

## **Stellungnahme zu ausgewählten Aspekten des Konzeptes und der Methodenbeschreibung zur Durchführung repräsentativer vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen**

### Veranlassung

Ende März 2022 wurde durch die Bundesgesellschaft für Endlagerung ein Konzept zur Durchführung repräsentativer vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen im Rahmen des Standortauswahlverfahrens für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle veröffentlicht. Das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie nimmt als Staatlicher Geologischer Dienst von Niedersachsen zu diesem Konzept Stellung.

### Einleitung

Das „Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“ (BGE 2022a) wird ergänzt durch die Anlage „Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“ (BGE 2022b). Anhand von vier ausgewählten Teilgebieten (Gebiete zur Methodenentwicklung, GzME) wurden Methoden zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen für die möglichen Wirtsgesteinstypen „Steinsalz in steiler Lagerung“, „Steinsalz in flacher Lagerung“, „Tongestein“ und „kristallines Wirtsgestein“ entwickelt (BGE 2022a). Die Ergebnisse wurden vom 28. März bis 1. April 2022 in fünf Videokonferenzen vorgestellt, der Stand der Arbeiten auf dem Forum Endlagersuche am 20. und 21. Mai 2022 präsentiert und von der Fachöffentlichkeit und der interessierten Öffentlichkeit diskutiert.

Es handelt sich um einen Arbeitsstand der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE). Die dargestellte Methodik soll bis zum Abschluss der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) weiterentwickelt werden (BGE 2022a). Für eine vollumfängliche Würdigung des Konzeptes sind die Methoden vielfach noch nicht abschließend oder nicht hinreichend konkret beschrieben bzw. angewendet worden. Dem folgend ist eine abschließende Bewertung seitens des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich.

Die vorliegende Stellungnahme befasst sich mit ausgewählten geowissenschaftlichen Aspekten der vorgestellten Methodik und klammert Sachverhalte, die nicht durch die Expertise des LBEG abgedeckt werden, aus. Dies sind insbesondere Aspekte des Abfallinventars, der technischen Endlagerkonzeption sowie der Betriebssicherheit.

### Fachliche Auseinandersetzung

Im Folgenden wird auf Aspekte des Konzeptes und der Methodenbeschreibung eingegangen, die aus Sicht des LBEG für die Durchführung der rvSU bei der wissenschaftsbasierten Ermittlung von Standortregionen von besonderer Bedeutung sind.

### Grundsätzliche Anmerkungen

Das Konzept (BGE 2022a) beschreibt schlüssig und nachvollziehbar die übergeordneten Ziele der Methodenentwicklung zur Durchführung der rvSU anhand der in der Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndlSiUntV) festgelegten Inhalte. Die Methodenbeschreibung bietet ergänzend eine „vertiefte Darstellung der im rvSU-Konzept (BGE 2022a) übergeordnet beschriebenen Methoden“ (BGE 2022b). Beide Dokumente umfassen zusammen mehr als 800 Seiten.

Während die Methodik an jeweils einem Modellgebiet für die verschiedenen möglichen Wirtsgesteine entwickelt wurde (BGE 2022a), orientiert sich die Methodenbeschreibung in der Anlage (BGE 2022b) an den Paragraphen der EndSiUntV. Dies sowie der komplexe Aufbau der Anlage erschweren die Nachvollziehbarkeit der jeweiligen Ausführungen (siehe dazu auch die Hinweise in den Stellungnahmen verschiedener SGD, bspw. LAGB (2022), LUNG (2022), LBGR (2022), LGRB (2022), LFU (2022)). Für Fortschreibungen der Methodik zur Durchführung der rvSU wird eine zusammenhängende, übersichtlichere und nachvollziehbarere Darstellung mit Bezug zu den jeweiligen Modellgebieten und Wirtsgesteinstypen empfohlen.

Aus den vorliegenden Dokumenten ist nicht ersichtlich, wie die BGE-interne Qualitätssicherung während der Anwendung der vorgestellten Methodenteile erfolgt ist. Es wäre wünschenswert, diese Information in zukünftige Publikationen zur Standortauswahl aufzunehmen. Ergänzend zu einer solchen Darstellung der Vorgehensweise bei der internen Qualitätssicherung erscheint es in Anbetracht der Bedeutung des Verfahrens geboten, nach wesentlichen Schritten des wissenschaftsbasierten Standortauswahlverfahrens (StandAV) ein anonymisiertes Peer-Review durchzuführen, das sich an den bewährten Standards wissenschaftlicher Publikationspraxis orientiert. Darüber hinaus wird eine Auseinandersetzung mit den Ergebnissen der Fachkonferenz Teilgebiete und den Stellungnahmen der staatlichen geologischen Dienste (SGD) der einzelnen Bundesländer sowie weiterer fachlicher Kritik im Zusammenhang mit der Veröffentlichung des Zwischenberichts Teilgebiete vermisst. Im Sinne eines transparenten Verfahrens wäre eine Darstellung der Berücksichtigung der Ergebnisse der Fachkonferenz gemäß § 9 Abs. 2 StandAG zusammen mit der Vorstellung der Methodik zu den rvSU als nächstem Arbeitsschritt im StandAV geboten gewesen.

### Handhabbare Fläche

Im Konzept wird ausgeführt, „um die übertägige Erkundung in Phase II zielführend zu gestalten“, sei „es erforderlich eine Anzahl von Standortregionen mit einer für die übertägige Erkundung handhabbaren Fläche auszuweisen. Dies erfordert eine deutliche Einengung der Standortregionen im Vergleich zur Anzahl und Größe der Teilgebiete“ (BGE 2022a). Diese Zielvorgabe ist zwar grundsätzlich nachvollziehbar, darf aber nicht Maßstab des Handelns oder des Entscheidungsprozesses sein. Die Anzahl und Größe von Standortregionen muss sich aus deren potentieller Eignung ergeben. Es wäre wünschenswert, wenn die Vorstellung von einer „handhabbaren Fläche“ (BGE 2022a) und infolge dessen der Anzahl und Größe von Standortregionen öffentlich zur Diskussion gestellt würde. Das StandAG enthält dazu keine konkreten Vorgaben; umso wichtiger erscheint eine öffentliche, wissenschaftsbasierte Diskussion dieses Sachverhalts.

### Ausschlusskriterien Seismische Aktivität und Großräumige Vertikalbewegungen

In Kapitel 5.5 der Anlage (BGE 2022b, Blatt 281) wird dargestellt, dass keine weiterentwickelte Anwendung der Ausschlusskriterien Seismische Aktivität und Großräumige Vertikalbewegungen stattfindet. Aus der Darstellung geht nicht hervor, ob die Anwendung dieser Kriterien für die Phase 1 oder das gesamte Standortauswahlverfahren als abgeschlossen angesehen wird.

Insbesondere die Veröffentlichung des aktualisierten nationalen Anhangs zur DIN EN 1998-1 könnte im Sinne des lernenden Verfahrens und einer kontinuierlichen Orientierung am sich weiterentwickelnden Stand von Wissenschaft und Technik im aktuellen Schritt des Verfahrens berücksichtigt werden. Darauf geht auch der Entwurf des Bundesumweltministeriums zur Vorgehensweise zum Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“ (BMUV 2022) ein.

### Auswahl der Gebiete zur Methodenentwicklung

Die BGE hat sich dafür entschieden, die Methodenentwicklung mit dem Ziel einer einheitlichen, übergeordneten Vorgehensweise zur Durchführung der rvSU an vier ausgewählten Gebieten zur Methodenentwicklung vorzunehmen (BGE 2022a). Dieser Ansatz ist grundsätzlich nachvollziehbar. Offen bleibt, ob die in den jeweiligen GzME entwickelte Methodik vollständig auf einzelne oder alle anderen Teilgebiete im gleichen Wirtsgestein übertragbar ist und dort alle wesentlichen Aspekte abdeckt. Andere Teilgebiete können Eigenschaften aufweisen, die in den Gebieten zur Methodenentwicklung nicht zum Tragen kommen. Für Tongesteine wären das z. B. hohe Inkohlungswerte oder ein variabler Verfestigungsgrad.

Auf das GzME Salzstock Bahlburg wird auf Seite 14 ff. eingegangen.

### Teiluntersuchungsräume und Kategorisierung

Der Ansatz der BGE, große Teilgebiete in Teiluntersuchungsräume (TUR) zu unterteilen, erscheint nachvollziehbar. Die Abgrenzung solcher Teiluntersuchungsräume sollte anhand geologischer Kriterien wie z. B. Lithologie, Stratigraphie, Hydrogeologie, Tektonik oder Genese nachvollziehbar begründet werden.

Die als Teilgebiete ausgewiesenen stratigraphischen Einheiten sollen unter Verwendung der vorhandenen Bohrungsinformationen nach lithologischen Kriterien charakterisiert und bei Bedarf in mehrere Teiluntersuchungsräume differenziert werden. Dieses Vorgehen ist grundsätzlich zu begrüßen, da erst durch die Berücksichtigung der Lithologie die jeweiligen geowissenschaftlichen Kriterien zielgerichtet angewendet werden können. Es wird empfohlen, klarzustellen, auf welcher Grundlage die Differenzierung in Teiluntersuchungsräume erfolgt. In Kapitel 5 der Methodenbeschreibung werden beispielsweise technische Gründe angeführt (Blatt 225), in Kapitel 7 des Konzepts geowissenschaftliche Gründe (Blatt 18).

Auch der in den Unterlagen dargestellte prozessuale Ansatz der rvSU, durch den über verschiedene Prüfschritte am Ende die Teilgebiete bzw. Teiluntersuchungsräume in die Kategorien A-D eingestuft werden sollen, ist grundsätzlich nachvollziehbar. Derzeit bleibt allerdings offen, wie dies im Einzelfall vollumfänglich aussehen wird, da hierzu konkrete Beispiele, die den kompletten Ablauf von A-D abdecken, fehlen. Es wäre zu erwarten gewesen, dass zumindest in den GzME die gesamte Methodik einmal komplett durchgespielt wurde. Dass dies nicht der Fall ist, erschwert die Beurteilung der Methodik.

Es wird erwartet, dass die jeweilige Datenbasis sowie die zugrundeliegenden Annahmen zur Einstufung von Gebieten in die Kategorien A bis D detailliert dargestellt werden. Insbesondere die Verwendung von Analogieschlüssen oder die erneute Nutzung von Referenzdaten sollten unter Berücksichtigung der Hinweise aus den Stellungnahmen zum Zwischenbericht Teilgebiete und der Fachkonferenz Teilgebiete gerechtfertigt sein und belastbar begründet werden.

Vor Verwendung von Referenzdaten sollte sorgfältig geprüft werden, ob zum einen bisher nicht genutzte, möglicherweise auch nur analog vorliegende ortsspezifische Daten vorhanden sind und zum anderen die Referenzdatensätze für das entsprechende Gebiet geeignet sind. Das heißt im Besonderen, abzuschätzen, ob die jeweiligen Referenzdaten, bezogen auf den Anwendungsfall, aus der gleichen Lithologie mit vergleichbarer mineralogischer Zusammensetzung stammen und ähnliche physikalisch-chemische Eigenschaften erwarten lassen. Außerdem sollten Teufen- und Temperaturbereich sowie die Genese des Referenzgesteins mit der des zu betrachtenden Gesteins möglichst vergleichbar sein. Es wird empfohlen, diese Punkte ausführlich zu dokumentieren und anschließend öffentlich zur Diskussion zu stellen.

Die Einstufung von Gebieten in die Kategorie D soll anhand einer erneuten Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen nach den §§ 22 und 23 StandAG erfolgen (BGE 2022a). Dabei soll vom im Zwischenbericht Teilgebiete angewendeten stratigraphischen zu einem lithologischen Ansatz (BGE 2020b, Blatt 264) übergegangen werden. Zudem ist beabsichtigt, zu prüfen, „ob Hinweise oder ggf. neue Informationen zu den Mindestanforderungen in den Teilgebieten vorliegen, die während der Bearbeitung in Schritt 2 berücksichtigt werden müssen“ (BGE 2022b, Blatt 72). An dieser Stelle sei bspw. auf die Stellungnahmen verwiesen, die von verschiedenen SGD im Rahmen der Verfahren nach § 21 StandAG angefertigt wurden. Sie können in diesem Zusammenhang wertvolle Informationen liefern und könnten von der BGE bei den jeweiligen SGD oder zentral beim Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) abgefragt werden.

Anmerkungen im Detail:

- In Kapitel 5.4.1 der Anlage (BGE 2022b, Blatt 265) wird ausgeführt, dass zur erneuten Anwendung der Mindestanforderung *Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* gem. § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG mindestens 100 m mächtige lithologische Einheiten der in Frage kommenden Wirtsgesteine ausgewiesen werden sollen. Es wird dargestellt, dass ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich (ewG) nur in „homogenen und mindestens 100 m mächtigen Gesteinsformationen“ (BGE 2020b, Blatt 265) sicher ausgewiesen werden könne. Für die Operationalisierung innerhalb der rvSU ist es erforderlich, frühzeitig einheitliche, jeweils wirtsgesteinsspezifische Kriterien zur Ausweisung einer Schichtfolge als homogen bzw. heterogen zu entwickeln, um die Erfüllung der Mindestanforderung nachvollziehbar beurteilen und das Ergebnis reproduzierbar darstellen zu können. Es wird vorgeschlagen, diese Kriterien darüber hinaus in der (Fach-)Öffentlichkeit zur Diskussion zu stellen, bevor dieser Arbeitsschritt auf alle Teilgebiete angewendet wird.
- Konkret sollte ausgeführt werden, ab welcher Mächtigkeit von Zwischenlagen Gesteinsformationen als heterogen angesehen werden. Beispielsweise können mächtige Vorkommen von Tongestein durch Fazieswechsel von siltigen oder sandigen Zwischenlagen unterbrochen werden, die aber nur geringe Mächtigkeiten und unter Umständen eine lokal begrenzte Verbreitung aufweisen.
- Die Auflösung und Aussagekraft der jeweils verfügbaren Daten sollte berücksichtigt und bewertet werden. Zur Veranschaulichung sei der Unterschied zwischen älteren bohrlochgeophysikalischen Messungen, aktuellen Bohrlochlogs und Schichtenverzeichnissen angeführt.
- Zur Auswertung von Bohrlochmessungen existieren verschiedene Formeln bzw. Verfahren, deren Anwendung für Parameter wie z. B. den Tongehalt zu jeweils unterschiedlichen Ergebnissen führt. Diese Ergebnisse hätten dann einen signifikanten Einfluss auf die Einstufung und damit den Verbleib eines Gebietes im Standortauswahlverfahren. Es wird erwartet, dass die zugrundeliegenden Methoden, nachdem sie öffentlich zur Diskussion gestellt wurden, nachvollziehbar und einheitlich verwendet werden, um zu vergleichbaren Ergebnissen zu kommen.

Mit Blick auf diese konkreten Anmerkungen ist festzuhalten, dass vor der Kategorisierung von Untersuchungsräumen oder Teiluntersuchungsräumen die o.g. Konkretisierung und Operationalisierung der Kriterien erfolgen und öffentlich zur Diskussion gestellt werden sollte. Es ist sicherzustellen, dass diese Einstufung nach objektiven Kriterien und damit reproduzierbar stattfindet.

Eine Einstufung von Gebieten in Kategorie C erfolgt anhand der Bewertung des sicheren Einschlusses nach den Anlagen 1 bis 4 zu § 24 Abs. 3 StandAG sowie weiteren, z. B. bautechnischen Aspekten (BGE 2022b, Blatt 429). Dieses Vorgehen ist grundsätzlich nachvollziehbar.

Im Konzept (BGE 2022a, Blatt 17) wird dargestellt: „Kategorie C enthält Bereiche, die auf Grund der qualitativen oder quantitativen Bewertung ungeeignet sind oder keine überwiegend gute Bewertung vorweisen“. Diese Formulierung legt den Schluss nahe, dass zunächst die Erfüllung aller zuvor aufgeführten Kriterien entweder als gut oder als „nicht geeignet klassifiziert werden. Anschließend würde bewertet, ob entweder ein Gebiet hinsichtlich der Kriterien insgesamt als ungeeignet eingestuft oder die Mehrzahl der Kriterien in einem Gebiet als mit gut bewertet werden. Im ersten Fall würden die Kriterien, die im Ergebnis als ungeeignet erfüllt bewertet wurden, faktisch zu Ausschlusskriterien.

Das bedeutet, dass alle Kriterien einerseits identisch gewichtet werden und andererseits die durch das StandAG vorskizzierte Bewertung „günstig“, „bedingt günstig“ und „weniger günstig“ bzw. „ungünstig“ außer Kraft gesetzt wird. Es sollte erläutert werden, wie die Einstufung in Kategorie C im Verhältnis zu den Einstufungen nach StandAG, bezogen auf die jeweiligen Kriterien, zu verstehen ist. Weiter sollte ersichtlich werden, ob die Aussage „ungeeignet“ gleichzusetzen ist mit den Bewertungen „weniger günstig“ oder „ungünstig“ im StandAG. Es wird vorgeschlagen, sich bei der Einstufung in die Kategorie C aus Gründen der Nachvollziehbarkeit am Wortlaut des StandAG zu orientieren. Demzufolge sind bei der Anwendung der GeoWK nur die Bewertungen günstig, bedingt günstig oder weniger günstig bzw. ungünstig vorgesehen. Alle Bereiche, die nicht durch die Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen aus dem Verfahren ausscheiden, sind laut Gesetz geeignet.

Die Differenzierung zwischen den Kategorien A und B soll durch einen sicherheitsgerichteten Diskurs erfolgen. Aus dem Konzept und der Methodenbeschreibung geht nicht konkret hervor, wie dieser Diskurs ablaufen wird. Auffällig ist, dass der Wertungsschritt von Kategorie B, also weniger gut geeignet, zu Kategorie A, am besten geeignet, sehr groß erscheint. Zudem stellt die Formulierung „am besten geeignet“ einen Superlativ dar. Innerhalb eines Teilgebietes kann es dann formal nur eine Region geben, die am besten geeignet ist. Eine solche Aussage bedarf in jedem Fall einer fundierten Rechtfertigung. Darüber hinaus muss eine Entscheidungsfindung in einem verbal-argumentativen Diskurs, der durch die Einbeziehung verschiedener Kennzahlen (BGE 2022a) unterstützt werden soll, nachvollziehbar und reproduzierbar erfolgen. Dies gilt insbesondere, da aus den veröffentlichten Unterlagen nicht hervorgeht, wie die Kennzahlen jeweils ermittelt werden.

Im Konzept wird dargestellt, „der prozessuale Ablauf“ enthalte „vier Ebenen von (1) bis (4), deren Inhalte von Ebene zu Ebene entweder detaillierter oder räumlich spezifischer werden“ (BGE 2022a, Blatt 17). Da in Schritt 2 der Phase 1 des StandAV keine neuen Daten erhoben werden, bleibt offen, auf welcher Grundlage die Bewertungen räumlich spezifischer werden können. Die Vermutung liegt nahe, dass in den Kategorien B und A nur noch Gebiete vorhanden sein werden, in denen durch vorliegende Standortdaten eine differenziertere Betrachtung innerhalb der Gebiete möglich ist als bei der Ausweisung von Teilgebieten in Schritt 1. Es muss darauf hingewiesen werden, dass im Umkehrschluss das Risiko besteht, dass Gebiete mit fehlender oder geringer Datenlage nicht besser als in Kategorie C bewertet werden können und damit ein Ausschluss von Teilen des Bundesgebietes aus dem Verfahren auf Grund einer schlechten Datenlage erfolgen könnte.

Anmerkungen im Detail:

- Für das Modellgebiet Opalinuston wurde die maximale Tiefe auf 1000 m bis zum Einlagerungsbereich angepasst. Aus den vorliegenden Unterlagen wird nicht ersichtlich, ob diese Änderung im Rahmen der rVSU auch auf Tongesteine anderer Teilgebiete übertragen werden soll.



- Die Bewertung des Indikators *Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich* im Opalinuston (BGE 2022b, Blatt 354, Tabelle 44) anhand der Anzahl der beschriebenen Gesteinstypen in einem Schichtenverzeichnis ist fachlich in Frage zu stellen. Schichtenverzeichnisse stellen in der Regel die Sichtweise und Interpretation der aufnehmenden Bearbeiterin bzw. des Bearbeiters dar und sind in diesem Sinne subjektiv. Art und Umfang der Schichtbeschreibung sind in der Regel auf das Ziel der Bohrung ausgerichtet und erfüllen nicht generell den Anspruch einer umfassenden geowissenschaftlichen Ansprache. Schichtbeschreibungen können deshalb hinsichtlich Qualität und Detaillierungsgrad stark variieren. Ein möglicher Ausschluss von Gebieten auf Grundlage einer detaillierten Beschreibung in einem Schichtenverzeichnis erscheint daher problematisch. Es wird angeraten, stattdessen stärker auf objektive Kriterien und reproduzierbare Daten, beispielsweise geophysikalische Logs, zurückzugreifen. Außerdem können z. B. auch Bereiche mit vielen beschriebenen Gesteinstypen im Schichtenverzeichnis, bezogen auf die Tiefe der Bohrung, Gebirgsdurchlässigkeiten aufweisen, die die Mindestanforderung gem. § 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG erfüllen (Siehe z. B. Hoth et al. 2007, Tabelle 3.3).
- Die Methodik zur Bewertung des Indikators *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* (BGE 2022b, Blatt 385 ff.) mit der Ausweisung von 1- bzw. 3-km-Abständen zu Störungen stellt einen pragmatischen Ansatz dar. Es gibt jedoch Gebiete, in denen die tektonische Interpretation nicht abschließend geklärt ist (z. B. im südlichen Niedersächsischen Becken oder im Bereich des Weser-Ems-Lineaments) und Störungen entweder im regionalen oder im überregionalen Zusammenhang einzuordnen und daher mit 1- oder 3-km-Abständen als bedingt günstige Bereiche auszuweisen wären. Der Umgang mit divergierenden geologischen Interpretationen und die sich daraus ergebenden Ungewissheiten sollten generell dargestellt werden.
- Der Indikator *Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)* (BGE 2020b, Blatt 396) sollte nach einem einheitlichen Klassifikationsschema für sedimentäre Fazies reproduzierbar bewertet werden. Publierte paläogeographische und fazielle Interpretationen folgen in der Regel einem bestimmten Zweck. Häufig liegt der Fokus der Bearbeitung auf einzelnen, eng begrenzten Zeitabschnitten und Gebieten. Die Interpretationsansätze und Klassifikationen unterscheiden sich zwischen verschiedenen Bearbeitungen zum Teil deutlich. Es wird empfohlen, die Verwendung publizierter Fazieskarten (BGE 2022b, Blatt 400 ff.) durch eigene, für alle Gebiete konsistente, ortsspezifische Fazieskarten auf Grundlage der Interpretation vorliegender regionalgeologischer Daten zu ergänzen.

### Bewertung der Datenlage, Kenngrößen

In der Geosynthese werden die vier Kenngrößen Datenqualität, Datenquantität, interpretative und weitere Nachweise sowie geologische Komplexität betrachtet, um zu versuchen die Quantität und Qualität der Daten innerhalb eines Gebietes messbar zu beschreiben, vergleichbar zu bewerten sowie Ungewissheiten abzuschätzen. Dieser Ansatz ist nachvollziehbar.

Anmerkungen im Detail:

- Die qualitative Bewertung von Bohrungsinformationen stellt eine wesentliche Grundlage für Entscheidungen wie z. B. den Ausschluss von Gebieten dar. Die im Flussdiagramm (BGE 2022b, Blatt 234, Abb. 63) veranschaulichte Vorgehensweise zur Ermittlung des Informationsgehaltes von Bohrungen beruht hauptsächlich auf digital vorliegenden Schichtenverzeichnissen und den dort aufgeführten stratigraphischen Angaben. Dabei ist zu beachten, dass in vielen Fällen nicht alle Informationen zu einer Bohrung digital und in auswertbarer Form vorliegen. Es ist

davon auszugehen, dass in den analogen Archiven der SGD noch eine erhebliche Anzahl von weiteren, für die Bewertung der Bohrung bzw. des geologischen Inventars wesentlichen Informationen vorhanden sind. Eine Recherche und Bewertung des Vorhandenseins weiterer, nicht digital vorliegender Bohrungsinformationen wie z. B. detaillierterer Schichtbeschreibungen, des Umfangs der Bohrlochmessungen bzw. Log-Suite oder durchgeführter hydraulischer Tests ist daher in Schritt 2 der Phase erforderlich.

- Es ist geplant, die Bewertung der Datenqualität von Bohrungen anhand des Detaillierungsgrades der stratigraphischen Angaben (BGE 2020b, Blatt 233) durchzuführen. Dem ist entgegen zu halten, dass dieses Vorgehen keine Aussage hinsichtlich Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Daten zulässt. Bohrungen in homogenen Schichten erscheinen beispielsweise auch bei guter Qualität der stratigraphischen Angaben weniger detailliert als Bohrungen in sehr heterogen aufgebauten Schichtverbänden. Um zu zeigen, inwiefern Bohrungsdaten wichtige Informationen zur Charakterisierung der potentiellen Wirtsgesteine enthalten, sollte auch dieser Aspekt in die Beurteilung der Datenqualität eingehen. Einer plausibel begründeten individuellen geologischen Einschätzung ist für diese Aufgabenstellung gegenüber einem schematischen Vorgehen, wie in der Methodenbeschreibung dargestellt, Vorrang einzuräumen.
- Auch angesichts der großen Zahl an zu betrachtenden Bohrungen wird erwartet, dass bei allen Bewertungsschritten in allen Gebieten einheitliche Standards zur Bewertung angelegt werden. Es sollte mit allen verfügbaren Bohrungsinformationen gearbeitet werden. Das schließt analoge Daten, bisher nicht angeforderte Daten der staatlichen geologischen Dienste und nicht-staatliche Daten wie beispielsweise die Ergebnisse von Diplomkartierungen und Dissertationen in den Geowissenschaften ein. Generell sollte das Ergebnis der Sichtung und Auswertung von Bohrungen reproduzierbar und nachvollziehbar dokumentiert werden.
- Die Verwendung von Thiessen-Polygonen (BGE 2022b, Blatt 236, 237) zur Visualisierung der Datenquantität ist für die hier in Rede stehende Frage nicht geeignet und erlaubt keine Aussage darüber, ob die Menge der Datenpunkte für eine zuverlässige Bewertung eines Gebietes ausreicht. So werden z. B. in faziell oder strukturell komplexen Gebieten wesentlich mehr Bohrungen für eine belastbare Charakterisierung des Gebietes benötigt als in Gebieten ungestörter konkordanter Lagerung und homogener Lithologie. Weiterhin gehen die Grenzen der Polygone im dargestellten Beispiel sowohl über die Grenzen der zu betrachteten Gebiete, z. B. Teiluntersuchungsräume, als auch über geologische Einheiten hinaus. Grenze ist hier der Kartenrahmen. Bohrungen, die am Rand einer intensiv untersuchten geologischen Einheit, z. B. eines Sedimentbeckens, liegen, plotten dadurch in großen Thiessen-Polygonen. Die Größe der Randpolygone hängt damit vom gewählten Kartenrahmen ab und enthält nur noch wenig Bezug zu Menge und Abdeckung von Bohrungsdaten. Analog zum Vorgehen bei der Bearbeitung der interpretativen Daten (Kenngröße 3) wird eine manuelle Bewertung oder Einschätzung dahingehend für notwendig erachtet, ob die jeweilige Datenmenge ausreichend für eine zuverlässige Bewertung eines Gebietes ist.
- Es wird empfohlen, bei der Bewertung des Parameters Geologische Komplexität (BGE 2022b, Blatt 239) zusätzlich zur strukturellen Komponente auch die fazielle Komplexität abzuschätzen und zu quantifizieren.

### Gebiete mit geringer Datenlage/ohne hinreichende Informationen

Zur Bewertung in Gebieten mit geringer Datenlage wird im Konzept eine Methode der bestmöglichen Einschätzung, Best Estimate, vorgeschlagen (BGE 2022b, Blatt 240). Das Prinzip des Best Estimates soll auch für die Ableitung von Gesteinseigenschaften angewendet werden, die als Parameter in die Modelle zum Radionuklidtransport eingehen (BGE 2022b, Blatt 518-519). Zum Best Estimate-Ansatz wird

ausgeführt, dass es ein „wohlbegründeter Schätzwert“ sein soll, wobei offenbleibt, was unter „wohlbegründet“ zu verstehen ist. Zudem wird dargestellt, dass dieser Ansatz mit signifikanten Unsicherheiten verbunden sein kann, bspw. durch Expertenurteile. Das ist nachvollziehbar, bedeutet aber für die Umsetzung der Methodik, dass die jeweiligen Unsicherheiten offen benannt werden und auch die jeweiligen Expertenurteile zur öffentlichen Diskussion gestellt werden müssen. Dieses Vorgehen könnte zu einer Prädestination von Gebieten mit einer guten Datenlage als zukünftige Standortregionen führen. An dieser Stelle wird angeregt, noch einmal zu versuchen, diesen Prozess auf Basis von objektiven Kriterien reproduzierbar und einheitlich durchzuführen und anschließend nachvollziehbar zu dokumentieren.

Anmerkungen im Detail:

- Das Vorgehen zur Ausweisung von Gebieten ohne hinreichende Informationen (BGE 2022b, Blatt 250) sollte kriteriengestützt, reproduzierbar und nachvollziehbar durchgeführt werden.
- Die Vorgehensweise zur Identifikation und Abgrenzung von Gebieten ohne hinreichende Informationen gegenüber Gebieten mit geringer Datenlage, die noch weiterbearbeitet werden, ist aus den Dokumenten nicht ersichtlich. Es sollte nachvollziehbar dargelegt werden, wieviel und welche Informationen über ein Gebiet vorliegen müssen, um diese Differenzierung vornehmen zu können. Eine rein quantitative Unterscheidung nach dem Umfang vorliegender Daten wird seitens des LBEG als nicht sachgemäß angesehen.
- Im Rahmen der Geosynthese soll geprüft werden, „ob eine Region ohne hinreichende Informationen eine gleichwertige oder bessere Bewertung der Anforderungen und Kriterien nach §§ 22 bis 24 StandAG erwarten lässt“ (BGE 2022b, Blatt 250). Die Methodik dieser Prüfung in Gebieten, deren Datenlage zuvor als unzureichend zur Bewertung charakterisiert wurde, und insbesondere die mögliche Datengrundlage dieser Prüfung werden aus dem Konzept nicht ersichtlich. Es wird empfohlen, das geplante Vorgehen zu konkretisieren und in der (Fach-)Öffentlichkeit zur Diskussion zu stellen.

### Repräsentative Profile

Das Erstellen von repräsentativen Profilen kann als sinnvoll angesehen werden. Im aktuellen Verfahrensschritt, insbesondere bei einfachen geologischen Verhältnissen, erscheint die aufwändige Erstellung von 3D-Modellen nicht in allen Fällen sinnvoll und notwendig. Bei komplexen geologischen Verhältnissen, insbesondere in steilstehenden Salzstrukturen, wird dieser Ansatz jedoch nicht zum Tragen kommen können. Aufgrund des z. T. sehr komplexen Internbaus ist ein Interpolieren zwischen Bohrungen in diesen Gesteinskörpern nur in Ausnahmefällen möglich.

Widersprüchlich erscheinen die Ausführungen, dass einerseits Teiluntersuchungsräume geologisch mit möglichst einheitlichen geowissenschaftlichen Charakteristika (z. B. stratigraphisch, lithologisch, tektonisch) gebildet werden, andererseits aber für Teiluntersuchungsräume, je nach Größe, ein oder mehrere repräsentative Profile verwendet werden sollen, um die geologische Situation abzubilden.

Die Repräsentativität verwendeter Profile sollte nachgewiesen und in die Bewertung einbezogen sowie die Grenzen der Nutzung repräsentativer Profile aufgezeigt werden. Eine Nutzung zum Zwecke der Gewichtung von Kriterien oder zum Ausschluss von Teiluntersuchungsräumen ist abzulehnen.

In der Methodenbeschreibung wird dargestellt, „dass die Ausweisung von Gebieten ohne hinreichende Informationen in Schritt 2 der Phase I nur in Ausnahmefällen erfolgt und die Hürden dementsprechend hoch sind.“ (BGE 2022b, Blatt 243). Die Herleitung dieser Aussage bzw. die entsprechenden Vorgaben



aus dem StandAG sollten nachvollziehbar dargestellt und begründet werden. Folgt man dieser Vorgehensweise uneingeschränkt, hätte dies zur Folge, dass um jeden Preis Analogieschüsse und Referenzdaten herangezogen werden, auch wenn diese ggf. für das zu betrachtende Gebiet möglicherweise nicht repräsentativ sind. Hier wird eine Klarstellung seitens der Vorhabenträgerin BGE erwartet.

### Methoden zur Bestimmung wichtiger Parameter und Unsicherheiten

Viele Parameter zur Bewertung werden aus den von den staatlichen geologischen Diensten gelieferten geologischen Modellen entnommen. Die Genauigkeit dieser Daten und deren Eignung für die vorgesehene Verwendung sollten kritisch geprüft, validiert und der Einfluss von Unsicherheiten auf das Ergebnis dargestellt werden.

Anmerkungen im Detail:

- Im GzME Opalinuston wurden verschiedene Verfahren zur Quantifizierung des Tongehalts angewendet. Unsicherheiten sind dadurch gut und schnell erkennbar. Exemplarisch sei auf Abb. 91 (BGE 2022b, Blatt 309) verwiesen. Die dargestellten Tonanteile (vermutlich aus Schichtenverzeichnissen nach Hoth et al., 2007 abgeschätzt) weichen zum Teil stark von den aus dem Gamma Ray Log berechneten (VSHGR + VCGR, siehe unten) ab. Methodisch begründete Diskrepanzen sind bei diesem Vorgehen einerseits nachvollziehbar, sie verdeutlichen andererseits sehr eindrucksvoll die Unsicherheit beim Ermitteln von Gesteinseigenschaften. Solche Effekte auf Grund unterschiedlicher eingesetzter Methoden sollten im weiteren Vorgehen quantifiziert und kritisch gewürdigt werden.
- Zur Ermittlung des Tongehaltes aus Bohrlochmessungen existieren verschiedene Ansätze und Formeln, die zu jeweils unterschiedlichen Ergebnissen bei der Bearbeitung eines Ausgangsdatensatzes führen können. Die Berechnung von VSHGR (Volume Shale Gamma Ray) und VCGR (Volume Clay Gamma Ray) bei der Durchführung der rvSU sollte daher erläutert werden.
- Die Quantifizierung deskriptiver Informationen wie Lithologien aus Schichtenverzeichnissen oder Ergebnissen von Geländeaufnahmen, z. B. nach Hoth et al. (2007), kann zur Wahrnehmung einer scheinbaren Genauigkeit führen, die durch die Originaldaten nicht zu begründen ist. Deren Qualität ist wiederum von der Ansprache der Bearbeiterin oder des Bearbeiters während der Erstellung der Schichtenverzeichnisse abhängig (siehe dazu auch die Hinweise zur Anwendung des Indikators *Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich* im Abschnitt „Teiluntersuchungsräume und Kategorisierung“). Es wird empfohlen, derartige Effekte durch die Ermittlung von Reproduzierbarkeit und Genauigkeit zu quantifizieren. Es wird empfohlen, alle im Zuge der rvSU genutzten Methoden zur Quantifizierung entscheidungsrelevanter Gesteinsparameter an Bohrungen frühzeitig zu veröffentlichen und zur Diskussion zu stellen.
- In der Methodenbeschreibung wird ausgeführt, dass „endlagerrelevante lithologische Einheiten innerhalb der in den Teilgebieten ausgewiesenen stratigraphischen Einheiten identifiziert werden, z. B. einzelne Steinsalz- oder Tongesteinsformationen“ (BGE 2022b, Blatt 264). Es ist einerseits zu begrüßen, dass beim weiteren Vorgehen der Fokus auf die Lithologie gelegt werden soll. Andererseits ist zu bedenken, dass sich Lithologien nicht zwingend an einer stratigraphischen Grenze ändern müssen, sondern darüber hinweg unverändert durchhalten können. Das kann z. B. an der Grenze von unterem zu mittlerem Jura der Fall sein oder in Gebieten, in denen Gesteine der Unterkreide diskordant über Schichten des Lias liegen. Für die Beurteilung der Barrierewirkung wäre es daher eine Einschränkung, wenn nur innerhalb einer stratigraphischen Einheit differenziert würde und nicht darüber hinaus. Dadurch besteht die Gefahr, z. B.

die Mächtigkeit barrierewirksamer Gesteine zu unterschätzen und auf diese Weise geeignete Gebiete fehlerhaft aus dem Suchprozess auszuschneiden.

### Geowissenschaftliche Langzeitprognose – Beschreibung geogener Prozesse

Die Erstellung und Analyse geowissenschaftlicher Langzeitprognosen soll in einem mehrstufigen Prozess erfolgen, während dessen sich die Detailtiefe der Prognose „mit abnehmender Größe der zu betrachtenden Fläche im Laufe der Arbeiten kontinuierlich erhöht“ (BGE 2020b, Blatt 259). Dies erscheint sinnvoll und nachvollziehbar.

Anmerkungen im Detail:

- Im Zusammenhang mit Prozessen, die in der geowissenschaftlichen Langzeitprognose berücksichtigt werden sollen, wird festgehalten, dass eine einsetzende Diagenese „unterschiedlichste sicherheitsrelevante Eigenschaften der Gesteine im Endlagerbereich“ (BGE 2022b, Blatt 261) verändern kann. Diagenese beginnt jedoch an der Oberfläche. Es muss davon ausgegangen werden, dass eine Diagenese im für die Endlagerung vorgesehenen Bereich möglicher sedimentärer Wirtsgesteine nicht erst einsetzt, sondern seit der Entstehung der Gesteinskörper stattfindet. Durch die Erschließung eines Bergwerks und damit einhergehende Temperatur-, Feuchtigkeits- und Spannungsänderungen werden diagenetische Prozesse vermutlich deutlich stärker beeinflusst als durch geologische Prozesse im Betrachtungszeitraum von 1 Million Jahren. Es wird empfohlen, die Auswirkungen der Bergwerkserschließung auf diagenetische Prozesse detailliert zu betrachten und auftretende Effekte mit geomechanischen sowie reaktiven Transportmodellen zu quantifizieren.
- Die Kompaktion von deltaischen Sedimenten führt nach ausbleibender Zufuhr weiterer Schüttungen zur allmählichen Transgression. Dieser Prozess sollte berücksichtigt und durch Modellierungen quantifiziert werden.

### Beckenmodellierung und Paläomaximaltemperatur

Die Maximaltemperaturbelastung in der geologischen Vorgeschichte (Paläomaximaltemperaturen) ist ein wichtiges Kriterium für die Bewertung der Eignung einer Tongesteinsformation, da höhere Temperaturen in der Vergangenheit zur Änderung wichtiger Parameter, wie z. B. Sorptionsvermögen, mechanischen Eigenschaften und Tonmineralogie geführt haben können. Die heutigen Tiefenlagen von Tongesteinen können, insbesondere in invertierten Gebieten, nicht mit den maximalen Versenkungstiefen gleichgesetzt werden. Eine höhere Versenkung geht in der Regel mit Kompaktion und in der Folge u. a. einer Reduktion der Porosität einher. Eine Prognose derartiger Veränderungen kann helfen, in Gebieten ohne spezifische Daten zu den genannten Parametern eine Einstufung in die Kategorien A-D vorzunehmen. Es wird daher empfohlen, eine Beckenmodellierung, d. h. eine Simulation von Versenkungs- und Temperaturgeschichte, der Sedimentationsräume der Teilgebiete in sedimentären Gesteinen durchzuführen. Diese hilft, die Paläomaximaltemperatur, die Kompaktion und die potentielle Genese von Kohlenwasserstoffen abzuschätzen (siehe auch NAGRA (2002)). Die Abschätzung der Paläomaximaltemperatur wird insbesondere für die Bewertung invertierter Beckenbereiche in Norddeutschland wichtig sein (siehe auch SGD 2020).

Anmerkungen im Detail:

- Abb. 209 (BGE 2022b, Blatt 560) zeigt einen Auszug von in Tongesteinen ablaufenden Prozessen in Abhängigkeit von der Temperatur. Nicht dargestellt sind u. a. die Umwandlung von Kaolinit in z. B. Dickit, Chlorit oder Illit, je nach System. Außerdem wird zwar die Kerogen-Pyrolyse

erwähnt, es fehlt aber die Generation von verschiedenen flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffen im Zuge der thermischen Reifung. Es wird empfohlen, alle Prozesse, die die mechanischen und hydraulischen Eigenschaften verändern können, detaillierter zu betrachten, zu modellieren und öffentlich zur Diskussion zu stellen.

### 1-D Transportmodelle zur Abschätzung des Radionuklidaustrags

Für die quantitative Bewertung des sicheren Einschlusses (BGE 2022b, Blatt 514 ff.) ist die Durchführung numerischer Transportrechnungen anhand von eindimensionalen Modellen geplant. Die Modellparameter und Inputdaten sollen in Form von 1-D repräsentativen geologischen Profilen im Rahmen der Geosynthese für jeden Untersuchungsraum erarbeitet werden (BGE 2022, Blatt 411 ff.). Damit kommt diesen Profilen eine Schlüsselrolle zu und die Frage, ob ein Gebiet mit einem repräsentativen Profil hinreichend zu beschreiben ist, ist kritisch zu hinterfragen. Das Modell soll neben dem Wirtsgestein selbst auch die über- und unterlagernden Gesteinseinheiten umfassen. Berücksichtigt werden advektiver und diffusiver Transport, Sorption und radioaktiver Zerfall (BGE 2022b, Blatt 670 ff.).

Ziel der Modellrechnungen ist die Ableitung von Kennzahlen, anhand derer beurteilt werden kann, ob bzw. unter welchen Gegebenheiten Radionuklide innerhalb von 1 Million Jahren aus dem Wirtsgestein migrieren könnten (BGE 2022b, Blatt 517 ff.). Falls die Ergebnisse eines ersten Best-Estimate-Modells erwarten lassen, dass der sichere Einschluss gelingen kann, sollen zusätzlich zahlreiche Modellvarianten betrachtet werden, die darauf abzielen, unterschiedliche Gegebenheiten innerhalb des Untersuchungsraums (z. B. variierende Mächtigkeit), mögliche Parameterbandbreiten (z. B. Porosität) sowie zukünftige Entwicklungen (z. B. glaziale Rinnen) systematisch abzubilden und ihren Einfluss auf das Einschlussvermögen eines Gebietes zu bewerten. Damit kommt auch diesem Ansatz eine Schlüsselrolle zu und die Art und Weise, wie die Annahmen für diesen „Best Estimate“-Ansatz getroffen werden, müssen einer kritischen öffentlichen Diskussion standhalten. Zu empfehlen ist daher, dass die Auswahl der „Best Estimate“-Annahmen reproduzierbar und nachvollziehbar dokumentiert und vor ihrer Anwendung öffentlich zur Diskussion gestellt werden.

Die o. g. Methodik wird vornehmlich für das Wirtsgestein Tongestein vorgestellt. Für eine Übertragung auf Teilgebiete in anderen Wirtsgesteinen werden verschiedene Herausforderungen gesehen (BGE 2020b, Blatt 547). Ungeachtet dessen ist vorgesehen, sowohl in Teilgebieten in Steinsalz als auch in Teilgebieten mit kristallinen Wirtsgesteinen 1-D-Transportrechnungen durchzuführen und als Grundlage für die Bewertung des sicheren Einschlusses zu nutzen (BGE 2020b, Blatt 547-549; Beispielrechnung 99). Angesichts der inhärenten Schwierigkeiten, die sich bei der Parametrisierung eindimensionaler Transportmodelle für Salz- und Kristallingesteine ergeben (s. u.) ist diese Vorgehensweise in Frage zu stellen.

Anmerkungen im Detail:

- Die Entwicklung eines eigenen Modellcodes (TransPyREnd) zur Berechnung eindimensionaler Radionuklidtransportprozesse in Form eines Open-Source-Codes wird als ein wesentlicher Schritt begrüßt, um Transparenz, Qualität und Flexibilität sicherzustellen.
- Die Zusammenfassung der Modellergebnisse in quantitativen Kennzahlen eröffnet die Möglichkeit für vergleichende Betrachtungen. Der Nutzen der angestrebten Kennzahlen liegt insbesondere darin, die Auswirkungen unterschiedlicher Einflussgrößen auf das Einschlussvermögen eines potentiellen Standortes abbilden zu können. Als fiktives Beispiel sei hier die Situation genannt, in der ein (Teil-)Untersuchungsraum im Vergleich zu einem anderen eine um 50 m größere Wirtsgesteinsmächtigkeit aufweist, aber eine um eine halbe Größenordnung höhere

Durchlässigkeit. Verbalargumentativ sind die konkreten Auswirkungen auf das Einschlußvermögen, die diese beiden Einflussgrößen nach sich ziehen, schwer gegeneinander abzuwägen. Die geplanten Modellierungen können hier eine nützliche Orientierung bieten und, insbesondere beim Vergleich von Gebieten in Tongestein, dazu beitragen, den Gebietseinengungsprozess nachvollziehbar und transparent zu gestalten.

- Einschränkung sei darauf hingewiesen, dass eindimensionale Modelle stark vereinfachend sind und ihre Anwendbarkeit zur Beschreibung von Transportprozessen im dreidimensionalen heterogenen Untergrund sehr stark limitiert ist. Angesichts der großen Untersuchungsräume und der gleichzeitig nur begrenzt verfügbaren und häufig sehr heterogen verteilten ortsspezifischen Daten ist eine vereinfachende Betrachtungsweise im derzeitigen Verfahrensschritt zwar nachvollziehbar aber mit sehr großen Unsicherheiten behaftet. Nachvollziehbar erscheint das Vorgehen insbesondere vor dem Hintergrund, dass geplant ist, pro Untersuchungsraum ggfs. eine Vielzahl von Modellvarianten zu rechnen (BGE 2022b, Blatt 521 ff.). Die Anzahl der eindimensionalen Modellvarianten zu erhöhen, löst jedoch nicht die systeminhärente Inkompatibilität, eine dreidimensionale Welt eindimensional abzubilden. Umso wichtiger ist es, sicherzustellen, dass die vereinfachenden Modellannahmen bei der Ergebnisinterpretation kritisch hinterfragt werden.
- In den Kapiteln 8.5.7.1 und 8.5.9 der Methodenbeschreibung, in denen einige Konsequenzen der getroffenen Modellannahmen diskutiert werden, wird betont, dass konservative Modellannahmen, wie die instantane Radionuklidfreisetzung und der Verzicht auf Löslichkeitslimits, zu einer Überschätzung des Radionuklidtransports führen und das Modell daher konservativ sei. Hierzu ist anzumerken, dass es unter bestimmten Voraussetzungen trotz dieser konservativen Modellannahmen auch zu einer Unterschätzung des Radionuklidaustrags durch das Modell kommen könnte. Beispielhaft genannt seien hier:
  - die Unterschätzung wichtiger Modellparameter (z. B. Gebirgsdurchlässigkeit) durch einen im Modell angesetzten Best-Estimate-Wert, der in Ermangelung ortsspezifischer Daten nicht repräsentativ bzw. realitätsnah abgeschätzt werden konnte.
  - der unbekannte Internbau in Salzstrukturen, der dazu führen kann, dass der minimale Abstand im Wirtsgestein im Modell deutlich überschätzt wird.
- Aufgrund der z. T. sehr unterschiedlichen Wirtsgesteinseigenschaften ergeben sich bei der Parametrisierung eindimensionaler Transportmodelle für Teilgebiete des Wirtsgesteins Steinsalz und für kristallines Gestein mehrere Schwierigkeiten (BGE 2022, Blatt 547 ff.):
  - Steinsalz ist in unverritztem Zustand praktisch dicht, sodass kein Transport stattfinden kann. BGE skizziert dennoch ein mögliches Konzept, Transportrechnungen im Salz durchzuführen. Es sieht u. a. vor, die Gebirgsdurchlässigkeit im Modell anhand von Literaturwerten zu parametrisieren, deren Übertragbarkeit auf intaktes Steinsalz jedoch noch zu prüfen sei (BGE 2022b, Blatt 547); der effektive Diffusionskoeffizient im Salz könne ggfs. über empirische Zusammenhänge, die ursprünglich für Tongestein ermittelt wurden, abgeschätzt werden (BGE 2022b, Blatt 548 ff., Beispielrechnung 99). Dieses Konzept erscheint nicht geeignet, belastbare Modellergebnisse im Salz zu erzielen, weil auf Basis der im aktuellen Verfahrensschritt vorliegenden Daten maßgebliche Modellparameter nicht belastbar festgelegt werden können. Es sollte unbedingt vermieden werden, in Ermangelung ortsspezifischer Daten, Literaturwerte aus z. B. Auflockerungszonen für intaktes Steinsalz anzusetzen. Analogieschlüsse zwischen Steinsalz und Tongestein bezüglich des effektiven Diffusionskoeffizienten sind angesichts der gänzlich unterschiedlichen Genese dieser Gesteine als fragwürdig einzuschätzen. Bei der Bewertung steiler Salzstrukturen führt zudem der

unbekannte Internbau dazu, dass der minimale Abstand im Wirtsgestein, der für die Berechnung der Kennzahlen benötigt wird, nicht belastbar abgeschätzt werden kann (BGE 2022b, Blatt 532, Abbildung 195).

- In kristallinen Gesteinen ist der Transport von Radionukliden im Wesentlichen an Kluft- und Störungsflächen gebunden. Diese Trennflächen sind zweidimensionale Elemente, deren räumliche Orientierung und Vernetzung untereinander maßgeblichen Einfluss auf Transportprozesse ausüben. Die Abbildung dieser Prozesse in einem eindimensionalen Modell mit hochskalierten Parametern, die weitgehend ohne ortsspezifische Informationen, z. B. zur tiefenabhängigen Klüftigkeit oder zum tiefenabhängigen Vernetzungsgrad von Kluftsystemen, festgelegt werden müssen, wird als nicht sachgerecht eingestuft.

### Best-Estimate-Ansatz zur Bewertung von Gebieten mit geringer Datenlage im Rahmen der Modellierung

Bewertungen im aktuellen Verfahrensschritt sollen für Gebiete mit geringer Datenlage mit Hilfe eines Best-Estimate-Ansatzes vorgenommen werden (BGE 2022b, Blatt 240). Dabei sollen diese Bewertungen mit geologischem Sachverstand grundsätzlich im Sinne einer besten Schätzung („best estimate“) formuliert werden. Auf Basis aller vorliegenden Informationen und Analogieschlüsse sollen Abschätzungen zum Untergrundaufbau und den Eigenschaften vorgenommen sowie zur Bewertung herangezogen werden. Das Prinzip des Best-Estimates soll auch für die Ableitung von Gesteinseigenschaften angewendet werden, die als Parameter in die Modelle zum Radionuklidtransport eingehen (BGE 2022b, Blatt 518-519).

Dieses Vorgehen stellt einen Perspektivwechsel gegenüber dem Schritt 1 der Phase 1 dar, in dem Bewertungen und Parameter bewusst konservativ abgeschätzt wurden (z. B. anhand des 90%-Perzentils auf Grundlage der in Schritt 1 der Phase 1 verwendeten Referenzdatensätze). Dieser Perspektivwechsel erscheint nachvollziehbar. Grundsätzlich könnte dieser Ansatz im Vergleich zum Vorgehen in Schritt 1 der Phase 1 zu realistischeren Einschätzungen führen. Für die Beurteilung wäre es aber jedoch wünschenswert gewesen, wenn dieser Ansatz anhand konkreter Beispiele, z. B. in den GzME, nachvollziehbar dargelegt worden wäre. Im Hinblick auf die Transportmodellierungen könnte diese Vorgehensweise Vorteile bieten, weil konservativ verzerrte Modellparameter die Interpretation und den Vergleich von Modellergebnissen erheblich erschweren würden. Es besteht jedoch die besondere Herausforderung, dass gerade für Gebiete mit geringer Datenlage, in denen dieser Ansatz zum Tragen kommen soll, für einige Parameter eben diese ortsspezifischen Daten nicht vorliegen, sodass diese im Wesentlichen anhand von Analogiebetrachtungen und Literaturwerten sowie Referenzdaten abgeschätzt werden müssten. Diese Vorgehensweise wäre im Einzelfall zu rechtfertigen. In jedem Falle sollte nachvollziehbar dargelegt und bewertet werden, welchen Einfluss auf Modellrechnungen diejenigen Modellparameter ausüben, die auf Basis weniger Daten festgelegt werden mussten, z. B. mittels Sensitivitätsanalysen.

Es besteht die grundsätzliche Schwierigkeit, dass potentielle Wirtsgesteine in Gebieten mit wenig oder ohne Daten anhand von Analogieschlüssen, Literaturdaten und Referenzdaten bewertet werden sollen, deren Übertragbarkeit auf das jeweils zu bewertende Gesteinsvorkommen jedoch wiederum nur valide beurteilt werden kann, wenn ortsspezifische Daten über das potentielle Wirtsgestein vorliegen. Dieses Paradoxon sollte aufgelöst werden.

Anmerkungen im Detail:



- Die Übertragbarkeit von Analogieschlüssen, Literaturdaten und Referenzdaten sollte in jedem Anwendungsfall bewertet werden und muss letztendlich sichergestellt werden.
- Der Entscheidungsprozess zur Charakterisierung eines potentiellen Wirtsgesteins durch Analogieschlüsse sollte über Kriterien objektiviert, das Ergebnis sollte reproduzierbar sein und dokumentiert werden.
- Es sollte dargestellt werden, ob neben dem geänderten Vorgehen bei der Parameterschätzung von Schritt 1 der Phase 1 zur Durchführung der rvSU, d. h. Best-Estimate anstelle des 90%-Perzentils, auch die zugrundeliegende Datenbasis erweitert wurde. Falls ja, sollte der Anteil der neu herangezogenen Datensätze im Vergleich zu den in Schritt 1 verwendeten Referenzdatensätzen dargestellt werden.

### Steinsalz in steiler Lagerung, GzME Salzstock Bahlburg

Im Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung wurden 60 Teilgebiete ausgewiesen, davon 41 in Niedersachsen (BGE 2020, BGE 2022b). Alle folgenden Anmerkungen lassen sich auch auf das Gebiet zur Methodenentwicklung (GzME) Salzstock Bahlburg und die daran durchgeführten vorläufigen Bewertungen übertragen. Das dargestellte Vorgehen der BGE betrifft alle verbliebenen Teilgebiete in Salzstrukturen in steiler Lagerung gleichermaßen.

Im weiteren Verfahren der Einengung der Gebiete „spielt der interne Aufbau von Salzstrukturen eine wesentliche Rolle“ (BGE 2022b, Blatt 250). Der Internbau einer Salzstruktur in steiler Lagerung ist jedoch ohne standortspezifische Daten, d. h. Erkundungsergebnisse aus der jeweiligen Salzstruktur, nur schwer zu prognostizieren, da die z. T. komplexen und kleinräumigen, lateral u. U. innerhalb kurzer Distanzen sich unterscheidenden Lagerungsverhältnisse und Schichtfolgen durch indirekte, d. h. geophysikalische Erkundungsmethoden von der Oberfläche bzw. von außerhalb der Salzstruktur (BGE 2022b, Blatt 254) aus nicht abgebildet werden können. Das Verständnis von internen Lagerungsverhältnissen in steilstehenden Salzstrukturen beruht allein auf Erkenntnissen und Detailinformationen aus dem Bergbau innerhalb der Salzstrukturen. Davon ausgehend muss festgehalten werden, dass die Internstruktur von Salzstrukturen nicht ohne konkrete Erkundungen, insbesondere durch Bohrungen über- und untertage, identifizierbar ist. Auch die Verwendung von Analogieschlüssen, wie sie auf Blatt 251 der Methodenbeschreibung (BGE 2022b) für Salzstrukturen in Aussicht gestellt wird, ist sehr kritisch zu sehen.

Im InSpEE<sup>1</sup>-Projekt der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (BGR et al. 2016) wurde versucht, eine Methodik zur Prognose und Charakterisierung von Internbautypen von Salinarstrukturen zu entwickeln. Ergebnis des InSpEE-Projekts waren stark konservative Annahmen zur Ausweisung von Zechstein-Salinar und Rotliegend-Salinar für die Anlage von Speicherkavernen in Salinarstrukturen. Die BGE plant, in Kooperation mit der BGR eine vertiefte methodische Ausarbeitung zur Internbauprognose auf der Basis der InSpEE-Ergebnisse vorzunehmen. Diese Ergebnisse gilt es abzuwarten, bevor die Teilgebiete „Steinsalz in steiler Lagerung“ abschließend im Sinne von Schritt 2 Phase 1 bzw. im Rahmen der rvSU bewertet werden. Es wäre darüber hinaus interessant, ob diese Prognosemethodik an Salzstrukturen mit gut bekanntem Internbau, also Strukturen, in denen aus bergbaulichen Aktivitäten ausreichend Informationen vorliegen, validiert wird. Das GzME Salzstock Bahlburg ist für eine solche Validierung aufgrund der geringen Datenlage aus Sicht des LBEG nicht geeignet.

---

<sup>1</sup> Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft)

Es kann zwar davon ausgegangen werden, dass in einer großen Anzahl der 60 als Teilgebiet ausgewiesenen Salzstrukturen jeweils ein ausreichender Homogenbereich an Steinsalz vorhanden sein könnte. Aufgrund der unzureichenden Informationen über die Lage der Homogenbereiche steht jedoch zu befürchten, dass ein belastbarer Vergleich der einzelnen Steinsalzvorkommen untereinander nur schwer bis gar nicht möglich sein wird. Dadurch würde auch die Anwendbarkeit des Best-Estimate-Ansatzes für Teilgebiete in Steinsalz in steiler Lagerung in Frage gestellt. Eine weitere Reduzierung der Anzahl dieser Teilgebiete mit vermuteten Homogenbereichen erscheint über diese Methodik schwierig, zumal auch innerhalb dieser vermuteten Bereiche mit strukturell komplexen Lagerungsverhältnissen gerechnet werden muss, wie aus dem Salzbergbau bekannt ist.

Das im März 2022 von der BGE beauftragte Forschungsvorhaben „Variabilität Internbau Salzstrukturen“ mit einer Laufzeit bis Ende 2023 zielt auf die „Entwicklung einer anwendungsreifen Methode zur Prognose der Komplexität des Internbaus von Salzstrukturen“ (BGE 2022c). Die BGE wies während der Online-Veranstaltung „Methodenentwicklung Salz steil“<sup>2</sup> darauf hin, dass zusätzlich vorhandene seismische Messdaten reprozessiert und auf diese Weise versucht werden soll, den Internbau der Salzstrukturen besser zu identifizieren. Dieses Ziel ist vermutlich auch mit modernster 3D-Seismik schwer zu erreichen. Aufschluss über die Möglichkeiten der seismischen Erkundung von Salzstrukturen und möglicherweise neue Erkenntnisse kann unter Umständen von den Ergebnissen der detaillierten Erkundung am Salzstock Asse erwartet werden.

Die geplanten Auswertungen können aber in jedem Fall wertvolle Informationen zur Bewertung der äußeren Form und Größe der Salzstruktur sowie weitere Erkenntnisse über das Deckgebirge liefern. Nach derzeitigem Kenntnisstand kann mit seismischen Verfahren von der Erdoberfläche bzw. von außerhalb der Salzstruktur jedoch nicht in das Salz hineingesehen, also keine Unterscheidung unterschiedlicher Salinargesteine erreicht werden. Allenfalls Teile großer Anhydritbereiche, sogenannte Klippen oder Stringer, sind in modernen seismischen Sektionen zu erahnen.

---

<sup>2</sup> <https://www.bge.de/de/aktuelles/veranstaltungen/methodenentwicklung-rvsu/#salzsteil>

Anmerkungen im Detail:

- Auf der aktuellen Datengrundlage erscheint eine belastbare Charakterisierung des Internbaus von Salinarstrukturen im Rahmen der Geosynthese nach § 5 EndlSiUntV als Grundlage für die Entwicklung eines vorläufigen Sicherheitskonzeptes und einer vorläufigen Auslegung eines Endlagers nach § 6 EndlSiUntV, insbesondere mit Blick auf Abs. 4 Nr. 1, schwer umsetzbar. Davon ausgehend ist zu erwarten, dass die räumliche Charakterisierbarkeit des Endlagersystems nach § 7 Abs. 6 Nr. 3 a) EndlSiUntV innerhalb steilstehender Salinarstrukturen als ungünstig bewertet werden müsste. Des Weiteren können Auswirkungen auf die Langzeitsicherheitsanalyse nach § 9 EndlSiUntV und die umfassende Bewertung des Endlagersystems nach § 10 EndlSiUntV erwartet werden, beispielsweise aufgrund des Einflusses der verbleibenden Ungewissheiten auf Modellierungen.
- Derzeit ist nicht erkennbar, ob überhaupt und, wenn ja, welche Erkenntnisse am Salzstock Bahlburg für die Methodenentwicklung gewonnen wurden. Darüber hinaus ist die Übertragbarkeit der daraus entwickelten Methodik auf andere Teilgebiete mit Steinsalz in steiler Lagerung und unbekanntem Internbau als kritisch anzusehen.
- Aufgrund der dargestellten Ungewissheiten hinsichtlich des Internbaus aller als Teilgebiet ausgewiesenen Vorkommen von Steinsalz in steiler Lagerung ist zu erwarten, dass weder die Möglichkeit zur Ausweisung eines ewG noch dessen Positionierung oder das Vorhandensein einer barrierewirksamen Salzscheibe zum jetzigen Zeitpunkt belastbar prognostiziert werden können. Ausgehend von dieser Sachlage wird erwartet, dass sich die BGE dazu positioniert, wie mit Teilgebieten in Steinsalz in steiler Lagerung im weiteren Verfahren umgegangen werden soll.

Unter Verwendung von ortsspezifischen Daten (Seismik, Bohrungen, 3D-Modell) wurden Teile der Methodik für Steinsalz in steiler Lagerung am Beispiel des Salzstocks Bahlburg angewendet. Diese Anwendung basiert bezüglich des Internbaus derzeit noch auf den im Projekt InSpEE (BGR et al. 2016) ausgewiesenen Internbautypen (hier: Internbautyp Diapir). Hinsichtlich z. B. der bewerteten Indikatoren des geowissenschaftlichen Abwägungskriteriums *Konfiguration der Gesteinskörper* wurde die stark vereinfachende „Annahme, dass die Salzstruktur vollständig aus dem Wirtsgestein Steinsalz besteht“ (BGE 2022b, Blatt 336, Beispiel 51) verwendet. Bei der „Positionsoptimierung eines hypothetischen Einlagerungsbereichs“ wurde ein „fiktiver homogener Internbau zu Grunde gelegt“ (BGE 2022, Blatt 532, Beispiel 93).

Für die Salzstruktur Bahlburg wird ein günstiges Eignungspotential bezüglich des Indikators *Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften* abgeleitet (BGE 2022b, Blatt 380 ff., Beispiel 61). Dieses Ergebnis ist als vorläufig zu betrachten, da die Weiterentwicklung der Methodik für Steinsalz in steiler Lagerung (z. B. weiterentwickelte Kategorisierung bzw. Verfeinerung der Internbautypen) noch nicht vorliegt.

Anmerkungen im Detail:

- Es sollte dargestellt werden, wie neue Erkenntnisse, z. B. aus aktuellen Forschungsvorhaben, in bereits laufende rVSU eingearbeitet werden. Dies betrifft insbesondere die Geosynthese, auf der die anschließenden Analysen gem. EndlSiUntV aufbauen.
- Die Methodik wurde bisher nur am Internbautyp Diapir getestet. Die Übertragbarkeit auf andere Internbautypen sollte dargestellt werden.

- Die vertiefte methodische Betrachtung wird auf einer unveränderten Datengrundlage durchgeführt werden. Bestehende Unsicherheiten bezüglich des Internbaus können nur durch Erkundungsmaßnahmen abgebaut werden. Es besteht die Gefahr, dass ein Vergleich zwischen den als Teilgebiete ausgewiesenen Salinarstrukturen in steiler Lagerung auf einen Vergleich von bzw. eine Abwägung zwischen Ungewissheiten hinausläuft.

### Betrachtungsraum

Für Teilgebiete in Steinsalz in steiler Lagerung soll ein Betrachtungsraum definiert werden, der die Ausdehnung des Gesteinskörpers überschreitet, um weitere geowissenschaftliche Informationen einzubeziehen. Die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen stellen eine vorauslaufende und kontinuierlich zu erweiternde Langzeitsicherheitsbewertung dar, die eine Berücksichtigung der in einem Safety Case relevanten Inhalte schon während der Standortauswahl ermöglicht. Insbesondere zur Bewertung langfristiger geologischer Prozesse, die sich über den Betrachtungszeitraum auf ein Endlager auswirken können, erscheint es ratsam, auch für die anderen in Frage kommenden Wirtsgesteine gezielt Betrachtungsräume auszuweisen, die über die Grenzen der Wirtsgesteinsformation hinausgehen (siehe dazu auch BGE 2022b, Blatt 90).

### Flächenbedarf

Grundsätzlich wird in den derzeitigen Betrachtungen davon ausgegangen, dass das Endlagerbergwerk auf einer Bergwerkssohle errichtet wird und somit ein Flächenbedarf als Kriterium betrachtet wird. Die Möglichkeit der Errichtung des Endlagerbergwerks als mehrsohliges Bergwerk sollte spätestens bei der Erarbeitung einer vorläufigen Auslegung des Endlagers nach § 6 EndlSiUntV berücksichtigt werden. Möglicherweise verringert sich in diesem Fall der Flächenbedarf, gleichzeitig kann die benötigte Mächtigkeit einer einen ewG aufnehmenden Wirtsgesteinsstruktur steigen. Auch der Verweis auf die „räumliche Erstreckung“ der wesentlichen Barrieren gemäß § 6 Abs. 4 Nr. 1 EndlSiUntV spricht für den Übergang zur Betrachtung eines Volumenbedarfs und damit die Abkehr der vorsorglichen Flächenbetrachtung mit pauschalen wirtsgesteinsabhängigen Beträgen, wie sie in der Begründung zu § 23 Abs. 5 Nr. 4 StandAG vorgeschlagen werden.

### Ableitung des Erkundungs-, Forschungs-, und Entwicklungsbedarfs

Mit Blick auf die Ausführungen unter Kap. 8.10 des Konzeptes ist darauf hinzuweisen, dass Erkundungsbedarfe nicht allein durch eine lokal geringe Datenverfügbarkeit gegeben sind, sondern auch aufgrund der Heterogenität des Untersuchungsraums entstehen können. Komplexe geologische Verhältnisse müssen mit einem sehr viel höheren Aufwand erkundet werden als gleichförmig geologisch gebildet Räume, d. h. die Erkundungsdichte hängt nicht von der Datenverfügbarkeit als solche ab.

Im Falle der Priorisierung gem. der Kriterien StandAG führt die BGE auf Blatt 58 des Konzeptes aus: „Voraussichtlich werden zum Zeitpunkt der Priorisierung der Bedarfe jedoch für den Großteil der Untersuchungsräume keine diesbezüglichen Bedarfe bestehen, da bzgl. der Erfüllung der Mindestanforderungen sowie der Nichterfüllung der Ausschlusskriterien eine hohe Gewissheit besteht.“ Woher diese Gewissheit kommen soll, wird nicht ersichtlich. Es gibt sie nur in den Gebieten, in denen die Daten bereits zu Beginn der Untersuchung vorhanden waren. Würde diese Einschätzung der BGE zutreffen, wären Gebiete mit geringer Datenlage bereits sämtlich ausgeschlossen.

### Fazit

Die dargestellten Ergebnisse der Methodenentwicklung zur Durchführung repräsentativer vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen bilden einen Arbeitsstand ab, der es derzeit noch nicht zulässt, eine abschließende Bewertung der Methodik zur Festlegung von Standortregionen vorzunehmen. Dennoch

ist es begrüßenswert, dass die BGE bereits in diesem frühen Stadium der Methodenentwicklung den erreichten Arbeitsstand zur Diskussion stellt.

Die Unterlagen stellen das geplante Vorgehen verständlich und in weiten Teilen nachvollziehbar dar, auch wenn es bei zahlreichen Prozessschritten an konkreten Angaben zur Umsetzung oder Beispielanwendungen mangelt. Der Arbeitsstand erscheint auch geeignet, als Grundlage für die Fortentwicklung der Methodik zur Durchführung vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen zu dienen, die zu einer transparenten und wissenschaftsbasierten Ausweisung von Standortregionen beitragen.

Es wird erwartet, dass auf Basis der zahlreichen Rückmeldungen zum jetzigen Arbeitsstand sowie durch die eigene Fortentwicklung der Arbeiten der BGE in absehbarer Zeit eine aktualisierte Version des Konzeptes bzw. der fortentwickelten Methodik öffentlich zur Diskussion gestellt werden wird, bevor die Anwendung auf alle Teilgebiete erfolgt.

Die Methoden der internen Qualitätssicherung bei der Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen wie auch in allen weiteren Schritten des Standortauswahlverfahrens sollten nachvollziehbarer dargestellt und Entscheidungen nachvollziehbarer dokumentiert werden. Darüber hinaus scheint ein anonymisiertes Peer-Review-Verfahren nach wissenschaftlichen Standards zur Überprüfung einzelner Verfahrensschritte geboten.

Die Reproduzierbarkeit und Genauigkeit aller angewendeten Verfahrensschritte sollten ermittelt und nachvollziehbar dargestellt werden. Im Dienste eines transparenten Standortauswahlverfahrens sollte die Umsetzung dieser wissenschaftlichen Standards bei der Fortentwicklung der Methodik eine zentrale Rolle einnehmen.

Verschiedene der dargestellten Prozessschritte bergen das Potential, zu einem Ausschluss von Gebieten aufgrund einer schlechten Datenlage bzw. einer Höherbewertung von Gebieten mit guter Datenlage beizutragen. Es erscheint notwendig, dem durch eine Anpassung der Methodik entgegenzuwirken.

Mit ihrem derzeitigen Arbeitstand gewährleistet die Methodik nicht, dass Gebiete mit annähernd vergleichbarer Beweiskraft entweder als Standortregion identifiziert werden oder ausscheiden. Solange die Entscheidung, Gebiete mit geringer Datenlage entweder weiter zu betrachten oder auszusortieren, vor allem auf Basis von Analogieschüssen, Referenzdaten und expertengetragenen, individuellen Annahmen getroffen wird, ist eine Gleichbehandlung mit Gebieten, die über eine hinreichende Erkundungsdichte verfügen, nicht möglich. Diese Gleichbehandlung wird aber mit Blick auf die Kommunikation mit den betroffenen Gebieten und Regionen, insbesondere aber vor dem Anspruch, den Standort mit der bestmöglichen Sicherheit gem. § 1 StandAG zu finden, als unabdingbar angesehen.

Ein Gebiet kann nach Phase 1 nur auf Basis von belastbaren Standortdaten oder belegbar zutreffenden Referenzdaten bzw. fachlich unstrittigen Annahmen aus dem Suchprozess ausscheiden, ansonsten muss es im Verfahren verbleiben und infolgedessen zu einer Standortregion werden. Alternativ könnten Gebiete, für die solche gesicherten Bewertungen nicht möglich sind, in eine Kategorie von weiter zu erkundenden bzw. zu charakterisierenden Gebieten eingruppiert werden. Solange nicht für alle Teilgebiete eindeutige und reproduzierbare sowie operationalisierte Kriterien angewandt werden können, erzeugt die vorgeschlagene Methodik eine Schieflage bei der Behandlung der Teilgebiete, die im weiteren Verfahren zur bevorzugten Berücksichtigung von Gebieten führen kann, für die eine aussagekräftige Datenlage existiert. Diesem Umstand trägt die derzeit vorgestellte Methodik noch nicht in hinreichendem Ausmaß Rechnung.





## Referenzen

BGE (2020): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG. Stand 28.09.2020. Bundesgesellschaft für Endlagerung.

BGE (2022a): Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung.- Geschäftszeichen: SG02303/97-1/1-2022#1 – Objekt-ID: 913984 – Revision: 00, Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE), S. 62.

BGE (2022b): Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung.- Geschäftszeichen: SG02303/97-2/2-2022#10 – Objekt-ID: 919256 – Revision: 00, Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE), S. 744.

BGE (2022c): Steckbrief für Forschungsvorhaben. Entwicklung einer Prognosemethode zum Internbau von Salzstrukturen. [https://www.bge.de/fileadmin/user\\_upload/Standortsuche/Forschung/20220622\\_Steckbrief\\_zu\\_Projekt\\_Variabilitaet\\_Internbau\\_Salzstrukturen.pdf](https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Forschung/20220622_Steckbrief_zu_Projekt_Variabilitaet_Internbau_Salzstrukturen.pdf)

BGR et al. (2016): Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft).

BMUV (2022): Bekanntmachung des Entwurfs der Vorgehensweise zum Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“

Hoth, P., Wirth, H., Reinhold, K. I., Bräuer, V., Krull, P. & Hagen, F. (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands - Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin / Hannover, S. 124.

LAGB (2022): Hinweise des Landesamtes für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) zur „Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“ – Stand 28.03.2022.

LUNG (2022): Fachstellungnahme des Geologisches Dienstes im LUNG M-V zum BGE-Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung.

LBGR (2022): Konzept und Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß EndlSiUntV, 28.03.2022. Fachliche Stellungnahme des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Abteilung Geologischer Dienst.

LGRB (2022): Stellungnahme des LGRB zum Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (Stand 28.03.2022).

LFU (2022): Stellungnahme des LGRB zum „Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“ (Stand 28.03.2022).

NAGRA (2002): Projekt Opalinuston - Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse - Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle.- Technischer Bericht 02-03, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA), Wettlingen, S. 714.

SGD (2020): Fachliche Position der Staatlichen Geologischen Dienste von Berlin, Brandenburg, Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein zur Ausweisung des Teilgebietes „Tertiäres Tongestein“ im Zwischenbericht Teilgebiete der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH vom 28.09.2020.- Stand 01. Februar 2021.