinsichtlich der Generationengerechtigkeit, finanziellen Risiken und dem Problem eines Wissens- und Kompetenzverlusts besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass das gesamte Verfahren scheitert. Damit würde es keine langfristig sichere Entsorgungslösung insbesondere für die hochradioaktiven Abfälle in Deutschland geben. Die ESK hält dies für nicht hinnehmbar. Sie plädiert daher für Maßnahmen,

die – ohne die Verfahrensprinzipien in Frage zu stellen – zu einer deutlichen Verkürzung des Standortauswahlverfahrens im Vergleich zu den jetzigen Abschätzungen führen.

Neben geringfügigen Beschleunigungsmöglichkeiten in der jetzt laufenden Phase I sowie im späteren Verfahren durch Verkürzung und Parallelisierung von Prozessen sieht die ESK ein größeres Beschleunigungspotenzial vor allem in zweierlei Hinsicht:

- 1 Es sollten im Ergebnis der Phase I aus der Rangfolge der aussichtsreichsten Untersuchungsräume bei äquivalenten Sicherheitsaussichten im Hinblick auf den späteren bestmöglichen Standort nur diejenigen Standortregionen für die übertägige Erkundung vorgesehen werden, für die Aufwand und Dauer der Erkundung möglichst gering sind. Dies geschieht durch die Begrenzung von Anzahl und Fläche der Regionen sowie durch die Betrachtung von Regionen, die mit vergleichsweise geringem zusätzlichem Aufwand abschließend zu erkunden sind, deren Erkundung also z. B. kein Erkundungsbergwerk erfordert.
- 2 Die Gesetzgebung am Ende der Phase I sollte genutzt werden, um den Standortauswahlprozess unter Berücksichtigung der bis dahin gewonnenen Erfahrungen zu überdenken und so zu gestalten, dass die vielfältigen nach derzeitiger Rechtslage vorgesehenen Prozesse in ihrer Gesamtschau deutlich optimiert werden.

Aufgrund der Eilbedürftigkeit befasst sich die ESK im vorliegenden Positionspapier zunächst mit dem o. g. Punkt 1 und empfiehlt auf Basis des geltenden Regelwerks (StandAG, EndlSiAnfV, EndlSiUntV) Folgendes:

- Die Vorhabenträgerin sollte sich bei der Erstellung einer wirtsgesteinstypübergreifenden Rangfolge auf möglichst wenige Standortregionen beschränken, für die eine begründete starke Aussicht besteht, dass in ihnen später der Standort mit bestmöglicher Sicherheit gefunden werden kann. Nur diese sollten für die weitere Erkundung vorgeschlagen werden. Es ist davon auszugehen, dass eine Rangfolge mit deutlich weniger als zehn Standortregionen einen Standort mit bestmöglicher Sicherheit enthält.
- Bei der Erstellung der o. g. Rangfolge der aussichtsreichsten Standortregionen sind Ungewissheiten und Verfahrensrisiken zu minimieren. Dies bedeutet u. a., dass von Spekulationen auf spätere technische Entwicklungen oder auf möglicherweise positive Erkundungsergebnisse mittels Erkundungsbergwerken abgesehen wird. Vielmehr sollte auf Regionen fokussiert werden, deren Erfolgchancen aufgrund der bereits bestehenden Datenlage als besonders hoch eingeschätzt werden. Diese können zügig durch Erkundungen mittels Seismik und Bohrungen unter Verzicht auf aufwendige Erkundungsbergwerke weiter abgesichert und bestätigt werden. Dies betreffe Tongesteine und Salz in flacher Lagerung. Salzgesteine in steiler Lagerung bedingen einen deutlich höheren Erkundungsaufwand.
- Für Endlager in Kristallingesteinen ist es aufgrund der geringen Erkundbarkeit von Wasserwegsamkeiten im Wirtsgestein nach Auffassung der ESK wenig aussichtsreich, ein Endlagersystem vom Typ 1 (mit ewG) umzusetzen. Selbst in einem „perfekten“ Gesteinskörper kann die Bildung von Wasserwegsamkeiten nicht ausgeschlossen werden. Diese Option sollte daher für die weiteren Betrachtungen ausgeschlossen werden.

- Für alle Endlagersysteme im Kristallingestein vom Typ 2 (technische und geotechnische Barrieren als wesentliche Barrieren) sollte übergreifend geprüft werden, inwieweit angesichts des heutigen Stands von Wissenschaft und Technik überhaupt Aussicht auf die Einhaltung von § 4 Abs. 5 EndlSiAnfV besteht. Dies ist nach Auffassung der ESK nicht der Fall. Diese Gebiete sollten also schon im Ergebnis der rvSU aus dem Verfahren ausscheiden.
- Die ESK empfiehlt ein verfahrensschonendes und willentlich beschleunigendes Zusammenspiel aller Akteure. Entscheidungen wie die hier empfohlenen haben nur dann eine Chance zur Umsetzung, wenn alle wichtigen Akteure von deren Gesetzmäßigkeit, deren Bedeutung für die Eilbedürftigkeit der Standortauswahl und deren Angemessenheit überzeugt sind und sich rechtzeitig darüber verständigt haben.

## **Anhang 1: Zum Vergleich: Situation im Ausland**

### **Frankreich**

In Frankreich wurde seit 1979 die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen (Salz, Schiefer, Granit und Ton) untersucht, zunächst basierend auf geologischen Kriterien ohne konkreten Ort. 1987 wurden dann vier potenzielle Standorte identifiziert und zwischen 1987 und 1990 durch Tiefbohrungen untersucht, ohne jedoch die lokale Bevölkerung einzubeziehen, was starke Widerstände verursachte. Diese Proteste in einigen Gebieten veranlassten den Premierminister, ein einjähriges Moratorium für die von der Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA) durchgeführten Untersuchungen zu verhängen, um die politische, aber auch die wissenschaftliche und technische Prüfung des Projekts mit allen Akteuren, die sich zu Wort melden wollten, in einer besser abgestimmten Weise wieder aufzunehmen. Nach dem Moratorium wurden von der Autorité de sûreté nucléaire (ASN) fundamentale Sicherheitsstandards formuliert und es wurde ein Gesetz [15] im Rahmen des Umweltrechts verabschiedet, welches über 15 Jahre (1991-2005) die Machbarkeit der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen (im Vergleich Ton, Salz und Granit) untersuchen sollte und einen Vergleich mit alternativen Verfahren (Transmutation, langfristige Oberflächenslagerung oder Lagerung in geringer Tiefe) vorsah. Es wurden schließlich drei Gebiete ausgewählt, die geologisch günstig waren und bei denen eine Zustimmung der Bevölkerung erwartet wurde:

- ein tonhaltiges Gebiet im Departement Gard,
- eine tonhaltige Zone, die sich über die Departements Haute-Marne und Meuse erstreckt und
- eine Granitzone im Departement Vienne.

Kein Gebiet mit Zustimmung der Bevölkerung zur Untersuchung wurde in Salz- und Schieferformationen gefunden. Auch Granit (Vienne) fiel nach den ersten Studien aus der weiteren Untersuchung wegen der unzureichenden Fähigkeit zur Charakterisierung der Risse und ihres Beitrags zum Grundwasserfluss (Nähe zu Aquiferen) heraus. In den 2000er Jahren wurde ein neuer Versuch unternommen, einen anderen Granitstandort zu finden. Angesichts des sehr großen Inventars der endzulagernden radioaktiven Abfälle (z. B. verglichen mit der Schweiz oder Schweden) besteht die Hauptschwierigkeit darin, in Frankreich ein ausreichend großes ungeklüftetes Granitvolumen zu finden, um ein Endlager zu errichten. Im Gegensatz zu Skandinavien gibt es in Frankreich keine sehr großen und homogenen Granitformationen. Die Suche ergab keinen anderen Standort, der sowohl die technischen als auch die politischen Kriterien (Freiwilligkeit) erfüllt.

Zum Abschluss wurden die Ergebnisse von 15 Jahren Forschung 2005/2006 in einer öffentlichen Debatte präsentiert. Es wurde klar, dass auch alternative Entsorgungsmöglichkeiten ein Endlager nicht obsolet machen. 2006 wurden die Endlagerung als Referenzoption und die Standortauswahl im Umweltgesetz festgeschrieben. Zu diesem Zeitpunkt wurde auch festgelegt, dass der Endlagerstandort für hochradioaktive Wiederaufarbeitungsabfälle sowie langlebige mittelradioaktive Abfälle in einer etwa 160 m mächtigen Tonformation im Osten Frankreichs in einem Umkreis des Untertagelabors Bure, für den die Übertragbarkeit der dort erhobenen Daten gewährleistet ist, liegen soll. Der Betrachtungsraum erstreckte sich ursprünglich auf 250 km<sup>2</sup>, später auf 30 km<sup>2</sup>. 2010 akzeptierte die Aufsichts- und Genehmigungsbehörde ASN den Standortvorschlag der Vorhabenträgerin ANDRA. Das Projekt bekam den Namen CIGEO. Das öffentliche Interesse an dem Projekt wurde vom Staat 2023 festgestellt und die Errichtung eines Endlagers als kerntechnische Anlage von ANDRA beantragt.

Es kann festgehalten werden, dass in Frankreich eine Alternativprüfung vor allem auf den Entsorgungsweg an sich (Endlagerung im Vergleich mit anderen Optionen, Vergleich von Tonformationen mit Granit) bezog.

## **Schweden**

Schweden liegt (ebenso wie Finnland) auf dem Baltischen oder Fennoskandischen Schild, der durch kristallines Grundgestein gekennzeichnet ist. In den 1990er Jahren wurden Studien zur Endlagerung bestrahlter Brennelemente durchgeführt, in denen die gesamte schwedische Fläche (mit Ausnahme Gotlands) hinsichtlich der Langzeitsicherheit eines potenziellen Endlagers (also der Geologie), der Umweltverträglichkeit und der Infrastruktur beurteilt wurde. Die Studien ergaben, dass ein beträchtlicher Teil des Landes prinzipiell für einen Endlagerstandort infrage käme (Abbildung 4-2 [16]). Dieser Umstand erlaubte große Freiheitsgrade für einen auf Freiwilligkeit beruhenden Standortwahlprozess. In mehreren Gemeinden, die sich auf eine Ausschreibung hin dafür bereit erklärt hatten, wurden Machbarkeitsstudien durchgeführt. Nachfolgend verblieben zwei Gemeinden (Oskarshamn mit dem Standort Laxemar und Östhammar mit dem Standort Forsmark) im Prozess; alle anderen zogen sich entweder zurück oder wurden als nicht geeignet eingestuft. Die Entscheidung zwischen diesen beiden Standorten erfolgte unter dem Primat der Sicherheit – erst bei Gleichwertigkeit sollten andere Kriterien herangezogen werden. Letztlich entschied sich die Vorhabenträgerin SKB für den Standort Forsmark – ausschlaggebend hierfür waren insbesondere die geringeren Wasserfließraten und die geringere Häufigkeit wasserführender Klüfte. Außerdem würde die größere Wärmeleitfähigkeit am Standort zu einem kleineren Fußabdruck des Endlagers (und damit auch zu geringeren Kosten) führen. Für Laxemar sprach dagegen die günstigere gebirgsmechanische Situation sowie die Nähe zum bereits existierenden Zwischenlager CLAB. In der verbal argumentativ vorgenommenen Gesamtschau überwogen die sicherheitstechnischen Vorteile des Standorts Forsmark. Hinsichtlich anderer Aspekte (Umweltverträglichkeit, gesellschaftliche Aspekte) wurden keine entscheidenden Unterschiede zwischen den beiden Standorten festgestellt.

## **Schweiz**

Die Schweiz hat mit einem gestuften kriterienbasierten Ansatz unter dem Primat der Sicherheit ein ähnliches Verfahren wie Deutschland gewählt. Die Einengung auf geeignete und schließlich ein bestgeeignetes Gebiet erfolgt durch die systematische und wissenschaftsbasierte Anwendung vorgegebener Kriterien. Das Verfahren wurde 2008 begonnen. Ein wichtiger Meilenstein war der Vorschlag eines Standorts für ein sogenanntes Kombilager (für hoch- als auch schwach- und mittelradioaktive Abfälle) durch die Vorhabenträgerin Nagra im September 2022. Voraussichtlich 2029/30 wird das Verfahren mit dem Beschluss des Bundesrats und der Verabschiedung eines entsprechenden Gesetzes durch das Schweizer Parlament abgeschlossen.

Die zunächst ambitionierte Zeitplanung (Abschluss bis 2020, [17]) stabilisierte sich u. a. durch einen gemeinsamen Fahrplan in der Etappe 3 [18], [19]. Optimierungen wurden koordiniert unter Federführung der Projektleitung (Schweizer Bundesamt für Energie, BFE) gemeinsam von Vorhabenträgerin und Regulierungsbehörde (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, ENSI) mit der Vorhabenträgerin Nagra erarbeitet: Die Nagra, als Beauftragte der Entsorgungspflichtigen setzt technische Arbeiten in einem engem, aber realistischen Zeitplan um und liefert Ergebnisunterlagen gemäß den vereinbarten Terminen. Die Behörden

straffen im Gegenzug Prüf- und Genehmigungszeiträume. Seit 2016 sind bis heute keine weiteren Verzögerungen mehr eingetreten. Auch die Einschränkungen während der Covid-Pandemie konnten durch entsprechende Maßnahmen aufgefangen werden.

Darüber hinaus erlaubte der rechtliche Rahmen in der Schweiz eine Parallelisierung von technischen Arbeiten und Prüfzeiträumen. Erkundungsarbeiten in den Standortgebieten konnten vorbereitet, beantragt und im Fall der Seismik bereits durchgeführt werden, ohne auf den Bundesratsbeschluss zur Vorphase zu warten. Dies führte zu erheblichen Einsparungen im Zeitplan.

Schließlich lagen in der Schweiz durch Voruntersuchungen in den 1980er und 1990er Jahren umfangreiche Erkenntnisse zur Geologie vor. So konnten bereits in der ersten Etappe des Sachplans weite Teile der Schweiz und zahlreiche Wirtsgesteinsoptionen für das Hochaktivendlager ausgeschlossen werden. Unter anderem wurde überdecktes Kristallingestein durch ungenügende Charakterisierbarkeit gegenüber anderen Optionen (flachliegende Tonsteine) als nachteilig eingestuft und in den folgenden Etappen nicht weiter berücksichtigt [20].

Gerade das Beispiel Schweiz zeigt, dass eine gemeinsame, abgestimmte Vorgehensweise der Beteiligten, mindestens aber projektleitende Behörde, Aufsicht und Betreiberin, zu einem verlässlichen und gestrafften Zeitplan hin zur Standortauswahl führen kann.

## Anhang 2: Überlegungen zu Wirtsgesteinstypen im Zuge der Festlegung von Standortregionen

### 1 Allgemeines

Die BGE formuliert Ende 2022 [3] „*Gegenwärtig (Redaktionsschluss des Dokuments) liegen verfahrensbedingt keine Erkenntnisse vor, wie viele Standortregionen übertägig zu erkunden sind, wie groß diese Regionen sein werden, ob weiterhin alle drei Wirtsgesteinsarten betrachtet werden und welche jeweilige regionale über- und untertägige Situation vorherrscht.*“ Die BGE geht zu diesem Zeitpunkt in ihrem Dokument den zugehörigen Planungen von zehn zu erkundenden Standortregionen aus:

- drei Standortregionen im Wirtsgestein Tongestein,
- zwei Standortregionen im kristallinen Wirtsgestein,
- zwei Standortregionen im Wirtsgesteinstyp Steinsalz in stratiformer Lagerung und
- drei Standortregionen im Wirtsgesteinstyp Steinsalz in steiler Lagerung.

Diese weder durch regulatorische Vorgaben (s. o.) noch durch Ergebnisse der Phase I legitimierte Vorauswahl steht im Widerspruch zu der eingangs zitierten Aussage, dass keine Erkenntnisse vorliegen (...), ob weiterhin alle Wirtsgesteinsarten betrachtet werden. Es werden auch im übrigen Teil des Dokuments keinerlei Daten vorgelegt, die diese Aufteilung aus den bisherigen Ergebnissen der Untersuchungen in Phase I erklären würden.

Die BGE formuliert einige Monate später [21] „*Im Anschluss an die Durchführung der rvSU sowie an die Anwendung der geoWK werden die Gebiete der Kategorie A<sup>5</sup> aller UR<sup>6</sup> anhand der Ergebnisse der rvSU und der geoWK miteinander verglichen (...). Dieser UR-übergreifende Vergleich der Kategorie A-Gebiete **wird voraussichtlich wirtsgesteinsspezifisch erfolgen**, wobei die **Möglichkeit eines wirtsgesteins-übergreifenden Vergleichs bewusst offengehalten** wird. Durch den UR-übergreifenden Vergleich werden im Ergebnis aus den Kategorie A-Gebieten diejenigen mit der bestmöglichen Sicherheit ermittelt und als potenzielle Standortregionen bezeichnet. Dadurch wird die Anzahl der Kategorie A-Gebiete, sofern möglich, weiter reduziert. Mit dem UR-übergreifenden Vergleich der Kategorie A-Gebiete ist die sicherheitsgerichtete Einengung der Gebiete abgeschlossen.*“

Die von der BGE derzeit durchgeführten wirtsgesteinsspezifischen Analysen ermöglichen die Vergleichbarkeit und den Fokus auf entscheidungsrelevante Inhalte. Aber sie können nur ein erster Schritt auf dem Weg von Phase I nach II sein und sie können den dem StandAG zugrunde liegenden wirtsgesteinsübergreifenden Vergleich nicht ersetzen. Der Fokus auf den wirtsgesteinsspezifischen Vergleich und die Aufgabe des wirtsgesteinsübergreifenden Vergleichs bei der Festlegung von Standortregionen am Übergang von Phase I zu Phase II ist durch das StandAG nicht vorgegeben. Es ist zudem nicht davon auszugehen, dass ein späterer wirtsgesteinsübergreifender Vergleich in Phase II oder III leichter sein wird als in Phase I.

Der Übergang von Phase I zu Phase II sollte aus zwei Bausteinen bestehen: 1) wirtsgesteinsspezifisch, so wie von BGE geplant, und 2) wirtsgesteinsübergreifend. Erst wenn der zweite Schritt durchgeführt ist, ist nach

---

<sup>5</sup> In den rvSU werden die untersuchten und bewerteten Gebiete schrittweise in die Kategorien D bis A eingestuft. Hierbei sind Gebiete der Kategorie D als Endlagerstandort ungeeignet, Gebiete der Kategorie A am besten geeignet.

<sup>6</sup> UR = Untersuchungsraum nach § 3 EndlSiUntV

Auffassung der ESK der Übergang von Phase I zu Phase II beendet und die BGE kann den Vorschlag einer Zahl von übertägig zu erkundenden Standortregionen dem BASE vorgelegen, gleichgültig ob ein, zwei oder drei Wirtsgesteinstypen in der endgültigen Auswahl betrachtet werden. Aus der oben angesprochenen Erwartung der BGE von zehn Standortregionen bei vier Gesteinstypen (zwei in Salz) kann man im Umkehrschluss herauslesen, dass die BGE davon ausgeht, dass sie etwa zwei bis drei Standortregionen pro Gesteinstyp vorsieht. Die Zahl der zu untersuchenden Standortregionen ist dann in etwa proportional zu den zu untersuchenden Wirtsgesteinsformationen.

Die endgültige Entscheidung, welche Gebiete in Phase II erkundet werden, erfolgt durch ein entsprechendes Bundesgesetz. In Phase II des Standortauswahlverfahrens erfolgt die übertägige Erkundung der im Ergebnis der Phase I durch den Gesetzgeber festgelegten Standortregionen.

Es ist davon auszugehen, dass sich eine nur wirtsgesteinsspezifisch vergleichende Analyse beim Übergang von Phase I zu Phase II ohne Vergleich zwischen Wirtsgesteinen als den Prozess der Standortauswahl verzögernd herausstellt. Denn, wenn z. B. die potenziell besten Untersuchungsräume in kristallinem Wirtsgestein schlechter sind als eine große Zahl von Untersuchungsräumen in Ton oder in Steinsalz, dann verzögert die Festlegung von Standortregionen im kristallinen Wirtsgestein den Gesamtprozess der Ermittlung von Standortregionen. Gleiches gilt für den Vergleich verschiedener Typen von Salzformationen.

Die Einbeziehung aller vier Wirtsgesteinstypen in die Untersuchungen in Phase II ist vielleicht aus politischen Rücksichten motiviert. Zum Schluss müssen aber immer drei Wirtsgesteinstypen ausgeschlossen werden. Mit dem Ausschluss zu warten, wenn man schon heute genügend Argumente hat, ist nicht zu verantworten.

Es gibt nach Auffassung der ESK keinen wissenschaftlichen oder rechtlichen Grund, mit dem wirtsgesteinsübergreifenden Vergleich von Untersuchungsräumen bis zur Erkundung zu warten. Dies bindet ohne Grund und ohne Vorteil (wissenschaftlich/technisch, Akzeptanz) für das Standortauswahlverfahren zeitliche und materielle Ressourcen. Jedes Erkundungsverfahren ist langwierig und teuer. In der Tat geht die BGE davon aus, dass die Erkundung maximal in zwei Standortregionen parallel durchführbar ist (Blatt 63 [21]), wobei weitere Standortregionen mit einem Versatz von 15 Monaten untersucht werden können. Die Festlegung auf zehn übertägig zu erkundende Standortregionen bindet also alle verfügbaren Ressourcen für mehr als sechs Jahre und bei Zugrundelegung des gegenwärtigen Rhythmus der Arbeiten wahrscheinlich wesentlich länger. Schon aus diesem Grunde muss die Phase II durch eine klare Auswahl auf möglichst wenige erfolversprechender Standortregionen in Phase I beschleunigt werden.

## **2 Gesteine ohne Selbstabdichtungsvermögen (Kristallin mit/ohne Überdeckung)**

Kristallingesteine haben eine sehr geringe Gesteinsdurchlässigkeit. Allerdings verfügen sie anders als Salz oder Ton über keine relevanten Mechanismen zur Selbstabdichtung. Das bedeutet, dass einmal in Kristallingesteinen angelegte Wasserwegsamkeiten über geologische Zeiträume aktiv bleiben können. Solche Wegsamkeiten können durch oberflächennahe Auflockerung infolge einer Abtragung (Entlastungsklüfte, Alterationen von Ganggesteinen o. Ä.) oder auch durch tektonische Prozesse (tektonische Brüche, Scherzonen) entstehen. Eine verlässliche Erkundung solcher Wegsamkeiten ist in Tiefen, die für ein Endlager erforderlich sind, nicht möglich (ausführliche Darstellung siehe [20]).

Daraus ergeben sich zwei miteinander verknüpfte Eigenschaften von Endlagern in Kristallingesteinen. Erstens ist es auch mit hohem Aufwand kaum möglich, Netzwerke wasserführender Zonen im Kristallin so zu erkunden, dass das Wirtsgestein einen gesicherten Beitrag zur Rückhaltung leisten kann. Das Unterfangen, ein Endlager vom Typ 1 (Kristallingestein mit geologischen Barrieren als wesentliche Barrieren) anzustreben, ist also mit großen Ungewissheiten verbunden. Dies zieht zweitens eine einseitige Abstützung solcher Endlagersysteme auf technische Barrierelemente als wesentliche Barrieren (Typ 2) und damit eine reduzierte Robustheit des Gesamtsystems nach sich. Einfach formuliert: Mit gleichem Aufwand bei den technischen Barrieren ist ein Kristallin-Endlager stets im Nachteil gegenüber Wirtsgesteinsoptionen mit Selbstabdichtungseigenschaften. Diesem Sachverhalt kann in einem wirtsgesteinsübergreifenden Auswahlverfahren von Standortregionen am Ende der Phase I Rechnung getragen werden.

Das Gesamtsystem eines Endlagers aus natürlichen und technischen Barrieren stützt sich daher in den ausländischen Projekten im Kristallin stets stark auf technische und geotechnische Barrieren als wesentliche Barrieren ab (Typ 2). Dementsprechend sind in Ländern mit Kristallinprogrammen (Schweden, Finnland) oder generischen Ansätzen (Kanada) Behälter vorgesehen, die einen vollständigen Einschluss über den Nachweiszeitraum ermöglichen. So fokussieren Sicherheitsanalysen wesentlich auf die Integrität der technischen Barrieren (z. B. des kupferummantelten Behälters in Verbund mit dem Bentonitpuffer<sup>7</sup>), auch wenn die einschlägigen Regelwerke keine Anforderungen im Sinne § 4 Abs. 5 EndlSiAnfV enthalten. Die Analysen zeigen aber auch, dass Integritätsverluste (z. B. durch Bentoniterosion und Kupferkorrosion aufgrund ungünstiger hydrogeochemischer Verhältnisse oder durch Scherbewegung im Wirtsgestein) für eine kleine Anzahl von Behältern nicht ausgeschlossen sind, was Freisetzungen von Radionukliden zur Folge hat. Das deutsche Regelwerk fordert die quantitative Begrenzung solcher Freisetzungen aus den wesentlichen Barrieren (§ 4 Abs. 5 EndlSiAnfV).

Auch wenn nach § 7 Abs. 6 S. 2 EndlSiUntV für die rvSU ein Funktionieren technischer und geotechnischer Barrieren vorauszusetzen ist, sofern dies nach dem Stand von Wissenschaft und Technik nicht ausgeschlossen erscheint, werden – analog zu schwedischen und finnischen Sicherheitsanalysen – zumindest in nachfolgenden rvSU auch Szenarien zu betrachten sein, die auch in Skandinavien als zu erwartende Entwicklungen des Endlagersystems unterstellt wurden. Dazu gehört ein Versagen zumindest eines oder weniger Behälter im Bewertungszeitraum. Es ist dann zu erwarten, dass ein signifikanter Teil der sogenannten „Instant Release Fraction, IRF“ bei Wasserkontakt instantan freigesetzt wird und damit das Massenaustrittskriterium von  $10^{-9}$  pro Jahr (§ 4 Abs. 5 EndlSiAnfV) überschreitet.

Derzeit ist nach Stand von Wissenschaft und Technik kein Konzept ohne ewG, bestehend aus technischer (Behälter) und geotechnischer Barriere absehbar, welches die Vorgaben des StandAG (nachweisbare qualitätsgesicherte Integrität über eine Million Jahre) und der Verordnungen (EndlSiAnfV, Massenaustragskriterien in § 4 Abs. 5) erfüllen kann. Die EndlSiUntV (§ 7 Abs. 6 S. 2) schreibt für die rvSU vor, dass das Endlagersystem zunächst unter der Annahme zu prüfen ist, dass technische und geotechnische Barrieren ihre Funktion über den vorgesehenen Zeitraum erfüllen – dies jedoch unter der Prämisse, dass nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik dies nicht ausgeschlossen ist.

Da die Auswahl von Standortregionen auf wirklichen Untersuchungsergebnissen und dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik und nicht auf Forschungsprogrammen oder einer Spekulation auf künftige

---

<sup>7</sup> „The primary safety function of the barriers is to contain the fuel within a canister.“ [22]

technische Entwicklungen aufbaut, muss man für den Bewertungszeitraum von einer Million Jahre wie in Schweden und Finnland von dem Versagen einer kleinen Zahl von Behältern und der Präsenz einer geringen Zahl initialen Material bzw. Bauteildefekten ausgehen, die durch qualitätssichernde Maßnahmen nicht vollständig ausgeschlossen werden können. Damit ist also eine vollständige Gewährleistung der Einschlussfunktion nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik bei dieser Option nicht gegeben, sodass man Gebiete vom Kristallin Typ 2 nicht als erfolversprechend im Hinblick auf einen Standort mit der bestmöglichen Sicherheit ansehen kann. Untersuchungsräume im Kristallin Typ 2 sollten im Prüfschritt 3 der rvSU (Überprüfung des Massen- und Stoffmengenaustrags und quantitative Bewertung des sicheren Einschlusses bzgl. regulatorischer Grenzwerte) als Untersuchungsräume der Kategorie C klassifiziert werden („überwiegend schlechte Bewertung“) und ständen damit weder für einen wirtsgesteinsübergreifenden Vergleich nach Beendigung der rvSU in Phase I noch zur weiteren über- oder untertägigen Untersuchung in Phase II und III zur Verfügung.

### **3 Gesteine mit Selbstabdichtungseigenschaften (Ton, Salz)**

Gesteine mit Selbstabdichtungseigenschaften lassen Endlagersysteme zu, in denen Sicherheitsfunktionen sowohl natürlichen als auch technischen Barriereelementen zugewiesen werden. Das Wirtsgestein oder der einschlusswirksame Gebirgsbereich tragen durch geringe Durchlässigkeit und ggf. auch hohe Sorptionsfähigkeit zur Rückhaltung und langsamen Freisetzung bei oder ermöglichen unter optimalen Bedingungen ggf. sogar einen vollständigen Einschluss der radioaktiven Abfälle über den Nachweiszeitraum.

Unterschiede ergeben sich bei der Erkundbarkeit von geologischen Gegebenheiten. Flachliegende Tongesteins- oder Salzformationen lassen sich mit Hilfe weniger Bohrungen und Seismik erkunden. Wenn nötig, kann die Informationsdichte durch 3D-Seismik und weitere Bohrungen erhöht werden, um die besten Situationen miteinander zu vergleichen. Eine Erkundung mittels eines Erkundungsbergwerks ist hier weder für einen Standortvergleich, noch für einen Langzeitsicherheitsnachweis erforderlich. Die Schweiz folgt diesem Ansatz. In homogen und lateral einformig aufgebauten Sedimenten oder Salzgesteinen entfällt auch eine spezifische Erkundung für die Anordnung von Lagerkammern. Für die spezifische Situation in Deutschland ist zudem bemerkenswert, dass die im Teilgebietebericht der BGE [23] als günstig für die Endlagerung ausgewiesenen Steinsalzformationen in flacher Lagerung alle mit mehreren hundert Metern Mächtigkeit und in großen Flächen vorliegend beschrieben werden.

Steilstehendes Salz hingegen ist in der Regel stark deformiert. Hoch aufgestiegene Salzformationen weisen eine komplizierte interne Struktur auf. Von der Oberfläche sind diese internen Strukturen nur sehr eingeschränkt erkundbar. Seismik und andere übertägige geophysikalische Erkundungsverfahren sind weitgehend nutzlos, Bohrungen durch die Verletzungen der Barriere nicht ratsam. Da für die Platzierung von Lagerkammern die günstigsten Lithologien (kriechfähiges Steinsalz) innerhalb der steilstehenden Salzstrukturen identifiziert werden sollen, wird eine Erkundung von unter Tage aus erforderlich sein. Dies bedeutet, dass steilstehende Salzformationen nur mit einem deutlich höheren Erkundungsaufwand auf den gleichen Erkenntnisstand bzgl. der zu erwartenden Endlagersicherheit im Vergleich zu flachliegenden Salzformationen zu bringen sind. Auch diese Überlegungen sollten beim wirtsgesteinsübergreifenden Vergleich der Standortgebiete in der Phase I Berücksichtigung finden.

## 5 Literatur

- [1] Endlagerkommission: Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe (BT-Drs. 18/9100), 19.07.2016
  
- [2] Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz - StandAG) vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 22.03.2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist
  
- [3] Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE): Zeitliche Betrachtung des Standortauswahlverfahrens aus Sicht der BGE, Rahmenterminplanung für Schritt 2 der Phase I bis zum Vorschlag der Standortregionen und zeitliche Abschätzungen für Phase II und III, 16.12.2022
  
- [4] Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE): Stellungnahme zum Fachgespräch Endlagersuche des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz des Deutschen Bundestages am 11.05.2022
  
- [5] Öko-Institut e.V.: Unterstützung des BASE bei der Prozessanalyse des Standortauswahlverfahrens (PaSta), 07.08.2024
  
- [6] Endlagerkommission: Abschätzung des Zeitbedarfs bis zur Inbetriebnahme des Endlagers (K-Drs./AG3-119), 03.04.2016
  
- [7] Entsorgungskommission (ESK): Verlängerte Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und sonstiger hochradioaktiver Abfälle in Abhängigkeit von der Auswahl des Endlagerstandorts, Positionspapier vom 23.03.2023
  
- [8] Entsorgungskommission (ESK): Diskussionspapier zur Endlagerung von Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen, angereichertem Uran aus der Urananreicherung, aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden Abfällen und sonstigen Abfällen, die nicht in das Endlager Konrad eingelagert werden können, an einem Endlagerstandort vom 12.05.2016
  
- [9] Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (BGBl. I S. 2094, 2103) vom 06.10.2020

- [10] Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF): Aspekte eines Standortauswahlverfahrens für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle, Oktober 2014
  
- [11] Röhlig, K.-J. (2022) Geology, engineering, and society: repository siting as a socio-technical problem. In: Röhlig, K.-J. (Hrsg.) Nuclear Waste - Management, disposal and governance. IOP Publishing Ltd
  
- [12] Endlagersicherheitsanforderungsverordnung (BGBI. I S. 2094) vom 06.10.2020
  
- [13] Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE): Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung, Stand 28.03.2022, Blatt 27
  
- [14] Expert Group on Building Constructive Dialogues between Regulators and Implementers in Developing Disposal Solutions for Radioactive Waste (RIDDD): [https://www.oecd-nea.org/jcms/pl\\_25229/expert-group-on-building-constructive-dialogues-between-regulators-and-implementers-in-developing-disposal-solutions-for-radioactive-waste-ridd](https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_25229/expert-group-on-building-constructive-dialogues-between-regulators-and-implementers-in-developing-disposal-solutions-for-radioactive-waste-ridd)
  
- [15] Gesetz Nr. 91-1381 über Forschungsarbeiten zur Entsorgung radioaktiver Abfälle, das sogenannte „Loi Bataille“ vom 30.12.1991
  
- [16] Svensk Kärnbränslehantering AB, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (SKB): Site Selection – Siting of the Final Repository for Spent Nuclear Fuel, März 2011, Abbildung 4-2
  
- [17] Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra): Technischer Bericht 08-01, Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen. NTB 08-01, Wettingen, Schweiz, Oktober 2008
  
- [18] Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra): Technischer Bericht 16-01, Entsorgungsprogramm 2016 der Entsorgungspflichtigen. NTB 16-01, Wettingen, Schweiz, Dezember 2016

- [19] Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra): Technischer Bericht 21-01, Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen. NTB 21-01, Wettingen, Schweiz, Dezember 2021
  
- [20] Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra): Technischer Bericht 08-04, Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager, Geologische Grundlagen, NTB 08-04, Wettingen Schweiz, Oktober 01.10.2008
  
- [21] Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE): Vorgehen zur Ermittlung von Standortregionen aus den Teilgebieten, Stand 04.10.2023
  
- [22] Svensk Kärnbränslehantering AB, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (SKB): Post-closure safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report, PSAR version
  
- [23] Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG am 28.09.2020