



Standortvergleich

DISKUSSIONSPAPIER

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	2
2	Regulatorische Vorgaben	2
2.1	StandAG	2
2.2	Verordnungen über Sicherheitsanforderungen und vorläufige Sicherheitsuntersuchungen	3
	für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle	
3	Übergeordnete Aspekte	4
3.1	Geowissenschaftliche Abwägungskriterien	4
3.2	Sicherheitsgerichtete Abwägungen: Mögliche Vorgehensweisen	5
3.3	Abwägung auf der Basis von Sicherheitsuntersuchungen	8
3.4	Herausforderungen beim Vergleich von Endlagersystemen mit unterschiedlichen.....	11
	Sicherheitskonzepten	
3.5	Umgang mit unterschiedlichen Wissensständen	12
3.6	Umgang mit Ungewissheiten	15
3.7	Optimierung und Verhältnismäßigkeit.....	16
3.8	Rücksprünge.....	17
4	Zusammenfassung der wesentlichen Punkte beim Standortvergleich	18
5	Unterlagenverzeichnis.....	20

Anhang 1 Phasen der Standortwahl

Anhang 2 Exemplarische Darstellung möglicher Abhängigkeiten; Bedeutung von Kriterien
für die „erreichbare Qualität des Einschlusses“

1 **Veranlassung**

Die ESK sieht im Standortvergleich einen der Schlüsselprozesse im Standortauswahlverfahren. Für die Festlegung des Standortes „mit der bestmöglichen Sicherheit für eine Anlage zur Endlagerung nach § 9a Absatz 3 Satz 1 des Atomgesetzes in der Bundesrepublik Deutschland...“ [StandAG] ist es unerlässlich, dass das gewählte Vergleichsverfahren den höchsten Qualitätsstandards genügt, transparent und nachvollziehbar ist.

Mit dem StandAG sowie der Endlagersicherheitsanforderungsverordnung [EndlSiAnfV] und die Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung [EndlSiUntV] sind die regulatorischen Rahmenbedingungen definiert. Einzelne Aspekte, wie zum Beispiel die Vorgehensweise bei der sicherheitsgerichteten Abwägung, die Priorisierung und Wichtung von Kriterien, eine mögliche Aggregierung von Kriterien oder der Vergleich von Endlagersystemen mit unterschiedlichen Sicherheitskonzepten (mit oder ohne ewG) müssen möglichst bald angegangen werden, um einen transparenten und nachvollziehbaren Standortvergleich durchführen zu können.

In diesem Diskussionspapier adressiert die ESK – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – diejenigen Herausforderungen, die sich aus den sicherheitstechnischen Aspekten eines Standortvergleichs im Kontext des Standortauswahlverfahrens ergeben können.

2 **Regulatorische Vorgaben**

2.1 **StandAG**

Das Standortauswahlgesetz regelt das Standortauswahlverfahren. In einem partizipativen, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbstinterfragenden und lernenden Verfahren soll ein Standort ermittelt werden, der die bestmögliche Sicherheit für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle bietet. Die bestmögliche Sicherheit bezieht sich auf den dauerhaften Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung und sonstigen schädlichen Wirkungen dieser Abfälle für einen Zeitraum von einer Million Jahren. Mit dem Ziel des endgültigen Verschlusses soll die Endlagerung der hochradioaktiven Abfälle in tiefen geologischen Formationen in einem für diese Zwecke errichteten Endlagerbergwerk erfolgen. Hierfür kommen die Wirtsgesteine Steinsalz, Tonstein und Kristallingestein in Betracht. Die Festlegung des Standortes wird für das Jahr 2031 angestrebt.

Im Verlauf des Standortauswahlverfahrens kommt es dreimal zu vergleichenden Bewertungen zwischen Standortregionen bzw. Standorten, die von der Vorhabenträgerin (BGE) durchgeführt werden (vgl. Anhang 1):

- Erarbeitung eines Vorschlages für die übertägig zu erkundenden Standortregionen (§ 14 Abs. 2),
- Erarbeitung eines Vorschlages für die untertägig zu erkundenden Standorte (§ 16 Abs. 3) und
- Erarbeitung eines Standortvorschlages auf der Grundlage einer vergleichenden Bewertung der untertägig untersuchten Standorte (§ 18 Abs. 3).

2.2 Verordnungen über Sicherheitsanforderungen und vorläufige Sicherheitsuntersuchungen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle

§ 26 Abs. 3 sowie § 27 Abs. 6 StandAG enthalten Verordnungsermächtigungen zum Erlass von Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle bzw. Anforderungen an die Durchführung von vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen im Standortauswahlverfahren für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle. Durch die Endlagersicherheitsanforderungsverordnung und die Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung wird der untergesetzliche Rahmen für ein Genehmigungsverfahren, den nach StandAG ausgewählten Endlagerstandort betreffend, bzw. für die jeweilige Durchführung der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen festgelegt.

Artikel 1: Verordnung über Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (Endlagersicherheitsanforderungsverordnung – EndlSiAnfV)

Nach § 26 StandAG bildet die Endlagersicherheitsanforderungsverordnung bereits im Standortauswahlverfahren eine wesentliche Grundlage für die im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen nach § 27 StandAG durchzuführende Bewertung, ob an einem Standort in Verbindung mit dem vorgesehenen Endlagerkonzept der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle erwartet werden kann. Insofern ist die EndlSiAnfV auch für Standortvergleich und -auswahl relevant. Dies gilt insbesondere für diejenigen Abschnitte, welche das Sicherheitskonzept sowie die Führung eines entsprechenden Sicherheitsnachweises betreffen, namentlich

- Abschnitt 2: Langzeitsicherheit (Bewertungszeitraum und Entwicklungen des Endlagersystems, sicherer Einschluss der radioaktiven Abfälle, Integrität und Robustheit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, Integrität und Robustheit der technischen und geotechnischen Barrieren, Dosiswerte im Bewertungszeitraum, Ausschluss von sich selbst tragenden Kettenreaktionen),
- Abschnitt 3: Sicherheitskonzept, Auslegung des Endlagers, Optimierung des Endlagersystems,
- Abschnitt 4: Rückholbarkeit und Ermöglichung einer Bergung,
- Abschnitt 5: Sicherheit des Endlagers während der Errichtung, des Betriebs und der Stilllegung des Endlagers.

Artikel 2: Verordnung über Anforderungen an die Durchführung der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen im Standortauswahlverfahren für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung – EndlSiUntV)

Die EndlSiUntV enthält zwar keine Anforderungen an den Endlagersystemvergleich jedoch an die Sicherheitsuntersuchungen, deren Ergebnisse eine wesentliche Basis für Standortvergleich und -auswahl bilden. Dies betrifft vor allem die Vorschriften zum Inhalt von Sicherheitsuntersuchungen, bestehend aus folgenden Einzelthemen:

- Geosynthese (§ 5),
- Vorläufiges Sicherheitskonzept und Endlagerauslegung (§ 6),
- Systemanalyse (§ 7),
- Betriebliche Sicherheitsanalyse (§ 8),
- Langzeitsicherheitsanalyse (§ 9),
- Umfassende Bewertung des Endlagersystems (§ 10),
- Bewertung von Ungewissheiten (§ 11).

3 Übergeordnete Aspekte

3.1 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien

Die Abwägung von sicherheitstechnischen und anderen Vor- und Nachteilen von Teilgebieten, Standortregionen bzw. Standorten¹ ist ein zentrales Element des Standortauswahlprozesses auf dem Weg zum „Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für eine Anlage zur Endlagerung nach § 9a Absatz 3 Satz 1 des Atomgesetzes in der Bundesrepublik Deutschland“ [StandAG]. Die nachfolgenden Ausführungen befassen sich ausschließlich mit den Herausforderungen im Zusammenhang mit sicherheitsgerichteten Abwägungen. Die Expertise der ESK liegt in diesem Bereich, außerdem postuliert das StandAG implizit durch die in § 1 formulierte Zielsetzung ein Pramat sicherheitsgerichteter Abwägungen. Während im § 25 StandAG die Nachrangigkeit planungswissenschaftlicher Abwägungskriterien im Vergleich zu sicherheitsgerichteten Abwägungen festgelegt wird, erfolgen keine detaillierten Ausführungen zu Rolle und Gewicht anderer Erwägungen, z. B. aufgrund sozioökonomischer Potenzialanalysen (§ 16 Abs. 1) und der „Abwägung sämtlicher privater und öffentlicher Belange“ (§ 19), in Relation zu den sicherheitsgerichteten Abwägungen und Bewertungen.

Rechtliche Grundlage sicherheitsgerichteter Abwägungen sind zunächst die im StandAG explizit formulierten geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nach § 24, die ebenso wie die Ausschlusskriterien nach § 22 und die Mindestanforderungen nach § 23 in jedem Schritt der Standortauswahl anzuwenden sind. Das StandAG fordert die Anwendung dieser Kriterien bei der Ermittlung von Teilgebieten nach § 13 Abs. 2 und dann erneut auf der Grundlage der schrittweise weiterzuentwickelnden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen bei der Ermittlung von Standortregionen für die übertägige Erkundung nach § 14 Abs. 1 und von Standorten für die untertägige Erkundung nach § 16 Abs. 2. Der Standortvorschlag nach § 18 Abs. 3 soll außerdem auf der Anwendung der Prüfkriterien beruhen, die nach § 17 für die untertägige Erkundung festgelegt werden sollen.

Das StandAG gibt keine Hinweise auf mögliche Wichtungen oder Priorisierungen hinsichtlich der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien untereinander, es führt aber mit den o. g. vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen nach § 27 eine ganzheitliche Betrachtung der Leistungsfähigkeit des Endlagersystems als Entscheidungsgrundlage ein. Diese ganzheitliche Betrachtung setzt die Festlegung eines (ggf. vorläufigen) Sicherheits- und Endlagerkonzepts voraus. Die EndlSiUntV weist in § 7 Abs. 4 den vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen eine wichtige Funktion in Zusammenhang mit Fragen der Abwägung zu: „Für den Untersuchungsraum ist darzulegen, welche Relevanz die einzelnen Abwägungskriterien nach Anlage 1 bis 11 des Standortauswahlgesetzes für die Beurteilung des jeweiligen Endlagersystems haben.“ Im FuE-Vorhaben

¹ Gemäß EndlSiAnfV wird nachfolgend der generische Begriff „Untersuchungsraum“ verwendet, wenn sowohl Teilgebiete als auch Standortregionen und Standorte gemeint sind.

RESUS wurde untersucht, in welcher Weise Sicherheitsuntersuchungen zur sachgerechten Anwendung der Abwägungskriterien herangezogen werden können [GRS 2020].

3.2 Sicherheitsgerichtete Abwägungen: Mögliche Vorgehensweisen

Unter „Abwägung“ wird nachfolgend über die formale Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nach § 24 StandAG hinaus allgemein jede sicherheitsgerichtete naturwissenschaftlich-technische Abwägung im Standortauswahlverfahren verstanden. Die Notwendigkeit zu Abwägungen ergibt sich beispielsweise in folgenden denkbaren, hier generisch beschriebenen Situationen:

- Untersuchungsraum A weist bzgl. eines Sachverhalts X günstigere Eigenschaften auf als Untersuchungsraum B, aber ungünstigere bzgl. Sachverhalt Y. Wie ist dies zu werten, wie sind beide Sachverhalte gegeneinander zu wichten? Diese Frage stellt sich in unterschiedlicher Weise, je nachdem ob für A und B gleiche bzw. ähnliche oder aber grundlegend verschiedene Sicherheitskonzepte zum Einsatz kommen sollen.
- Untersuchungsraum A weist bzgl. eines Sachverhalts potenziell günstigere Eigenschaften auf als Untersuchungsraum B, diese sind aber für den Untersuchungsraum A (z. B. aufgrund größerer Heterogenität) schwerer erkundbar bzw. verifizierbar (also weniger gewiss) als für den Untersuchungsraum B, vgl. hierzu auch Abschnitte 3.4 bzw. 3.5.
- Für zwei Untersuchungsräume werden fundamental unterschiedliche Sicherheitskonzepte vorgesehen (z. B. ein ewG an einem Untersuchungsraum und ein wesentlich auf technischen und geotechnischen Barrieren beruhender Einschluss am anderen), so dass ein Vergleich einzelner Sachverhalte nicht in jedem Fall zielführend ist.

Für derartige Problemstellungen sind im Wesentlichen drei Herangehensweisen (oder Kombinationen davon) mit dem Ziel der Aggregierung der einzelnen Sachverhalte vorstellbar:

- eine verbal-argumentative (d. h. qualitative) Abwägung,
- eine formal-numerische Bewertung quantifizierter Bewertungsgrößen anhand mathematischer Verfahren, z. B. Multikriterienanalyse (*multi criteria decision analysis MCDA*)² und
- eine qualitative und quantitative Betrachtung des Endlagersystems in seiner Gesamtheit, insbesondere aufgrund der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (Details hierzu siehe Kap. 3.3).

In jedem Fall ist eine für alle betrachteten Untersuchungsräume bezüglich der Sicherheit konsistente Vorgehensweise erforderlich. Nachfolgend wird darauf eingegangen, mit welchen Methoden das Vorgehen gestaltet werden könnte.

² Für einen Überblick vgl. Department for Communities and Local Government London (2009) [DCLGL 2009]

Nach Auffassung der ESK kann die Auswahl eines Standortes mit bestmöglicher Sicherheit aufgrund eines akzeptablen und legitimierten Prozesses nur erreicht werden, wenn die sicherheitsgerichteten Abwägungen hohen Ansprüchen an die innere Logik der verwendeten Methodik wie auch an Transparenz und Nachvollziehbarkeit auch für Akteure genügen, die mit den fachlichen Hintergründen weniger vertraut sind (interessierte Laien). Hierzu gehört auch, dass auf Expertenmeinung gegründete Abwägungsentscheidungen als solche gekennzeichnet werden. Andernfalls besteht die Gefahr der Vortäuschung einer Objektivierung oder Objektivierbarkeit, wo diese nicht besteht.

Zwar ist die ESK der Auffassung, dass eine ausschließlich verbal argumentative (qualitative) Abwägung diesen Ansprüchen nicht vollständig genügen kann, da damit diese Potenziale der Quantifizierung und Objektivierung nicht ausgeschöpft werden. Jedoch werden verbale Argumentationen als unverzichtbarer Bestandteil des Gesamtprozesses der Abwägung gesehen, z. B. in Zusammenhang mit der Beschreibung potenzieller Entwicklungen des Endlagersystems, der Nutzung subjektiver Expertenurteile oder mit der Einordnung von Sachverhalten. Der Einsatz verbal-argumentativer Methoden ist besonders für die Bewertung von nicht oder kaum quantifizierbaren Kriterien (z.B. der Robustheit eines Endlagersystems) geeignet. Da keine quantitative Aggregation von numerischen Einzelwerten erfolgt, wird keine Genauigkeit durch exakte Zahlenwerte vorgetäuscht, die sich infolge einer unzureichenden Datenlage und eines Mangels an Wissen über Wirkungszusammenhänge nicht rechtfertigen ließe [MABeSt 2020]. Beispiele für die Anwendung der verbal-argumentativer Methoden im Bereich des Endlagersystemvergleichs sind die Vorhaben VerSi I [GRS 2010] und VerSi II [GRS 2017].

Eine formal-numerische Bewertung anhand mathematischer Verfahren erlaubt eine quantitative oder zumindest semi-quantitative Bewertung und insbesondere eine Aggregation von Sachverhalten, die gemessen oder in anderer Weise (semi-)quantitativ dargestellt oder zumindest eingeordnet werden können. Eine solche Darstellung bzw. Einordnung ist auf verschiedenen Skalen möglich:

Anhand einer Ordinalskala (Rangskala) kann der Sachverhalt selbst möglicherweise nur qualitativ beschrieben werden, dabei ist es aber möglich, eine sinnvolle Ordnung herzustellen. Ein Beispiel wäre eine sicherheitsrelevante potenzielle geologische Entwicklung, die für einen Untersuchungsraum eintreten kann, für einen anderen jedoch nicht. Im StandAG werden für die Abwägungskriterien nach § 24 in den Anlagen 1 bis 11 den verschiedenen Kriterien bzw. Indikatoren „Wertungsgruppen“ des Typs „günstig / bedingt günstig / weniger günstig bzw. ungünstig“ zugeordnet. Dies geschieht sowohl für verbal beschriebene Sachverhalte (Tonstein – fester Ton – halbfester Ton) als auch für im strengen Sinn quantifizierbare Indikatoren (z. B. Gebirgsdurchlässigkeit), aber auch für Kombinationen (z. B. Anlage 7 zur Gasbildung). Auch die Nagra hat im Schweizer Sachplanverfahren für ihren Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden Standortgebiete solche Ordinalskalen genutzt, indem sie Sachverhalte mit den Prädikaten sehr günstig, günstig, bedingt günstig, ungünstig bzw. ungenügend versehen hat [NTB 14-01].

Stärkere oder genauere Differenzierungen von Sachverhalten sind möglich, wenn sich Werte auf metrischen Skalen einordnen. Hierzu gehören Intervallskalen (Differenzenbildungen sind inhaltlich sinnvoll, z. B. für in °C gemessene Temperaturen), Verhältnisskalen (Proportionalen Skalen, Quotientenbildungen sind sinnvoll, z. B. für in K gemessene Temperaturen bzw. Energien) sowie Absolutskalen (die Quantifizierung ergibt sich zwangsläufig aus dem Sachverhalt, z. B. Aktivität). Allerdings ist zu beachten, dass solche metrischen Skalen zwar genauere Beschreibungen des einzelnen Sachverhalts ermöglichen, jedoch bei einer Aggregation

unterschiedlich gearteter Sachverhalte (z. B. hydraulische Durchlässigkeiten und Hebungsralen) in ein einheitliches Bewertungssystem hinderlich sind, da mit unterschiedlichen Sachverhalten, Einheiten und Größenordnungen gearbeitet wird.

Letztlich erscheint die Überführung in Ordinalskalen aus zwei Gründen geboten: Zum einen ist, wie oben angedeutet, eine Projektion verschiedenartig skalierbarer Sachverhalte (von verbal beschrieben bis gut quantifizierbar) in ein einheitliches System möglich, das dann eine Aggregierung ermöglicht. Zum anderen erfordert die Überführung in die Ordinalskala eine sicherheitsgerichtete Wertung der Sachverhalte, die ja letztlich das Ziel der Abwägung ist. Dies ist jedoch gleichzeitig eine Herausforderung, da die jeweilige Zuordnung sicherheitstechnisch zu begründen ist. Das StandAG nimmt mit seinen Anlagen 1 bis 11 eine solche Begründung für die Abwägungskriterien vorweg und schafft diesbezügliche Rechts- und Verfahrenssicherheit, leistet die eigentlich erforderlichen Begründungen aber allenfalls implizit in den knappen Begleittexten bzw. der Gesetzesbegründung. Diese beruhen auf Erfahrungen aus früheren Sicherheitsuntersuchungen und auf erfahrungsbasierten Annahmen. Auch die oben erwähnten durch die Nagra im Schweizer Sachplanverfahren vorgenommenen Zuordnungen beruhen auf vergleichbaren Quellen. Im Unterschied zum deutschen Standortauswahlverfahren ist allerdings für das Schweizer Verfahren davon auszugehen, dass unabhängig vom letztlich gewählten Standort ein in den wesentlichen Zügen bereits bekanntes und für alle potenziellen Standorte gleiches oder zumindest sehr ähnliches Sicherheitskonzept zum Einsatz kommen wird und daher weitgehende Klarheit über die sicherheitstechnische Bedeutung geologischer Sachverhalte besteht [NTB 08-05]. Dagegen ist für die deutsche Standortauswahl durch die Vorgaben des StandAG z. B. hinsichtlich der zu betrachtenden Wirtsgesteine von einer Diversität von Konzepten und damit auch hinsichtlich der sicherheitstechnischen Bedeutung von Sachverhalten (z. B. hydraulische Durchlässigkeit der Wirtsgesteinsformation bei Konzepten mit bzw. ohne einschlusswirksamen Gebirgsbereich) auszugehen. Dieser Diversität wird im StandAG nur punktuell durch die „Sonderregelung für das Wirtsgestein Kristallin“ (Begründungen zu §§ 23, 24) Rechnung getragen.

Ordinalskalen können quantifiziert und damit einer numerischen Behandlung und Aggregierung zugänglich gemacht werden, so wurden durch die Nagra die Bewertungen (sehr günstig, günstig, bedingt günstig, ungünstig, ungenügend) in Zahlenwerte („Nutzwerte“ von 5 bis 1 [NTB14-01]) überführt, die dann quantitativ aggregiert behandelt wurden. In der Begründung des StandAG zu § 24 Abs. 1 heißt es bzgl. einer solchen Aggregierung: „Eine rechnerische Gesamtbewertung der Erfüllung der Abwägungskriterien ist bewusst nicht vorgesehen. Bei der Abwägung zur Bewertung der geologischen Gesamtsituation ist die Bedeutung der jeweiligen Abwägungskriterien für einen spezifischen Standort und das dort vorgesehene Endlagersystem zu würdigen.“

Eine solche Bedeutung kann je nach Sicherheits- bzw. Endlagerkonzept höher oder niedriger sein. Bedeutungszuweisungen erfolgen bereits bei der Projektion von Sachverhalten auf einheitliche Ordinalskalen. Z. B. kann durch die Wahl der Schwellenwerte auf einer gestuften Skala bereits eine Wichtung stattfinden. Darüber hinaus können Sachverhalte (z. B. Werte von Indikatoren) voneinander abhängig (z. B. korreliert) sein. In einem solchen Fall besteht die Gefahr, dass bei einer isolierten Betrachtung Sachverhalte zu hoch bewertet werden, also, dass eine mehrfache Wertung z. B. hydrogeologischer Sachverhalte (vgl. Tabelle 1 im Anhang 2) erfolgt, die in Wahrheit aneinandergebunden sind. Weiterhin ist es denkbar, dass Sachverhalte interagieren, also gemeinsam sicherheitstechnisch stärker wirken als für sich allein genommen. Hier würde eine isolierte Betrachtung zu einer zu niedrigen Bewertung führen.

Die Nagra hat in ihrer Aggregierung zur Etappe 2 des schweizerischen Standortauswahlverfahrens [NTB 14-01] solchen Zusammenhängen Rechnung getragen, indem sie eine mehrstufige Aggregierung in drei Ebenen (Kriteriengruppe – Kriterium – Indikator) durchführte und dabei unterschiedliche Fälle der Aggregierung (Mittelwert oder Minimum der zu aggregierenden Werte) eingesetzt wurden [NTB 14-01]. Wie oben erwähnt, war der gedankliche Ausgangspunkt die Annahme gleicher oder sehr ähnlicher Sicherheitskonzepte für alle potenziellen Standorte, da nur Tone bzw. tonreiche Gesteine zur Auswahl standen. Bei den für Deutschland zu erwartenden Unterschieden müsste eine solche Aggregierung differenziert je nach Konzept erfolgen. Die mehrstufige Aggregierung im FuE-Vorhaben RESUS in den Ebenen Indikatoren – bewertungsrelevante Eigenschaften – Kriterien – Gesamturteil folgt einer solchen Logik. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass die Aggregierung im Vorhaben RESUS durch Sicherheitsuntersuchungen für verschiedene Konzepte gestützt wurde.

Eine Aggregierung erfordert auch die Berücksichtigung ggf. bestehender Ungewissheiten. Hier sind im Wesentlichen zwei Wege denkbar: Die Berücksichtigung möglicher Bandbreiten z. B. durch Variantenbetrachtungen oder durch Einsatz spezieller komplexer Methoden der Multikriterienanalyse z. B. auf probabilistischer oder Fuzzy-Logik-Basis. Diese sind hinsichtlich ihrer Praktikabilität jedoch nicht unumstritten [DCLGL 2009], [Röhlig 2015]. Ein anderer Weg wäre, den Sachverhalt der Ungewissheit selbst in Bewertungsgrößen zu überführen. So wird im schweizerischen Standortauswahlverfahren eine Kriteriengruppe "Zuverlässigkeit der geologischen Aussage" vorgegeben, die die Ungewissheiten bzgl. Gesteinscharakterisierung, bzgl. räumlicher Verhältnisse und bzgl. Langzeitprognose umfasst.

Entscheidend für die Ergebnisse einer aggregierten Bewertung ist die Frage, ob und ggf. wie eine Wichtung von Einzelgrößen vorgenommen wird. Multikriterienanalysen kommen häufig im Zusammenhang mit Wertungen und normativen Sachverhalten zur Anwendung, hier können stark variierende Auffassungen zur Wichtung auftreten. Entsprechend wird in der Literatur darauf hingewiesen, dass der Objektivierung Grenzen gesetzt sind und der Entscheidungsprozess zur Wichtung eine wesentliche Rolle spielt: „*The purpose [of multicriteria decision analysis] is to serve as an aid to thinking and decision making, but not to take the decision.*“ [DCLGL 2009]. Ein derartiges Anwendungsbeispiel im Bereich der nuklearen Entsorgung ist die Multikriterienanalyse im Rahmen des Optionenvergleichs für die Entsorgung aller Arten radioaktiver Abfälle in Großbritannien durch das „Committee on Radioactive Waste Management“ [CoRWM 2006].

3.3 Abwägung auf der Basis von Sicherheitsuntersuchungen

Im konkreten Fall der Abwägung im Standortauswahlverfahren steht nach StandAG mit den vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen ein Werkzeug zur integralen Betrachtung des Endlagersystems zur Verfügung, das Informationen zur sicherheitstechnischen Relevanz und zu Abhängigkeiten und Interaktionen von Sachverhalten in Abhängigkeit vom jeweiligen Konzept geben kann. Vorstellbar sind Vorgehensweisen, die die Ergebnisse dieser Untersuchungen entweder verbal-argumentativ nutzen oder in Aggregierungen einfließen lassen (vgl. Kapitel 3.2 zur Vorgehensweise im Vorhaben RESUS). Diese Ergebnisse könnten aber auch in die Wichtungen im Rahmen von Multikriterienanalysen eingehen.

Zentraler Gegenstand der Sicherheitsuntersuchungen ist gemäß § 27 Abs. 1 StandAG „die Bewertung, inwieweit der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle unter Ausnutzung der geologischen Standort-

gegebenheiten erwartet werden kann“. Damit ergeben sich zwei grundlegende Fragestellungen – die nach dem Einschlussvermögen per se, also insbesondere nach den physikochemischen Eigenschaften von Barrieren, die den Zu- und Austritt ggf. schadstoffbeladener Fluide ver- oder behindern, und die nach dem Erhalt solcher Eigenschaften im Bewertungszeitraum, also der Integrität. Im Zusammenhang mit den Abwägungskriterien des StandAG wird dies für die Zielgröße Einschlussvermögen mit „erreichbarer Qualität des Einschlusses“ bezeichnet, die Abwägungskriterien in § 24 Abs. 3 beziehen sich auf diese Zielgröße wie auch auf die „zu erwartende Robustheit des Nachweises“. Für die Zielgröße Integrität wird in § 24 Abs. 4 die Bezeichnung „Absicherung des Isolationsvermögens“ verwendet.

Die Befassung mit der zweiten Fragestellung erfolgt vor dem Hintergrund der Betrachtung von Eintrittswahrscheinlichkeit und möglicher Konsequenz potentieller Entwicklungen des Endlagersystems (Szenarien), die systematisch abzuleiten und einzuordnen sind. Insbesondere im Hinblick auf die Möglichkeit, dass die tatsächliche künftige Entwicklung des Endlagersystems einen Weg nimmt, der deutlich von den in der Sicherheitsuntersuchung abgeleiteten Szenarien abweicht (z. B. aufgrund unvorhergesehener Ereignisse oder Effekte, sogenannte „*unknown unknowns*“), ist darüber hinaus die Robustheit (§ 2, EndlSiAnfV) des Systems zu bewerten. Schließlich ist zu gewährleisten, dass das konzipierte Endlager auch sicher errichtet werden kann.

Ergebnisse der Sicherheitsuntersuchungen sind u. a. berechnete Indikatoren, die zur vergleichenden quantitativen Bewertung und Abwägung herangezogen werden können. In der EndlSiAnfV werden solche Indikatoren benannt: In § 4 wird eine Bewertung anhand eines Indikators zum Einschlussvermögen gefordert, in § 7 die Bewertung anhand der zusätzlichen jährlichen effektiven Dosis, „die während des Bewertungszeitraums durch Austragungen von Radionukliden aus den eingelagerten radioaktiven Abfällen auftreten kann“. Der erste Indikator nimmt direkten Bezug auf die „wesentlichen Barrieren“ und ist daher relevant für die Abwägungen. Ihm ist auch zu eigen, dass er für unterschiedliche Sicherheitskonzepte ermittelt werden kann. Die jährliche effektive Dosis ist ein integraler Sicherheitsindikator, der aufgrund von noch zu präzisierenden Rechenvorschriften und -konventionen zu ermitteln ist. Für diese Rechenvorschriften stellt sich die zentrale Frage, inwieweit die Berechnung eher standortspezifisch oder eher generisch erfolgen soll. Die berechnete zusätzliche effektive Dosis stellt keine Prognose einer realen Strahlenexposition dar, sondern einen Indikator dafür, ob das System insgesamt Sicherheitsanforderungen erfüllen kann. Die Vorgaben für die Dosiswerte in § 7 sind dabei so niedrig gewählt, dass ein Vergleich und eine Abwägung aufgrund unterschiedlicher Werte unterhalb der in § 7 vorgegebenen Werte nach Auffassung der ESK nicht zulässig sind.

Informationen und Anregungen zum Potenzial unterschiedlicher Indikatoren liefert eine Zusammenstellung der OECD/NEA [OECD 2012]. Dort wird u. a. eine Kategorisierung nach

- ‘Content and concentration’ related indicators,
- ‘Flux’ related indicators,
- ‘Status of barriers’ related indicators

vorgeschlagen. Die ersten beiden Kategorien zielen auf das Einschlussvermögen per se (der Indikator nach § 4 EndlSiAnfV ist ein ‘Flux’ related indicator). Dagegen zielen ‘Status of barriers’ related indicators (z. B. Behälterstandzeiten oder Dilatanzfestigkeiten) vorrangig auf die Integrität. § 5 der EndlSiAnfV enthält Verweise auf derartige Indikatoren. Die ESK empfiehlt eine Zusammenstellung von Indikatoren für verschiedene Sicherheitskonzepte im Hinblick auf ihre Aussagefähigkeit bzgl. Einschlussvermögen, Integrität und Robust-

heit sowie bzgl. ihrer universellen Anwendbarkeit angesichts unterschiedlicher Sicherheitskonzepte. Aufgrund einer solchen Zusammenstellung könnten methodische Grundlagen zu einer sicherheitsgerichteten und praktikablen Abwägung geleistet werden.

Laut EndlSiUntV dienen die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen u. a. dem Zweck, „darzulegen, welche Relevanz die einzelnen Abwägungskriterien nach den Anlagen 1 bis 11 des StandAG für die Beurteilung des jeweiligen Endlagersystems haben“ (§ 4 Abs. 4). Die Verordnung erwähnt in diesem Zusammenhang u. a. die „Bedeutung des Kriteriums für die Sicherheitsfunktionen des vorgesehenen Endlagersystems und seiner Komponenten“. Die ESK weist in diesem Zusammenhang darauf hin,

- dass auch Sachverhalte, die in den Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen betrachtet werden, diesbezüglich bedeutend sind und
- dass Abhängigkeiten zwischen den in den Kriterien betrachteten Sachverhalten bestehen.

Die ESK regt daher an, die in den Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen betrachteten Sachverhalte auch in die Abwägung einfließen zu lassen: Auch wenn ein Untersuchungsraum nach Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen akzeptiert wird, bestehen Unterschiede hinsichtlich der diesbezüglichen Sicherheitsreserven und damit bezüglich der Robustheit.

Die ESK regt weiterhin an, die Sicherheitsuntersuchungen zur Klärung von Abhängigkeiten zwischen den in den Kriterien und diesbezüglichen Indikatoren betrachteten Sachverhalten wie auch zur Klärung des Einflusses der Sachverhalte auf Zielgrößen wie z. B. „erreichbare Qualität des Einschlusses“ (Einschlussvermögen), „zu erwartende Robustheit des Nachweises“ und „Absicherung des Isolationsvermögens“ (Integrität) zu verwenden.³

In den Matrizen im Anhang 2 ist exemplarisch dargestellt, wie im Rahmen der Konzeption und Durchführung vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen die beschriebenen Sachverhalte systematisch dargestellt und verdeutlicht und damit Abwägungen gestützt werden könnten. Mit Matrix 1 werden mögliche Abhängigkeiten zwischen den Ausschlusskriterien (hellblau), Mindestanforderungen (grün) und Abwägungskriterien (gelb) dargestellt. Die Matrizen 2 und 3 zeigen exemplarisch Abhängigkeiten zwischen den Indikatoren nach Anlage 1 [StandAG] zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. nach Anlagen 9 StandAG zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich und nach Anlage 10 StandAG zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse. Beide Matrizen sind im Uhrzeigersinn zu lesen, die Pfeile deuten Beeinflussungen an. Die Darstellung ist durch in [SKB 1994, Nirex 1998, DBE Technology 2008] entwickelte Ansätze inspiriert. Die Matrixdarstellung eröffnet neben der hier verwendeten Darstellung von Einflussrichtungen über Pfeile auch die Möglichkeit einer weiter differenzierenden Darstellung unter Berücksichtigung von Einflussstärken und Erläuterungen. Darüber hinaus zeigt Matrix 4 die Bedeutung von Kriterien für die „erreichbare Qualität des Einschlusses“ (§ 24 Abs. 3 StandAG) für verschiedene Wirtsgesteinstypen und Sicherheitskonzepte auf. Dabei wurde auch der Bezug zu Kriterien hergestellt, die im StandAG anders zugeordnet sind, vgl. hierzu die Anmerkung unter Matrix 4.

³ Sofern mehrere Sachverhalte gemeinsam auf eine Zielgröße einwirken und sich ihre Effekte z. B. gegenseitig verstärken, wird dies als „Interaktion“ bezeichnet.

3.4 Herausforderungen beim Vergleich von Endlagersystemen mit unterschiedlichen Sicherheitskonzepten

Generell besteht eine der wesentlichen Herausforderungen im Standortauswahlprozess in der vergleichenden Bewertung von Endlagersystemen in unterschiedlichen Wirtsgesteinen. Endlagersysteme in verschiedenen Wirtsgesteinen unterscheiden sich erheblich hinsichtlich ihrer Sicherheitskonzepte und der jeweiligen Relevanz der Sicherheitsfunktionen ihrer Barrieren. International bestehen keine Beispiele für sicherheitsgerichtete Vergleiche von bzw. Abwägungen zwischen Endlagersystemen in verschiedenen Wirtsgesteinen, die man für einen Auswahlprozess in Deutschland nutzen könnte.

Nach § 24 Abs. 2 StandAG rückt bei Gebieten, bei denen kein ewG ausgewiesen werden kann, an die Stelle des Abwägungskriteriums zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper (Anlage 2 zu § 24 Abs. 3 StandAG) die rechnerische Ableitung, welches Einschlussvermögen durch die technischen und geotechnischen Barrieren voraussichtlich erwartet werden kann. Wie diese rechnerischen Ergebnisse mit dem Abwägungskriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper bei Gebieten, bei denen ein ewG ausgewiesen werden kann, gegeneinander abgewogen werden kann, ist noch zu klären. Insbesondere müssen noch Kriterien entwickelt werden, die aus einer rechnerischen Ableitung des Einschlussvermögens technischer und geotechnischer Barrieren die Einstufung des betreffenden Endlagersystems in die jeweiligen Kategorien ermöglichen.

Die anderen Abwägungskriterien (Anlagen 1, 3 bis 11 StandAG) sind nach § 24 Abs. 2 StandAG bei Gebieten, bei denen kein ewG ausgewiesen werden kann, statt auf den ewG auf den Einlagerungsbereich zu beziehen. Der Einlagerungsbereich ist per Definition der räumliche Bereich des Gebirges, in den die radioaktiven Abfälle eingelagert werden sollen. Falls das Einschlussvermögen des Endlagersystems wesentlich auf technischen und geotechnischen Barrieren beruht, zählt hierzu auch der Bereich des Gebirges, der die Funktionsfähigkeit und den Erhalt dieser Barrieren gewährleistet, d. h. ein Saum von Kristallingestein, die eingelagerten Abfälle und die (geo-)technischen Barrieren umgebend.

Problematisch ist dabei, dass sich sämtliche Abwägungskriterien auf sicherheitsgerichtete Eigenschaften von Wirtsgesteinen beziehen, bei denen ein ewG ausgewiesen werden kann. Hingegen wären an einen Einlagerungsbereich bei Konzepten, bei denen das Einschlussvermögen des Endlagersystems wesentlich auf technischen und geotechnischen Barrieren beruht, andere Anforderungen zu stellen. Diese müssten insbesondere auf den Schutz der technischen und geotechnischen Barrieren abzielen. So kommt beispielsweise den hydrochemischen Verhältnissen im Einlagerungsbereich hohe Bedeutung im Hinblick auf den langfristigen Korrosionsschutz der Behälter zu. Hieraus wird deutlich, dass die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien für einen Vergleich verschiedener Endlagersysteme in unterschiedlichen Wirtsgesteinen nur bedingt geeignet sind, wodurch ein direkter Vergleich erschwert wird. Hierfür müssten im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen Vergleichskriterien entwickelt werden, die sich an spezifischen Sicherheitsfunktionen derartiger Konzepte orientieren (§ 7 Abs. 4 EndlSiUntV).

3.5 Umgang mit unterschiedlichen Wissensständen

Dem Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe [KLHRA 2016] folgend ist das Standortauswahlverfahren mit einer „weißen Karte“ Deutschlands gestartet. Besondere Herausforderungen ergeben sich in Phase 1 des Standortauswahlverfahrens, bei der es um die Ermittlung von Teilgebieten (§ 13 StandAG) und deren weitere Eingrenzung auf Standortregionen (§ 14 StandAG) geht, welche nachfolgend in Phase 2 übergängig erkundet werden sollen (vgl. Anhang 1). Phase 1 stützt sich ausschließlich auf bereits existierende Daten und Informationen. Gezielte teilgebiets- bzw. standortregionsspezifische Erkundungen sind in dieser Phase nicht vorgesehen. Es ist davon auszugehen, dass die Datenlage für die einzelnen Untersuchungsräume im Hinblick auf Umfang und Aussagekraft regional heterogen ist. Dabei ist zu beobachten, dass

- die Datenlage bei einigen Untersuchungsräumen so lückenhaft ist, dass nicht alle Ausschlusskriterien und/oder Mindestanforderungen abgeprüft werden können (so ist es beispielsweise bezüglich des Ausschlusskriteriums „Grundwasseralter“ (§ 22 StandAG) unwahrscheinlich, dass hierzu flächen-deckend Informationen über den Untergrund der Bundesrepublik Deutschland vorliegen),
- die Datenlage für eine Vielzahl von geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nicht ausreicht, um eine zuverlässige Einordnung eines Untersuchungsraums in die entsprechenden Bewertungsgruppen durchzuführen zu können (eine „sicherheitsgerichtete Abwägung der Ergebnisse zu allen Abwägungskriterien“ (§ 24 StandAG) ist damit nur eingeschränkt möglich),
- zwischen den Untersuchungsräumen der Datenumfang und die -qualität und damit ggf. die Aussagesicherheit bei der Anwendung der geowissenschaftlichen Kriterien unterschiedlich sind (vgl. Kap. 3.2),
- die Anwendung der Kriterien nach § 24 StandAG nur auf Grundlage generischer (d. h. vorläufiger) Konzepte für Teilgebiete bzw. im 2. Teil der Phase 1 (vgl. Anhang 1) für Standortregionen erfolgen kann und somit nicht abschließend sein wird (so wird beispielsweise der Platzbedarf unter Anwendung von vorläufigen Vorstellungen zu einem wirtsgesteinsspezifischen Endlagerkonzept abgeschätzt werden müssen).

Die Anwendung generischer (d. h. vorläufiger) Endlagerkonzepte birgt die Gefahr, dass

- solche in einer frühen Phase der Standortauswahl entwickelten Konzepte zum Ausschluss von Untersuchungsräumen führen, welche bei einer weiteren Optimierung der Konzepte in einem späteren Verfahrensschritt zu einer sichereren Lösung geführt hätten,
- in ein und derselben Auswahlphase Endlagersysteme mit Endlagerkonzepten unterschiedlichen Optimierungsstandes verglichen werden und dadurch ein Ungleichgewicht in der Bewertung entsteht.

Mit fortschreitendem Verfahren (Phase 2, übergäige Erkundung, bzw. Phase 3, untergäige Erkundung) sollen diese unterschiedlichen Wissensstände durch standortbezogene Erkundungsprogramme im für die Belange eines sicherheitsgerichteten Vergleichs erforderlichen Maß ausgeglichen werden. Unterschiedlich komplexe geologische Verhältnisse und unterschiedliche Sicherheitskonzepte an den Standorten erheben dabei

unterschiedliche Anforderungen an den Detailierungsgrad zur Erhebung des in späteren Phasen notwendigen geologischen Wissensstandes. Die Erkundungsprogramme sind in § 2 StandAG so definiert, dass die Erkundung dazu dient, „die standortbezogenen geowissenschaftlichen Daten zu ermitteln, die [...] zur Durchführung der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen jeweils erforderlich sind“. Unterschiedliche Wissensstände sind folglich grundsätzlich zulässig, sofern die entsprechenden Sicherheitsuntersuchungen derart möglich sind, dass sie einen sicherheitsgerichteten Vergleich und darauf basierte Entscheidungen erlauben.

Die Vorhabenträgerin muss gemäß § 13 und § 14 StandAG in Phase 1 auch Gebiete, die aufgrund nicht hinreichender geologischer Daten nicht abschließend bewertet werden können, aufführen und eine Empfehlung zum weiteren Umgang mit diesen Gebieten abgeben. Im Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG [ZwiTeil 2020] hat die Vorhabenträgerin mit Referenzdatensätzen gearbeitet: Standen für Gebiete eines Wirtsgesteinstyps nicht genügend Daten für die sachgerechte Anwendung eines Abwägungskriteriums zur Verfügung, wurden alle Gebiete dieses Wirtsgesteins bezüglich dieses Kriteriums einheitlich beurteilt. Die hierfür verwendeten Referenzdaten wurden so gewählt, dass sie im Rahmen der für den jeweiligen Wirtsgesteinstyp denkbaren Bandbreiten möglichst vorteilhaft waren, um so einen vorzeitigen Ausschluss von Gebieten zu vermeiden. Eine solche je Wirtsgesteinstyp einheitliche Beurteilung mit Referenzdatensätzen erfolgte für 8 (Steinsalz in steiler Lagerung), 9 (kristallines Wirtsgestein) bzw. 7 (Tongestein und stratiformes Steinsalz) der 11 Abwägungskriterien. Demzufolge hat die Vorhabenträgerin auf eine gesonderte Behandlung von Gebieten mit nicht hinreichender Datenlage verzichtet.

Beim weiteren Vorgehen könnten aus Sicht der ESK auch folgende Wege beschritten werden:

- Die Vorhabenträgerin kann argumentieren, dass ein entsprechendes geowissenschaftliches Abwägungskriterium im anstehenden Standortvergleich nicht ausschlaggebend ist oder der zu erwartende Wertebereich nahezu identisch ist und daher auf eine Beschaffung der Daten mittels weiterer Erkundungsschritte (z. B. seismischer Messungen, Bohrungen) verzichtet werden kann. Dieser Weg ist kosten- und zeiteffizient, setzt aber voraus, dass bei einem Standortvergleich an den anderen zum Vergleich stehenden Standorten genügend Daten vorliegen, damit das entsprechende Kriterium in seiner Sicherheitsrelevanz abschließend eingeschätzt werden kann.
- Die Vorhabenträgerin kann auf eine (weitere) Datenerhebung verzichten, wenn sie nachvollziehbar zeigen kann, dass die zu erwartenden Daten in einer Bandbreite liegen, die (a) eindeutig ein Ausschlusskriterium (§ 22 StandAG) nicht erfüllen oder eine Mindestanforderung (§ 23 StandAG) erfüllen bzw. (b) aufgrund der zu erwartenden Daten sicherheitstechnisch ein eindeutiger Vorteil oder Nachteil gegenüber anderen Standorten bzgl. eines oder mehrerer Kriterien (§ 24 StandAG) vorliegt. Mit diesem Weg können aufwändige Datenerhebungen so weit reduziert werden, bis die Bandbreiten von sicherheitsrelevanten Parametern zuverlässig abgeschätzt werden können. Ein solches Vorgehen funktioniert jedoch nur, wenn sich bei (a) die abgeschätzten Bandbreiten unter Berücksichtigung der Ungewissheiten von den vorgegebenen Grenzwerten der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen eindeutig trennen lassen oder bei (b) im Standortvergleich die Abwägungskriterien entsprechende Bandbreiten aufweisen, so dass zwischen den Standorten keine Überlappung innerhalb der Bandbreiten vorhanden ist.

- Alternativ kann die Vorhabenträgerin die entsprechenden Datenbeschaffungen in ihr Erkundungsprogramm aufnehmen und damit den für den Vergleich notwendigen Wissensausgleich anstreben. Je nach Komplexität der geologischen Verhältnisse ist dieser Weg zeit- und kostenaufwändiger. Die Resultate aus einer Erkundung garantieren nicht zwangsläufig den Nachweis einer klaren Unter-/Überschreitungen von Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen bzw. einen effektiven Unterschied zwischen Standortgebieten bzgl. der Abwägungskriterien.

Der gewählte Weg sollte sorgfältig begründet werden. Als Ausgangspunkt einer Strategie im Umgang mit unvollständigem Wissen könnten die folgenden drei Fragen bzw. Vorgehensschritte herangezogen werden:

- 1 Ist die unvollständige Datengrundlage sicherheitsrelevant? Wenn nein, braucht es keinen Ausgleich der Datenlücke; wenn ja: → Frage 2
- 2 Gibt es die Möglichkeit, das unvollständige Wissen durch Literaturdaten zu ersetzen (Einsatz von „proxies“, z. B. Daten aus ähnlichen Gesteinen, ähnlichen geologischen Verhältnissen)? Wenn ja, ist die Wahl der „proxies“ belastbar zu begründen. Dieser Weg wurde im Zwischenbericht Teilgebiete [ZwiTeil 2020] mit der Verwendung sogenannter „Referenzdatensätze“ beschritten.
Wenn nein: → Frage 3
- 3 Sind die als sicherheitsrelevant erkannten Wissenslücken mit wissenschaftlichen Erkundungsmethoden belastbar zu schließen? Wenn ja, sollen die entsprechenden Daten erhoben werden. Wenn nein, ist eine entsprechende Verfahrensweise festzulegen.

Die Erfüllung aller Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen ist aufgrund fortschreitender Entwicklung in den wissenschaftlichen Methoden und außerhalb des Verfahrens generierter neuer Daten in allen Phasen zu überprüfen (vgl. Anhang 1). Dazu sollten auch entsprechende Daten erhoben werden, sofern eine Möglichkeit besteht, dass eine Standortregion dadurch ein Ausschlusskriterium erfüllen bzw. eine Mindestanforderung nicht erfüllen könnte. Es ist denkbar, dass nicht zwangsläufig weitere Datenerhebungen überall zu mehr Klarheit bzgl. sicherheitsgerichteten Vor- oder Nachteilen führen werden. Für die Datenerhebungen ist vorgängig zu prüfen, was der Effekt zusätzlich erhobener Daten bzgl. Ausschluss oder Standortvergleich sein könnte. Diese Randbedingungen beeinflussen die Notwendigkeit, unterschiedliche Wissensstände auszugleichen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Verfahren mit deutlichen Unterschieden im Wissensstand gestartet ist, dass aber fehlendes Wissen nicht automatisch zum Ausschluss von Gebieten führen darf. Fehlendes Wissen ist so weit durch zu begründende Annahmen zu ergänzen bzw. durch Datenerhebungen zu vervollständigen, dass eindeutige sicherheitstechnische Einschätzungen bzgl. der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und Abwägungskriterien vorgenommen werden können. Folglich können zwischen einzelnen Standorten unterschiedliche Wissensstände bestehen bleiben, wenn dadurch der Standortvergleich nicht beeinträchtigt wird. Das Potenzial weiterer Datenerhebungen ist fallweise abzuklären.

3.6 Umgang mit Ungewissheiten

Ungewissheiten sind eine typische Eigenschaft wissenschaftlicher Daten. Je mehr Daten vorhanden sind, desto besser können auch deren Ungewissheiten charakterisiert und ggf. eingegrenzt werden. Es sollte frühzeitig im Verfahren festgelegt werden, wie mit Ungewissheiten umzugehen ist. So sollten bereits bei der Betrachtung der Ausschlusskriterien oder Mindestanforderungen oder beim Vergleich zwischen zwei Standorten hinsichtlich Abwägungskriterien neben den absoluten Werten immer auch die Ungewissheiten als Maß für die Zuverlässigkeit einer Aussage zu den Standorteigenschaften betrachtet werden.

Geologische Daten und Prozesse unterliegen Ungewissheiten unterschiedlichen Ursprungs:

- Aleatorische Ungewissheiten basieren auf einer natürlichen Schwankung geologischer Parameter und Prozesse. Hierbei liegt keine mangelnde Kenntnis vor, sondern eine intrinsische Heterogenität. Diese Ungewissheiten lassen sich durch weitere Datenerhebungen nicht bzw. nur bedingt verkleinern.
- Epistemische Ungewissheiten basieren auf einer beschränkten Wissensbasis. Diese Ungewissheiten lassen sich ggf. durch weitere Datenerhebungen weiter einschränken. Hierzu gehören methodische Ungewissheiten, die auf der Ungenauigkeit der Messmethode basieren. Solche Ungewissheiten können nur durch eine genauere Messmethode, sofern vorhanden, verringert werden.

Methodische Ungewissheiten sollten durch den Einsatz von Methoden gemäß aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik auf das technisch Erreichbare reduziert werden. Die am besten geeignete Methode zur Datenerhebung ist kontinuierlich zu hinterfragen. Das Erkennen von natürlichen Heterogenitäten erfordert, dass die methodische Ungewissheit kleiner als die aleatorische Ungewissheit ist. Epistemische Ungewissheiten sind nach Meinung der ESK zur abschließenden Beurteilung von Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen zu verringern, sofern methodisch möglich und für Ausschluss und Vergleich sinnvoll (Kap. 3.4).

Im Verfahren ist zu klären, wie mit einer Situation umgegangen wird, in der beispielsweise ein Standort im Referenzszenarium eine gute geologische Gesamtsituation aufweist, aber bei der Betrachtung von Szenarien eine hohe Bandbreite aufweist: Wie soll ein gutes Abschneiden im Referenzszenarium zusammen mit einer beschränkten Robustheit bewertet werden? An einem Standort kann beispielsweise ein gutes Wirtsgestein vorliegen, aber mögliche und vom Referenzszenarium abweichende Entwicklungen die Bildung hydraulischer Wege aufzeigen. In einem Standortvergleich wäre zu regeln, wie derartige Fälle gegenüber anderen Vor- und Nachteilen zu gewichten sind. Es ist zudem zu klären, ob so genannte Vergleichsgrößen zu definieren sind, die einen direkten Vergleich zwischen unterschiedlichen Standorten zulassen.

Aus Sicht der ESK sind Ungewissheiten systematisch auszuweisen und deren Einfluss auf die Erfüllung der Kriterien/Anforderungen aufzuzeigen. Die Art und das Ausmaß der Ungewissheiten sind eine wichtige Information bzgl. der Frage, inwiefern diese innerhalb des Verfahrens durch weitere Erkundungen und Datenerhebungen zu verringern sind (vgl. Kap. 3.5). Für das Verfahren ist zu regeln, in welcher Art die für die individuellen Standorte dokumentierten Ungewissheiten beim Standortvergleich zu berücksichtigen sind.

3.7 Optimierung und Verhältnismäßigkeit

Gemäß § 8 Strahlenschutzgesetz ist jede Exposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten (Optimierungsgebot). Gemäß § 26 StandAG und § 12 EndlSiAnfV ist die Optimierung abgeschlossen, wenn eine weitere Verbesserung der Sicherheit nur mit unverhältnismäßigem Aufwand erreicht werden kann. Diese Anforderungen werfen Fragen an das Verfahren auf, insbesondere wenn im Verfahren Entscheidungen gefällt worden sind, die sich im Nachhinein als unzulässig erweisen. Hier stellt sich die Frage, ob das Standortauswahlverfahren an den Punkt zurückspringen muss, an dem diese unzulässige Entscheidung getroffen worden ist.

Optimierung ist immer zielorientiert zu verstehen („bzgl. welchem Ziel wird optimiert?“). § 26 Abs. 3 StandAG gibt vor, dass die Anforderungen zum Sicherheitskonzept der Betriebs- und die Nachverschlussphase eines Endlagers schrittweise zu optimieren sind. Diese Optimierung ist mit klaren Zielen zu verbinden. In der EndlSiAnfV werden folgende Ziele genannt: „1. die Langzeitsicherheit des Endlagers, insbesondere die Qualität des sicheren Einschlusses der radioaktiven Abfälle und Robustheit des Endlagersystems, sowie 2. die Betriebssicherheit des Endlagers“. Die ICRP fordert „*optimisation below constraint*“ [ICRP 2006], wobei die „constraints“ keine Ziele darstellen, sondern Randbedingungen, die möglichst unterschritten werden sollten.

Bei der Optimierung können Zielkonflikte vorliegen, die frühzeitig erkannt werden sollten, da jede Phase des Standortauswahlverfahrens, aber auch der späteren Endlagerrealisierung, ihre spezifischen Ziele hat. So kann eine Optimierung in der Bauphase Konflikte in der Betriebsphase auslösen und eine Optimierung in der Betriebsphase wiederum ungünstige Effekte auf die Langzeitsicherheit haben. Hier sind die Prioritäten zu klären.

Auch bei gegenläufigen Auslegungszielen sind die Ziele zu priorisieren. So kann eine größere Teufe der Anlage besser vor langfristig auftretenden glazialen und oberflächennahen Prozessen das Endlager schützen. Je nach Wirtsgestein kann eine größere Teufe aber auch zu erhöhten Schwierigkeiten beim bergmännischen Auffahren der untertägigen Hohlräume führen. Diese Zielkonflikte sind ggf. wirtsgesteinsspezifisch und/oder standortspezifisch herauszuarbeiten und Lösungen anzustreben, die bei konkurrierenden Abwägungskriterien im Standortvergleich eine optimierte Sicherheit bewirken.

In Analogie zum Strahlenschutz ist bei der Optimierung möglichst umfassend abzuwägen („unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls“). Dabei ist zu klären,

- welcher Grad an Optimierung (Sicherheitsgewinn) im Verfahren effektiv erreicht wird,
- ob neben der Optimierung in einem Bereich auch Nachteile in anderen Bereichen verursacht werden,
- in welchem Maße die Optimierung einen Bereich weit unterhalb gesetzlicher Anforderungen betrifft,
- ob mit der Optimierung ggf. Personendosen des Betriebspersonals (z. B. aufgrund der Konditionierung und/oder Einlagerung) hypothetischen Dosen der Bevölkerung in ferner Zukunft (aufgrund möglicher Freisetzung aus dem Endlager) gegenübergestellt werden und

- welche zusätzlichen Risiken und Kosten damit verbunden sind.

Sicherheit kostet und die finanziellen Mittel für die Entsorgung sind endlich. Optimierungsmaßnahmen sind daher immer vor dem Hintergrund der zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel zu spiegeln. Es ist sicherzustellen, dass die Optimierung der Sicherheit an richtiger Stelle und zum richtigen Zeitpunkt erfolgt. Die Optimierung sollte gesamtheitlich betrachtet werden und der Optimierungsaufwand auf seine Verhältnismäßigkeit geprüft werden. Stellt sich beispielsweise heraus, dass ein Endlager in einem Untersuchungsraum mit einem weitaus geringeren Aufwand optimiert werden kann als in einem anderen, wären beide Untersuchungsräume dennoch als sicherheitstechnisch gleichwertig zu behandeln. Ohne die Betrachtung der Verhältnismäßigkeit birgt dies die Gefahr, dass Untersuchungsräume, die nur mit unverhältnismäßigem Optimierungsaufwand die Anforderungen erfüllen, nicht ausgeschlossen werden können. Folgerichtig legt auch die EndlSiAnfV in §12 Abs. 2 fest: „Die Optimierung ist abgeschlossen, wenn eine weitere Verbesserung der Sicherheit nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand erreicht werden kann.“

3.8 Rücksprünge

Im StandAG wird die Frage, wie genau ein „Standort mit der bestmöglichen Sicherheit“ zu ermitteln sei, durch einen prozeduralen Ansatz gelöst: Der Standort ist dadurch definiert, dass er aus dem Verfahren hervorgeht. Dies bedeutet, dass in bestimmten Schritten des Verfahrens für Untersuchungsräume aufgrund der gesetzlichen und untergesetzlichen Vorgaben Entscheidungen wissenschaftsbasiert und kriteriengeleitet getroffen werden. Dieser formale Ansatz trägt zur Verfahrenssicherheit bei, gleichzeitig muss er aber auch dem Anspruch des „selbsthinterfragenden lernenden“ Verfahrens und der Forderung nach Reversibilität (§ 1 Abs. 5 StandAG) genügen. Dadurch entsteht ein Spannungsfeld: Einerseits werden Verfahrenssicherheit und Vertrauen in einen Prozess angestrebt, der Verlässlichkeit aufgrund einmal anfangs festgelegter und dann auch für das Verfahren fixierter Kriterien anstrebt. Andererseits impliziert die Forderung, dass das Verfahren „lernend“ und „selbsthinterfragend“ ist, auch Änderungsmöglichkeiten für genau diese Kriterien.

Reversibilität impliziert die Möglichkeit von Rücksprüngen [KLHRA 2016], die beispielsweise durch signifikanten Erkenntniszuwachs oder bedeutende methodische Entwicklungen ausgelöst werden. Mögliche Beispiele für neue Erkenntnisse, die zu Rücksprüngen führen, könnten den Untersuchungsraum, sicherheitsrelevante Prozesse (oder nur Expertendissens bei deren Bewertung) betreffen. Bei methodischen Entwicklungen, die eine grundlegende Revision der Sicherheitskonzepte nahelegen, könnte der Fall auftreten, dass die revidierten Konzepte möglicherweise günstiger für Untersuchungsräume sind, die auf der Grundlage der vorherigen Konzepte bereits verworfen oder zurückgestellt wurden.

Damit ergibt sich als weitere Herausforderung die Frage nach den Kriterien für Rücksprünge. Gemäß StandAG soll ein Endlager in möglichst absehbarer Zeit errichtet werden. Dieses Ziel ist eindeutig sicherheitsgeleitet, da eine Perpetuierung der Zwischenlagerung vermieden werden soll. Entsprechend sollten Rücksprünge nicht zu Endlosschleifen führen, sondern allenfalls dann vorgenommen werden, wenn die Sicherheit gemäß den Sicherheitsanforderungen ernsthaft in Frage gestellt ist.

Mögliche Kriterien für einen Rücksprung könnten sein:

- Die begründete Erwartung, dass entgegen früherer Annahmen in Untersuchungsräumen die Sicherheitsanforderungen nicht erfüllt werden können, beispielsweise bei einer massiven Verschlechterung der Einschätzungen zur Robustheit der Untersuchungsräume. Abhängig von der jeweiligen Phase des Verfahrens (vgl. Anhang 1) müssten diese Rücksprünge eventuell dann erfolgen, wenn nur noch (zu) wenige Untersuchungsräume im Verfahren verblieben sind.
- Massive Änderungen der Einschätzungen zur Robustheit, die möglicherweise bereits verworfene Vorgehensweisen wieder attraktiver erscheinen lassen.

Aus Sicht der ESK sollten daher Kriterien für einen Rücksprung möglichst zeitnah festgelegt und kommuniziert werden.

4 Zusammenfassung der wesentlichen Aspekte beim Standortvergleich

Im Hinblick auf den notwendigen Standortvergleich bei der begonnenen Auswahl eines „Standortes mit der bestmöglichen Sicherheit für eine Anlage zurendlagerung nach § 9a Absatz 3 Satz 1 des Atomgesetzes in der Bundesrepublik Deutschland“ (StandAG) sieht die ESK eine Reihe von Herausforderungen und zu klarenden Aspekten, die im Folgenden zusammenfassend dargestellt sind.

- In Bezug auf die **Vorgehensweise bei den sicherheitsgerichteten Abwägungen** ist die ESK der Auffassung, dass bei jeder sicherheitsgerichteten naturwissenschaftlich-technischen Abwägung im Standortauswahlverfahren das Endlagersystem integral qualitativ und quantitativ betrachtet werden muss. Dabei müssen die sicherheitsgerichteten Abwägungen hohen Ansprüchen an die innere Logik der verwendeten Methodik wie auch an Transparenz und Nachvollziehbarkeit für alle Akteure genügen und subjektive (d. h. auf Expertenmeinung gegründete) Abwägungsentscheidungen als solche gekennzeichnet werden.
- Bei der **Abwägung auf der Basis von Sicherheitsuntersuchungen** empfiehlt die ESK eine Zusammenstellung von Indikatoren für verschiedene Sicherheitskonzepte im Hinblick auf ihre Aussagefähigkeit bzgl. Einschlussvermögen, Integrität und Robustheit sowie bzgl. ihrer universellen Anwendbarkeit angesichts unterschiedlicher Sicherheitskonzepte.

Die ESK regt an, die Sicherheitsuntersuchungen zur Klärung von Abhängigkeiten zwischen den in den Kriterien und diesbezüglichen Indikatoren betrachteten Sachverhalten wie auch zur Klärung des Einflusses der Sachverhalte auf Zielgrößen wie z. B. „erreichbare Qualität des Einschlusses“ (Einschlussvermögen), „zu erwartende Robustheit des Nachweises“ und „Absicherung des Isolationsvermögens“ (Integrität) zu verwenden.

Die ESK regt weiterhin an, die in den Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen betrachteten Sachverhalte auch in die Abwägung einfließen zu lassen: Auch wenn ein Untersuchungsraum nach Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen akzeptiert wird, bestehen Unterschiede hinsichtlich der diesbezüglichen Sicherheitsreserven und damit zumindest bezüglich der Robustheit.

- Die ESK sieht eine große Herausforderung beim **Vergleich von Endlagersystemen mit unterschiedlichen Sicherheitskonzepten**. Für Gebiete, bei denen kein ewG ausgewiesen werden kann, erfolgt die rechnerische Ableitung, welches Einschlussvermögen durch die technischen und geotechnischen Barrieren voraussichtlich erwartet werden kann. Wie diese rechnerischen Ergebnisse mit dem Abwägungskriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper bei Gebieten, bei denen ein ewG ausgewiesen werden kann, gegeneinander abgewogen werden kann, ist noch zu klären.
- Im **Umgang mit unterschiedlichen Wissensständen** stellt die ESK fest, dass das Verfahren mit deutlichen Unterschieden im Wissensstand gestartet ist, dass aber in Übereinstimmung mit den Forderungen des StandAG fehlendes Wissen nicht zum Ausschluss von Untersuchungsräumen führen darf. Informationsdefiziten ist so weit durch zu begründende Annahmen bzw. durch Datenerhebungen zu begegnen, dass eindeutige sicherheitstechnische Einschätzungen bzgl. der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und Abwägungskriterien vorgenommen werden können. Folglich können zwischen einzelnen Standorten unterschiedliche Wissensstände bestehen bleiben, wenn dadurch der Standortvergleich nicht beeinträchtigt wird. Das Potenzial weiterer Datenerhebungen ist fallweise abzuklären. Aus Sicht der ESK sind Ungewissheiten systematisch auszuweisen und deren Einfluss auf die Erfüllung der Kriterien/Anforderungen aufzuzeigen. Die Art und das Ausmaß der Ungewissheiten sind eine wichtige Information bzgl. der Frage, inwiefern diese innerhalb des Verfahrens durch weitere Erkundungen und Datenerhebungen anzugehen sind. Für das Verfahren ist zu regeln, in welcher Art die für die individuellen Standorte dokumentierten Ungewissheiten beim Standortvergleich zu verwenden sind.
- Aus Sicht der ESK sollte bei der **Optimierung** von einer gesamtheitlichen Betrachtung ausgegangen und die **Verhältnismäßigkeit** dem Optimierungsaufwand angepasst werden. Dies legt die EndlSiAnfV in § 12 Abs. 2 fest: „Die Optimierung ist abgeschlossen, wenn eine weitere Verbesserung der Sicherheit nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand erreicht werden kann.“
- Bezuglich möglicher **Rücksprünge** im Standortauswahlprozess ergibt sich als weitere Herausforderung die Frage nach den diesbezüglichen Kriterien. Gemäß StandAG soll ein Endlager in möglichst absehbarer Zeit errichtet werden. Dieses Ziel ist eindeutig sicherheitsgeleitet, da eine Perpetuierung der Zwischenlagerung vermieden werden soll. Entsprechend sollten Rücksprünge nicht zu Endlosschleifen führen, sondern allenfalls dann vorgenommen werden, wenn die Sicherheitsanforderungen ernsthaft in Frage gestellt sind. Die ESK empfiehlt daher, Kriterien für einen Rücksprung möglichst zeitnah festzulegen und zu kommunizieren.

5 Unterlagenverzeichnis

- [CoRWM 2006] Committee on Radioactive Waste Management: Managing our Radioactive Waste Safely. CoRWM's Recommendations to Government.
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/294118/700_-CoRWM_July_2006_Recommendations_to_Government_pdf.pdf
- [DBE Technology 2008] D. Buhmann et al., Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW, ISIBEL, FEP-Katalog für einen HAW-Standort im Wirtsgestein Salz, TEC-11-2008-AB
- [DCLGL 2009] Department for Communities and Local Government London (2009). Multi-criteria analysis: a manual. Wetherby
- [EndlSiAnfV] Artikel 1 Verordnung über Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (Endlagersicherheitsanforderungsverordnung – EndlSiAnfV) vom 06.10.2020 (BGBl. 14.10.2020 Teil I Nr. 45 S. 2094)
- [EndlSiUntV] Artikel 2 Verordnung über Anforderungen an die Durchführung der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen im Standortauswahlverfahren für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung – EndlSiUntV) vom 06.10.2020 (BGBl. 14.10.2020 Teil I Nr. 45 S. 2103)
- [GRS 2010] Abwägungsmethodik für den Vergleich von Endlagersystemen in unterschiedlichen Wirtsgesteinsformationen - Anleitung zur Anwendung der Abwägungsmethodik. Abschlussbericht zum Vorhaben 3607R02589 VerSi „Evaluierung der Vorgehensweise“. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3536, Köln, 2010
- [GRS 2013] Synthesebericht für die VSG Bericht zum Arbeitspaket 13 Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH GRS - 290, März 2013

- [GRS 2017] Weiterentwicklung einer Methode zum Vergleich von Endlagerstandorten in unterschiedlichen Wirtsgesteinsformationen.
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-478, ISBN 978-3-946607-61-8, Köln, 2017.
- [GRS 2020] Mönig, J.; Bertrams, N.; Bollingerfehr, W.; Fahland, S.; Frenzel, B.; Maßman, J.; Mayer, K.-M.; Müller-Hoeppe, N.; Reinhold, K.; Rübel, A.; Schubarth-Engelschall, N.; Simo, E.; Thiedau, J.; Weber, J.R.; Wolf, J., RESUS: Empfehlungen zur sicherheitsgerichteten Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien des StandAG - Synthesebericht.
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln, GRS-567, ISBN 978-3-947685-53-0, August 2020
- [ICRP 2006] The Optimisation of Radiological Protection - Broadening the Process.
ICRP Publication 101b. Ann. ICRP 36 (3)
- [KLHRA 2016] Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe gemäß § 3 Standortauswahlgesetz. ABSCHLUSSBERICHT
Verantwortung für die Zukunft - Ein faires und transparentes Verfahren für die Auswahl eines nationalen Endlagerstandortes
- [MABeSt 2020] Methoden für sicherheitsgerichtete Abwägungen und vergleichende Bewertungen im Standortauswahlverfahren (MABeSt) – Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln
Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Sicherheit, Vorhaben 4718F13001
- [Nirex 1998] L. E. F. Bailey and D. E. Billington, Overview of the FEP Analysis Approach to Model Development, NIREX SCIENCE REPORT S/98/009, United Kingdom Nirex Limited 1998
- [NTB 08-05] Nagra - Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Technischer Bericht NTB 08-05
„Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager - Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie. Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit“

- [NTB 14-01] Nagra - Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle:
SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2. Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Technischer Bericht NTB 14-01, Textband. Wettingen
- [OECD 2012] OECD/NEA (2012) Indicators in the Safety Case. A report of the Integrated Group on the Safety Case (IGSC). NEA/RWM/R(2012)7, Paris
- [Röhlig 2015] Röhlig (2015) Methodik (Multikriterienanalysen). Expertenbericht im Rahmen der Beurteilung des Vorschlags von mindestens zwei geologischen Standortgebieten pro Lagertyp, Etappe 2, Sachplan geologische Tiefenlager. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI)
- [SiAnf 2010] Bundesministerium für Umwelt, Natur und Reaktorschutz
Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle
Stand: 30.09.2010
- [SKB 1994] T. Eng, J. Hudson, O. Stevensson, K. Skagius and M. Wiborgh, Scenario Development Methodologies, SKB Technical Report 94-28, SKB, Stockholm, 1994
- [StandAG] Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz - StandAG), 05.05.2017
- [ZwiTeil 2020] Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG, Stand 28.09.2020
Bundesgesellschaft für Endlagerung

Anhang 1

Phasen der Standortwahl

Aus: Methoden für sicherheitsgerichtete Abwägungen und vergleichende Bewertungen im Standortauswahlverfahren (MABeSt) – Vorhaben 4718F13001
[MABeSt 2020]

Phase 1

In Phase 1 werden zunächst die Teilgebiete ermittelt und im weiteren Verlauf der Ermittlung werden die Teilgebiete in Standortregionen eingegrenzt.

§ 13 StandAG Phase 1A Ermittlung von Teilgebieten

VfS*	Beschreibung
13-1 Abs.2, Satz 1	Anwendung der geowissenschaftlichen Ausschlusskriterien nach § 22
13-2 Abs. 2, Satz 1	Anwendung der Mindestanforderungen nach § 23
13-3 Abs. 2, Satz 2	Anwendung und Abwägung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nach § 24
13-4 Abs. 2, Satz 4	Erarbeitung eines Zwischenberichtes
13-5 Abs. 2, Satz 3	Übermittlung des Zwischenberichtes an das BASE
13-6 § 9 Abs. 1, Satz 1	Einberufung der Fachkonferenz Teilgebiete durch das BASE

* VfS= Verfahrensschritte

Für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ergeben sich für jedes Gebiet drei mögliche Zuordnungen.

- 1 **eine „günstige“** geologische Gesamtsituation
- 2 **keine „günstige“** geologische Gesamtsituation
- 3 es liegen **keine hinreichenden Daten** vor bzw. ist aufgrund der Datenheterogenität zwischen einzelnen Gebieten kein Vergleich möglich

Für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien und die darauf basierende Bewertung der jeweiligen geologischen Gesamtsituation, ergeben sich hier verschiedene Fragestellungen bzw. Herausforderungen.

Herausforderungen:

1 Verfügbarkeit ausreichender Daten

- Der Datenumfang und die Datenqualität sind zwischen den Teilgebieten bzw. Standortregionen sehr unterschiedlich.

2 Wichtigkeit der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien untereinander

- Unterschiedliche Sicherheitskonzepte erfordern, je nach Wirtsgesteinstyp, eine unterschiedliche Gewichtung der Abwägungskriterien für eine günstige geologische Gesamtsituation, insbesondere dann, wenn das Wirtsgestein zu den wesentlichen Barrieren gehört.
- Das Gewicht der Abwägungskriterien wird für Endlagersysteme ohne ausweisbaren ewG verschieden gegenüber denjenigen mit ausweisbarem ewG sein. Bei Gebieten ohne ausweisbaren ewG sind die Abwägungskriterien auf den Einlagerungsbereich anzuwenden.
- Die Anwendung geowissenschaftlicher Abwägungskriterien setzt die Kenntnis/Erstellung wirtsgesteinsspezifischer Sicherheits- und Endlagerkonzepte voraus.
- Da in Phase 1 des StandAG eine Erstellung standortbezogener Konzepte nicht möglich ist, kann die Anwendung der Kriterien nach § 24 StandAG nur auf Grundlage generischer (vorläufiger) Konzepte für Teilgebiete erfolgen und damit nicht abschließend sein.

3 Anwendbarkeit aller geowissenschaftlichen Abwägungskriterien in der Phase 1

- Ein einzelnes Abwägungskriterium ist nicht ausreichend, um eine günstige geologische Gesamtsituation nachzuweisen oder abschließend bewerten zu können. Durch die heterogene und teils lückenhafte Datenlage ist die Berücksichtigung „aller“ Abwägungskriterien und die zuverlässige Einordnung einzelner Kriterien in eine Wertungsgruppe schwierig.
- Da detaillierte standortbezogene Kenntnisse flächendeckend nicht vorliegen und meist erst durch spezielle Erkundungsarbeiten im weiteren Verfahrensverlauf gewonnen werden können, sind viele der Abwägungskriterien nicht zu ermitteln.
- Im Verfahrensschritt nach § 13 StandAG sind keine vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen vorgesehen. Der überwiegende Teil der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien bezieht sich auf den ewG bzw. den Einlagerungsbereich. In dieser frühen Phase kann lediglich die Möglichkeit der Existenz eines ewG im Gesteinskörper ausgewiesen werden.

§ 14 StandAG Phase 1B Ermittlung von Standortregionen für die übertägige Erkundung

Die in § 13 StandAG ermittelten Teilgebiete werden in der Phase 1B (§ 14 StandAG) in Standortregionen mit günstigen geologischen Bedingungen zahlen- und flächenmäßig eingegrenzt. Diese werden dann später in Phase 2 übertägig erkundet.

VfS	Beschreibung
14-1 Abs. 1, Satz 2	Durchführung repräsentativer vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen nach § 27
14-2 Abs. 1, Satz 3	Erneute Anwendung und Abwägung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nach § 24 und Ermittlung günstiger Standortregionen
14-3 Abs. 1, Satz 4	Anwendung planungswissenschaftlicher Abwägungskriterien nach § 25
14-4 Abs. 2	Erarbeitung eines Vorschlages für die übertägig zu erkundenden Standortregionen
14-5 Abs. 1, Satz 5	Erarbeitung standortbezogener Erkundungsprogramme für die übertägige Erkundung
14-6 Abs. 3	Übermittlung des Vorschlages und der standortbezogenen Erkundungsprogramme an das BASE

Herausforderungen:

1 Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen

- Die Bewertung der Analyseergebnisse von repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen wird erschwert durch die unterschiedliche Verfügbarkeit von Daten für die Teilgebiete.
- Die in Phase 1 ermittelten Ergebnisse der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen sind aufgrund der geringen Kenntnisse zu den standortspezifischen geologischen Verhältnissen nur als orientierende Größe zu verstehen und lassen damit keine hinreichend robuste Sicherheitsaussage zu.
- Sind verschiedene Endlagerkonzepte für ein Wirtsgestein bzw. einen Untersuchungsraum möglich, so ist es erforderlich, verschiedene Varianten zur Auswahl von Standortregionen zu berücksichtigen (z. B. Streckenlagerung oder Bohrlochlagerung).

§ 15 StandAG Phase 1C Entscheidung über übertägige Erkundung und Erkundungsprogramme

Die von der BGE vorgeschlagenen standortbezogenen übertägigen Erkundungsprogramme für die durch Bundesgesetz ausgewählten Standortregionen, werden von der Base überprüft und festgelegt.

VfS	Beschreibung
15-1 § 7 Abs. 2, Punkt 1	Veröffentlichung des Vorschlags der BGE durch BASE (Start der Öffentlichkeitsbeteiligung).
15-2 Abs. 1, Satz 1	Prüfung des Vorschlags der BGE durch BASE
15-3 Abs. 2, Satz 1	Erarbeitung einer begründeten Empfehlung zum Vorschlag der BGE
15-4 Abs. 2, Satz 1	Übermittlung des Vorschlags einschließlich aller hierfür erforderlichen Unterlagen durch BASE an BMU
15-5 Abs. 3	Festlegung zum weiteren Verfahren mit den Gebieten, zu denen keine hinreichenden Informationen für die Anwendung der Kriterien nach den §§ 22 bis 24 vorliegen, wird durch Bundesgesetz bestimmt
15-6 Abs. 4	Prüfung der standortbezogenen Erkundungsprogramme zur übertägigen Erkundung für die durch Bundesgesetz ausgewählten Standortregionen und Festlegung sowie Veröffentlichung im Bundesanzeiger durch BASE

Herausforderungen:

Die Herausforderungen entsprechen im Wesentlichen den Ausführungen §13 Phase 1A und §14 Phase 1B. Allerdings betreffen diese in Phase 1C das BASE.

Phase 2

In Phase 2 werden die übertägigen Erkundungsprogramme durchgeführt und die Standortregionen (Fläche und Anzahl) auf Standorte für die untertägige Erkundung eingegrenzt.

Ab der Phase 2 ist es möglich, aus Sicherheitsuntersuchungen bestimmte Sicherheitsindikatoren bzw. deren Konsequenzen abzuleiten.

§ 16 StandAG Phase 2A Übertägige Erkundung und Vorschlag für untertägige Erkundung

Die BGE ist für die Durchführung und Auswertung der übertägigen Erkundungsprogramme und die Vorbereitung der untertägigen Erkundungen zuständig.

VfS	Beschreibung
16-1 Abs. 1, Satz 1	Übertägige Erkundung der Standortregionen
16-2 Abs. 1, Satz 2	Durchführung weiterentwickelter vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen
16-3 Abs. 1, Satz 3	Durchführung sozioökonomischer Potenzialanalysen (söP) für die Standortregionen.
16-4 Abs. 2, Satz 1	Erneute Anwendung der Anforderungen und Kriterien (§§ 22 bis 23)
16-5 Abs. 2, Satz 1	Erneute Anwendung und Abwägung der Abwägungskriterien nach § 24 zur Ermittlung günstiger Standorte
16-6 Abs. 2, Satz 2	Anwendung der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien nach den Vorgaben in § 25
16-7 Abs. 3	BGE erarbeitet Vorschlag für die untertägig zu erkundenden Standorte
16-8 Abs. 2, Satz 3	Erarbeitung von Erkundungsprogrammen und Prüfkriterien für die untertägige Erkundung der in VfS 16-7 ermittelten Standorte
16-9 Abs. 3, Abs. 4	BGE übermittelt seinen Vorschlag für die untertägig zu erkundenden Standorte und die entsprechenden Erkundungsprogramme und Prüfkriterien an das BASE.

Herausforderungen:

1 Abwägungen und/oder vergleichende Bewertungen der genannten Verfahrensschritte

- Es wird davon ausgegangen, dass zur Anwendung der Anforderungen und Kriterien alle Informationen durch die übertägige Erkundung erhoben werden können. Auf die möglichen Probleme, die aufgrund unzureichender Daten zur Anwendung der Anforderungen und Kriterien entstehen können, wird im §16 StandAG nicht hingewiesen.
- Im StandAG ist kein Zeitpunkt festgelegt an dem die Ergebnisse der sozioökonomischen Potentialanalysen im Verfahrensablauf nach § 16 StandAG berücksichtigt werden sollen.
- Ob und, wenn ja, die von der BGE dargestellten Ergebnisse möglicher Umweltauswirkungen und sonstiger Auswirkungen eines Endlagervorhabens in die Auswahl von Endlagerstandorten für die untertägige Erkundung eingehen sollen, ist nicht festgelegt.

2 Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

- Die Robustheit der Sicherheitsaussage und die Sicherheit des Endlagersystems müssen in der Abwägung ebenso herausgestellt werden, wie die weiterhin bestehenden Ungewissheiten bei der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien und bei der Durchführung der Sicherheitsuntersuchungen.

3 Einschätzung der Erfüllung der Sicherheitsanforderungen

- Der Umfang und die Tiefe der Prüfungen der weiterentwickelten vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen werden in Phase 2 erheblich umfangreicher. In den weiterentwickelten Endlagerkonzepten müssen die jeweils vorliegenden geologischen Bedingungen in den Standortregionen berücksichtigt werden

4 Anwendung der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien

- Die planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien werden erneut angewendet. Durch die relativ langen Verfahrenslaufzeiten zwischen den Phasen und währenddessen, könnten sich neue bzw. veränderte planungswissenschaftliche Festlegungen ergeben. Gebiete, die als Standort mit bestmöglichlicher Sicherheit für die Endlagerung in Betracht kommen, müssen vor Veränderungen geschützt werden, die ihre Eignung als Endlagerstandort beeinträchtigen könnten.
- Wenn es keine Standortkandidaten mit einer vergleichbaren sicherheitstechnischen Eignung gibt, muss neben den planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien methodisch klar festgelegt werden ob, bzw. mit welchem Gewicht die Ergebnisse der sozioökonomischen Potenzialanalysen in einer Gesamtabwägung unter dem Primat der Sicherheit berücksichtigt werden können.

§ 17 StandAG Phase 2B Festlegung Standorte für die untertägige Erkundung

Der Vorschlag der BGE wird unmittelbar nach Übermittlung an das BASE veröffentlicht. Das BASE initiiert die Öffentlichkeitsbeteiligung. Anschließend überprüft das BASE den Vorschlag der BGE für die untertägig zu erkundenden Standorte und muss die durchgeführten Arbeiten zur Identifizierung der günstigen Standorte nachvollziehen können.

VfS	Beschreibung
17-1 § 7 Abs. 2, Punkt 2	Das BASE veröffentlicht den Vorschlag der BGE (nach § 16 Abs. 3)
17-2 Abs. 1, Satz 1	Prüfung des Vorschlags (nach § 16 Abs. 3)
17-3 Abs. 2, Satz 1	Auswertung der Ergebnisse des Beteiligungsverfahrens, einschließlich der Beratungsergebnisse des NBG und Erarbeitung einer begründeten Empfehlung zum Vorschlag der BGE
17-4 Abs. 3	Feststellung durch Bescheid des BASE, ob das bisherige Standortauswahlverfahren nach den Regelungen des StandAG durchgeführt wurde und der Auswahlvorschlag diesen entspricht
17-5 Abs. 2, Satz 1	Übermittlung des Vorschlags der BGE (nach § 16 Abs. 3) und zusätzlicher Unterlagen an das BMU
17-6 Abs. 2, Satz 3 und Satz 4	Unterrichtung des Deutschen Bundestags und des Bundesrates über Standorte, die untertägig erkundet werden sollen. Bestimmung der untertägig zu erkundenden Standorte durch Bundesgesetz
17-7 Abs. 4	Das BASE prüft die standortbezogenen Erkundungsprogramme und Prüfkriterien zur untertägigen Erkundung für die durch Bundesgesetz ausgewählten Standorte, legt diese fest und veröffentlicht sie sowie Änderungen im Bundesanzeiger

Herausforderungen:

- Um die Plausibilität, Belastbarkeit und Nachvollziehbarkeit des Ergebnisses prüfen zu können, muss das BASE im Rahmen der Prüfaufgaben die Möglichkeit haben, eigene Abwägungen und/oder Vergleiche anstellen zu können.
- Ob und in welchem Maße die Ergebnisse der Öffentlichkeitsbeteiligung und die Beratungsergebnisse des NBG in die begründete Empfehlung des BASE zum Vorschlag der BGE einfließen werden, ist noch unklar.
- Aus der Öffentlichkeitsbeteiligung können Einwendungen kommen, die seitens des BASE zu Abwägungen und/oder zu vergleichenden Bewertungen unterschiedlicher Untersuchungsräume führen können.

Phase 3

In der Phase 3 werden die untertägigen Erkundungsprogramme durchgeführt und der Standortvorschlag durch die BGE erarbeitet. Abschließend erfolgt die Bewertung des Standortvorschlags durch das BASE und die Standortentscheidung durch Bundestag/Bundesrat.

§ 18 StandAG Phase 3A Untertägige Erkundung und Standortvorschläge

Der Verfahrensablauf von der untertägigen Erkundung bis zum Vorschlag eines Standorts durch die BGE und der nachfolgenden Umweltverträglichkeitsprüfung durch das BASE wird festgelegt.

VfS	Beschreibung
18-1 Abs. 1, Satz 1	Untertägige Erkundung der durch Bundesgesetz ausgewählten Standorte
18-2 Abs. 1, Satz 2	Durchführung umfassender vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen nach § 27
18-3 Abs. 1, Satz 2	Erstellung eines UVP-Berichts, nach § 16 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung
18-4 Abs. 2, Satz 1	Anwendung der Prüfkriterien sowie eine erneute Anwendung der Anforderungen und Kriterien (§§ 22 und 23)
18-5 Abs. 2, Satz 1	Erneute Anwendung und Abwägung der Abwägungskriterien nach § 24
18-6 Abs. 2, Satz 2	Anwendung der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien nach § 25
18-7 Abs. 3, Satz 2	Erarbeitung eines Standortvorschlages nach § 18 Abs. 3 auf der Grundlage einer vergleichenden Bewertung der zu betrachtenden Standorte
18-8 Abs. 3, Satz 1 und 2	Übermittlung des Standortvorschlags für ein Endlager mit Begründung an das BASE
18-9 Abs. 3, Satz 3	Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung durch BASE

Herausforderungen:

In Phase 3 werden die methodischen Aspekte einer vergleichenden Bewertung als wesentliche Herausforderung angesehen. Die methodischen Herausforderungen wurden zwar aufgrund der Datenungewissheiten verkleinert, aber es bestehen dennoch Ungewissheiten aufgrund der zukünftigen (wirtsgesteinsspezifischen) Entwicklung der Endlagersysteme (Szenarien-Entwicklung). Diese müssen in einer vergleichenden Bewertung berücksichtigt werden.

Für die ausgewählten Standorte werden vom BASE Umweltverträglichkeitsprüfungen veranlasst.

Wie die Ergebnisse der Prüfungen bei der Auswahl von Endlagerstandorten berücksichtigt werden sollen, ist im StandAG nicht festgelegt.

1 Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

- Die Datenlage für die vollständige Anwendbarkeit aller Anforderungen und Kriterien muss spätestens zu diesem Zeitpunkt gegeben sein. Aufgrund von Bandbreiten ergeben sich aber nach wie vor Ungewissheiten die für einige Parameter ausgewiesen werden müssen (z. B. Porosität).
- Bei Standorten bei denen kein ewG ausgewiesen werden kann, muss anstelle der Mindestanforderungen und Abwägungskriterien bei Standorten, ein rechnerischer Nachweis des Einschlussvermögens der technischen und geotechnischen Barrieren geführt werden. Die entsprechende Methodik ist noch festzulegen.
- Auswahlkriterien (geowissenschaftliche Abwägungskriterien) können zwar mögliche Standorte aufzeigen, sind aber für sich alleine nicht geeignet abschließend die Sicherheit eines Endlagers

festzustellen. Dieser sicherheitsgerichtete Vergleich muss auf Basis von Sicherheitsindikatoren erfolgen.

2 Einschätzung der Erfüllung der Sicherheitsanforderungen

- Bei nachfolgenden Sicherheitsuntersuchungen müssen Fortentwicklungen des Standes von Wissenschaft und Technik berücksichtigt werden, da die Durchführung des Standortauswahlverfahrens eine lange Dauer benötigt.

3 Vergleichende Bewertung der zu betrachtenden Standorte

- Sollten in Phase 3 Standorte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen verbleiben, ist die größte Herausforderung der vergleichenden Bewertung die Vergleichbarkeit der Endlagersysteme in unterschiedlichen Wirtsgesteinen.

§ 19 StandAG Phase 3B Abschließender Standortvergleich und Standortvorschlag

Nachdem das BASE den Standortvorschlag der BGE veröffentlicht hat wird der Standortvorschlag einschließlich des zugrunde liegenden Standortvergleichs von mindestens zwei Standorten überprüft. Auf Grundlage des Ergebnisses dieser Prüfung und unter Abwägung sämtlicher privater und öffentlicher Belange sowie der Ergebnisse des Beteiligungsverfahrens, bewertet das BASE welcher Standort die bestmögliche Sicherheit bietet.

Ob das durchgeführte Standortauswahlverfahren nach den Regelungen des StandAG durchgeführt wurde und ob der Standortvorschlag diesen entspricht, legt das BASE durch einen Bescheid fest.

Nachdem das BASE den Standortvorschlag erarbeitet hat, wird der Vorschlag einschließlich aller erforderlichen Unterlagen an das BMU übermittelt.

VfS	Beschreibung
19-1 § 7 Abs. 2, Punkt 3	Das BASE veröffentlicht den Standortvorschlag (gemäß § 18 Abs. 3)
19-2 Abs. 1, Satz 1, Satz 2	BASE prüft den Vorschlag der BGE gemäß § 18 Abs. 3 und bewertet welcher der Standorte der mit der bestmöglichen Sicherheit ist
19-3 Abs. 2, Satz 3	Das BASE stellt durch Bescheid fest, ob das bisherige Standortauswahlverfahren nach den Regelungen dieses Gesetzes durchgeführt wurde und der Standortvorschlag diesen entspricht
19-4 Abs. 1, Satz 3 und 4	Erarbeitung eines Standortvorschlages
19-5 Abs. 2, Satz 1	Übermittlung des Standortvorschlags einschließlich aller hierfür erforderlichen Unterlagen durch BASE an BMU

Herausforderungen:

- Die Herausforderungen in Bezug auf die Abwägungen und/oder vergleichenden Bewertungen entsprechen im Wesentlichen den Ausführungen im § 18 Phase 3A.
- Die Ergebnisse des Beteiligungsverfahrens für eine sicherheitsgerichtete Bewertung bzw. Abwägung der Standorte untereinander sowie die Gewichtung / Bedeutung öffentlicher und privater Belange ist noch zu klären.

§ 20 StandAG Phase 3C Standortentscheidung durch Bundestag und Bundesrat

Der Verfahrensablauf wird bis zur endgültigen Standortfestlegung durch ein Bundesgesetz festgelegt.

Der Standortvorschlag des BASE wird in Form eines Gesetzentwurfs dem Deutschen Bundestag und dem Bundesrat von der Bundesregierung vorgelegt.

Zusätzlich wird ein zusammenfassender Bericht über die Ergebnisse des Standortauswahlverfahrens und die Ergebnisse des Beteiligungsverfahrens einschließlich der Beratungsergebnisse des Nationalen Begleitgremiums beigefügt.

Durch Bundesgesetz wird über die Annahme des Standortvorschlags entschieden.

Das Genehmigungsverfahren für die Errichtung, den Betrieb und die Stilllegung des Endlagers ist anschließend verbindlich.

VfS	Beschreibung
20-1 Abs. 1, Satz 1	Die Bundesregierung legt dem Deutschen Bundestag und dem Bundesrat den Standortvorschlag in Form eines Gesetzentwurfs vor
20-2 Abs. 2	Über die Annahme des Standortvorschlags wird durch Bundesgesetz entschieden
20-3 Abs. 3	Auf der Grundlage dieser Entscheidung ist die Eignung des Vorhabens im Genehmigungsverfahren vollumfänglich zu prüfen

Herausforderung:

- Im anschließenden Genehmigungsverfahren ist die Eignung des Vorhabens vollumfänglich zu prüfen.
- Gegebenenfalls muss festgelegt werden, nach welchen Verfahren ein Rücksprung erfolgt, sollte sich der ausgewählte Standort im Genehmigungsverfahren wider Erwarten als ungeeignet herausstellen.