



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Fachliche Einordnung zur
„Stellungnahme zu ausgewählten Aspekten des Konzeptes
und der Methodenbeschreibung zur Durchführung
repräsentativer vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen“
des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie
(LBEG) vom 28.09.2022

Stand 09.05.2023

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abkürzungsverzeichnis	3
1 Einleitung	4
2 Wesentliche Anmerkungen des LBEG und fachliche Einordnung	5
2.1 Grundsätzliche Anmerkungen	5
2.2 Anmerkungen zu handhabbaren Flächen	7
2.3 Anmerkungen zu den Ausschlusskriterien „Seismische Aktivität“ und „Großräumige Vertikalbewegungen“	8
2.4 Anmerkungen zur Auswahl der GzME	8
2.5 Anmerkungen zu Teiluntersuchungsräumen und Kategorisierungen	9
2.5.1 Allgemeine Anmerkungen zu Teiluntersuchungsräumen und Kategorisierungen	9
2.5.2 Anmerkung zur Einstufung von Gebieten in Kategorie D	11
2.5.3 Anmerkung zur Einstufung von Gebieten in Kategorie C	13
2.5.4 Differenzierung zwischen Gebieten der Kategorie A und B	15
2.6 Anmerkungen zur Bewertung der Datenlage, Kenngrößen	19
2.7 Anmerkungen zu Gebieten mit geringer Datenlage/ohne hinreichende Information	23
2.7.1 Allgemeine Anmerkungen	23
2.7.2 Anmerkungen zu repräsentativen Profilen	24
2.8 Anmerkungen zu Methoden zur Bestimmung wichtiger Parameter und Unsicherheiten	26
2.9 Anmerkungen zur geowissenschaftlichen Langzeitprognose – Beschreibung geogener Prozesse	28
2.10 Anmerkungen zu Beckenmodellierung und Paläomaximaltemperatur	29
2.11 Anmerkungen zu 1D-Transportmodellen zur Abschätzung des Radionuklidaustrags	30
2.12 Anmerkungen zum Best-Estimate-Ansatz zur Bewertung von Gebieten mit geringer Datenlage im Rahmen der Modellierung	34
2.13 Anmerkungen zu Steinsalz in steiler Lagerung, GzME Salzstock Bahlburg	35
2.14 Anmerkungen zum Betrachtungszeitraum	39
2.15 Anmerkungen zum Flächenbedarf	40
2.16 Anmerkungen zur Ableitung des Erkundungs-, Forschungs- und Entwicklungsbedarfs	40
Literaturverzeichnis	42
Anzahl der Blätter dieses Dokumentes	44

Abkürzungsverzeichnis

BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
DQL	Kenngroße Datenqualität
EndISiAnfV	Endlagersicherheitsanforderungsverordnung
EndISiUntV	Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung
ewG	einschlusswirksamer Gebirgsbereich
FEP	Features, Events and Processes
GeoMetER	BGE-Forschungsvorhaben „Entwicklung geophysikalischer Messverfahren und Methodenkombinationen zur Erstellung hochauflösender übertägiger Erkundungsprogramme“
geoWK	geowissenschaftliche(s) Abwägungskriterium/-kriterien
GzME	Gebiet(e) zur Methodenentwicklung
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Niedersachsen)
MATURITY	BGE-Forschungsvorhaben „Einfluss der thermischen Reife auf die gekoppelten hydromechanischen Eigenschaften niedrig-durchlässiger Tonsteine – Feld & Laborskala“
NMR	nuclear magnetic resonance
rvSU	repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchung/-en
SGD	Staatlichen Geologischen Dienste
StandAG	Standortauswahlgesetz
THMC-Sim	Simulation thermisch-hydraulisch-mechanisch-chemischer Prozesse
TUR	Teiluntersuchungsraum/-räume
UR	Untersuchungsraum/-räume
URS	BGE-Forschungsvorhaben „Ungewissheiten und Robustheit mit Blick auf die Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle“
VCGR	volume clay gamma ray
VCL	volume clay (Tonmineralvolumen)
VSH	volume shale (Tonsteinanteil)
VSHGR	volume shale gamma ray

1 Einleitung

Am 28.03.2022 hat die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (im Weiteren BGE) einen Methodenvorschlag zu den repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) in Form eines Arbeitsstandes vorgestellt (BGE 2022a, 2022b) und bis Ende Mai 2022 zur Diskussion gestellt. Gegenstand der Veröffentlichung war das Konzept zur Durchführung der rvSU, welches den Arbeitsstand der Methode zur Durchführung der rvSU darstellt und zu welchem die BGE um fachlichen Input aufrief. Zudem wurden in Form der mitveröffentlichten Anlage „Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“ Beispiele aus den Gebieten zur Methodenentwicklung (GzME) dargestellt, die die Methode praxisnah illustrieren. Eine detaillierte Darstellung von Arbeitsständen der einzelnen GzME war ausdrücklich nicht das Ziel dieses Methodenvorschlags.

Am 28.09.2022 wurden der BGE durch das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG), eine „Stellungnahme zu ausgewählten Aspekten des Konzeptes und der Methodenbeschreibung zur Durchführung repräsentativer vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen“ (LBEG 2022) vorgelegt. Das Schreiben ist auf der [Homepage](#) der BGE veröffentlicht.

In dieser fachlichen Einordnung geht die BGE in Kapitel 2 auf die wesentlichen Punkte aus der Stellungnahme des LBEG ein.

Das LBEG beschreibt in seiner Stellungnahme zum Konzept und zur Anlage zur Durchführung der rvSU das geplante Vorgehen der BGE als verständlich und in weiten Teilen nachvollziehbar. Dieser Arbeitsstand wird als geeignete Grundlage zur Fortentwicklung der Methodik zur Durchführung der rvSU angesehen. Gleichzeitig gibt das LBEG auf Grund des Charakters eines Arbeitsstandes keine abschließende Bewertung des Konzepts ab. Es wird jedoch begrüßt, dass die BGE zu einem frühen Stadium des Verfahrens die Methodik zur Diskussion gestellt hat.

Die Stellungnahme beleuchtet fachliche Themen wie u. a. „Teiluntersuchungsräume und Kategorisierung“, „Bewertung der Datenlage und Kenngrößen“ und „Steinsalz in steiler Lagerung“ am Gebiet zur Methodenentwicklung Salzstock Bahlburg. Wichtige Anmerkungen betreffen u. a. die „Beckenmodellierung und Paläomaximaltemperatur“ im Wirtsgestein Tonstein, sowie die Verwendung des „Best Estimate“-Ansatzes und „1-D Transportmodellen zur Abschätzung des Radionuklidaustrags“. Darüber hinaus werden Fragen und Anmerkungen übergeordneter Natur, z. B. den Aufbau des Dokuments betreffend, zu Beginn der Stellungnahme aufgeführt (LBEG 2022).

2 Wesentliche Anmerkungen des LBEG und fachliche Einordnung

Im folgenden Kapitel werden einige Kritikpunkte der Stellungnahme des LBEG aufgegriffen und diskutiert. Dabei besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit. Nachvollziehbare fachliche Hinweise werden im weiteren Verlauf des Standortauswahlverfahrens berücksichtigt, aber nicht in jedem Fall explizit kommentiert. Jedem Unterkapitel vorangestellt, werden die Anmerkungen des LBEG in blauer Schriftfarbe wiedergegeben; Kernaussagen werden zitiert und kursiv dargestellt. Die Einordnung und Begründung durch die BGE folgt dann in schwarzer Schrift.

2.1 Grundsätzliche Anmerkungen

Das LBEG beschreibt die im Dokument vorgestellten übergeordneten Ziele der Methodenentwicklung zur Durchführung der rvSU als schlüssig und nachvollziehbar, sieht aber für die Fortschreibung der Methodik Verbesserungsbedarf im Bereich Übersichtlichkeit, Struktur und Transparenz.

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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 [...] Für Fortschreibungen der Methodik zur Durchführung der rvSU wird eine zusammenhängende, übersichtlichere und nachvollziehbarere Darstellung mit Bezug zu den jeweiligen Modellgebieten und Wirtsgesteinstypen empfohlen.“ (LBEG 2022, S. 2)

Fachliche Einordnung: Die BGE nimmt den Hinweis auf, die Nachvollziehbarkeit und Übersichtlichkeit künftiger Texte zu erhöhen.

Begründung: Der komplexe Aufbau von Konzeptdokument und Anlage (BGE 2022a, 2022b) ist teils auf die Komplexität und thematische Breite der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen zurückzuführen. Um die inhaltliche Auseinandersetzung mit den seitens der BGE im März 2022 veröffentlichten Dokumenten zu erleichtern, wird im Konzeptdokument (BGE 2022a) an geeigneter Stelle auf einzelne Kapitel der Anlage (BGE 2022b) verwiesen. Die Kapitelüberschriften orientieren sich am Ablaufschema und den Inhalten der rvSU (BGE 2022a, Blatt 22), welche als Einleitung in der Anlage zur besseren Verständlichkeit nochmals als einleitendes Kapitel aufgeführt sind (BGE 2022b). Auf die GzME wird in Form von konkreten Beispielen eingegangen, weil eine am Wirtsgestein bzw. an den GzME aufgehängte Strukturierung des Dokuments aus Sicht der BGE zu einer starken Redundanz der Inhalte geführt hätte.

„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.“ (LBEG 2022, S. 2)

Fachliche Einordnung: Der Wunsch des LBEG nach einer dokumentierten Qualitätssicherung ist nachvollziehbar und wird bereits von der BGE implementiert.

Begründung: In diesem Zusammenhang sei auf den [Vortrag zur „Qualitätssicherung im Bereich Standortauswahl“](#)¹ im Rahmen der öffentlichen Sitzung des Planungsteams Forum Endlagersuche vom November 2022 verwiesen. Dort wird erläutert, wie die hohe fachliche Qualität unserer Arbeiten durch wissenschaftsbasiertes Arbeiten gewährleistet und formal durch die interne Stabsstelle *Qualitätssicherung* des Bereichs Standortauswahl sichergestellt wird.

Arbeitsstände und finale Unterlagen durchlaufen bis zu drei Qualitätssicherungsstufen („Quality Gates“), bei denen die fachliche Qualität durch bereichs- oder BGE-interne sowie externe Fachexpert*innen geprüft wird. Eine Qualitätssicherung geschieht aber auch schon bei der Nutzung von Daten und der Bewertung von Gebieten. Alle bei der BGE eingehenden Datensätze werden einer Vier-Augen-Plausibilitätsprüfung unterzogen. Während der Bearbeitung und Auswertung finden weitere fachliche Qualitätskontrollen der genutzten Daten statt, z. B. werden Aussagen zur korrekten Schichtansprache im Zuge der 3D-Modellierung bei der Korrelation von Schichtgrenzen geprüft. Trotz dieser BGE-internen Plausibilitätsprüfung ist eine initiale Qualitätseinschätzung von Daten durch die zuständigen Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) für die BGE von sehr großem Wert und findet bei der Bearbeitung Berücksichtigung.

„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.“ (LBEG 2022, S. 2)

Fachliche Einordnung: Der Wunsch des LBEG nach einer Darstellung des Umgangs mit den Ergebnissen der Fachkonferenz Teilgebiete und mit Stellungnahmen der SGD ist nachvollziehbar und wird bereits von der BGE umgesetzt.

¹ Link zu BGE.de; https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/07_-_Vortraege/Vortraege_Schritt_2_Phase_1/Forum_Endlagersuche/20221130_BGE-Praesentation_Qualitaetssicherung_STA_PFE-Sitzung_nicht_barrierefrei.pdf

Begründung: Die BGE hat im Februar 2023 eine [Datenbank²](#) veröffentlicht in der Anmerkungen und kritische Hinweise, die im Rahmen der Fachkonferenz Teilgebiete von Öffentlichkeit oder Fachexperten*innen geäußert wurden, gesammelt sowie die Stellungnahme der BGE zu jedem einzelnen Hinweis dokumentiert sind. Auch Stellungnahmen, die die BGE abseits der Fachkonferenz Teilgebiete erreicht haben – etwa durch das Nationale Begleitgremium, die SGD und die Fachcommunity – sollen mittelfristig in der Datenbank erfasst und eingeordnet werden. Zudem hat die BGE Hinweise aus Stellungnahmen der SGD bereits im Rahmen der Methodenentwicklung zur Durchführung der rvSU berücksichtigt und auch benannt, siehe z. B. die Beispiele 40 und 46 in BGE (2022a, 2022b).

2.2 Anmerkungen zu handhabbaren Flächen

Das LBEG gibt zu bedenken, dass die Einengung der Standortregionen und die Ausweisung von handhabbaren Flächen für eine zielführende Gestaltung der übertägigen Erkundungen (Phase II) nicht der Maßstab des Entscheidungsprozesses sein darf.

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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.“ (LBEG 2022, S. 2)

Fachliche Einordnung: Die Ansicht des LBEG ist in Teilen nachvollziehbar.

Begründung: Die BGE stimmt mit dem LBEG überein, dass die Anzahl und Fläche von Standortregionen nicht der Maßstab für die Ermittlung von Standortregionen ist. Die Eingrenzung der Teilgebiete auf Standortregionen findet unvoreingenommen und nach Maßgabe von § 14 StandAG statt.

Zusätzlich muss die BGE mit dem Standortregionenvorschlag auch Erkundungsprogramme für die übertägige Erkundung der vorgeschlagenen Standortregionen vorlegen. Die BGE geht hierbei davon aus, dass die zeitlichen Rahmenbedingungen des Standortauswahlverfahrens nur die Erkundung einer beschränkten Anzahl von Standortregionen in Phase II erlauben. Die BGE begrüßt daher eine wissenschaftsbasierte Diskussion zu den Zeitbedarfen der übertägigen Erkundung der Standortregionen in Phase II. Öffentliche Diskussionen zu den Zeitbedarfen wurden nach Veröffentlichung der Stellungnahme des LBEG (LBEG 2022), z. B. durch das Forum Endlagersuche gestartet.

² Link zu BGE.de; <https://www.bge.de/de/endlagersuche/fachkonferenz-datenbank/>

2.3 Anmerkungen zu den Ausschlusskriterien „Seismische Aktivität“ und „Großräumige Vertikalbewegungen“

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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‘ (2022) ein.“ (LBEG 2022, S. 2)

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die Anmerkungen des LBEG nachvollziehen.

Begründung: Mit Inkrafttreten des aktuellen Nationalen Anhangs der DIN EN 1998-1 und der Veröffentlichung des Sachstands zum Ausschlusskriterium "seismische Aktivität" nach dem Standortauswahlgesetz (StandAG) durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV 2022) wird die BGE den Umgang mit dem Ausschlusskriterium „seismische Aktivität“ erneut prüfen.

Das seitens des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) vorgeschlagene Vorgehen (BMUV 2022) ist fachlich grundsätzlich umsetzbar. Zwar ist ein In-Beziehung-Setzen der Erdbebenkarten des aktuellen und des vorher gültigen Nationalen Anhangs aufgrund der unterschiedlichen Datengrundlagen und Berechnungsmethoden nur indirekt möglich, jedoch haben Grünthal & Bosse (2021) und Kaiser & Spies (2020) jeweils verschiedene Methoden zusammengetragen, mit denen der im StandAG enthaltene Erdbebenzonenbegriff auf den aktuell gültigen Nationalen Anhang zu übertragen wäre. Die BGE wird die verschiedenen Umrechnungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung der Ungewissheiten bei der Umrechnung prüfen, um zu ermitteln, ob in weiteren Gebieten eine zu den Kriterien des § 22 Absatz 2 Nummer 4 StandAG vergleichbare seismische Gefährdung vorliegt.

2.4 Anmerkungen zur Auswahl der GzME

Das LBEG bezeichnet die Methodenentwicklung zur Durchführung der rvSU anhand von GzME als nachvollziehbar, hinterfragt jedoch die Übertragbarkeit der Methodik auf andere Teilgebiete.

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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.“ (LBEG 2022, S. 3)

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die Kritik teilweise nachvollziehen.

Begründung: Die GzME wurden unter anderem so ausgewählt, dass in jedem Wirtsgestein ein GzME liegt. Dementsprechend sind wirtsgesteinsspezifische Besonderheiten in der Methode berücksichtigt. Die BGE stimmt dem LBEG jedoch insoweit zu, dass es speziell im Tongestein weitere Besonderheiten (z. B. hohe Inkohlungswerte oder variabler Verfestigungsgrad) gibt, die nicht explizit berücksichtigt werden konnten. Jedoch wurde mit der rvSU-Methode der übergeordnete Rahmen geschaffen, um die erwähnten Einzelaspekte in der Umsetzung zu berücksichtigen. Gleichzeitig laufen Arbeiten zur Erforschung der Übertragbarkeit verschiedener Eigenschaften des Untergrunds. Dazu gehören beispielsweise die Arbeiten zur Internbauprognose von Salzstöcken, für die mehrere Salzstöcke (nicht nur das GzME Bahlburg) betrachtet werden (siehe [Steckbrief zum Forschungsvorhaben „Entwicklung einer Prognosemethode zum Internbau von Salzstrukturen“](#) (BGE 2022j)) oder ein Forschungsprojekt zur Übertragbarkeit von Tongesteinseigenschaften anhand ihrer Inkohlungswerte (siehe [Steckbrief zum Forschungsvorhaben „MATURITY“](#) (BGE 2021j)). Im Sinne des lernenden Verfahrens kann die BGE begründete Anpassungen der Methodik vornehmen, so lange die Vergleichbarkeit zwischen den Gebieten gewahrt bleibt.

2.5 Anmerkungen zu Teiluntersuchungsräumen und Kategorisierungen

2.5.1 Allgemeine Anmerkungen zu Teiluntersuchungsräumen und Kategorisierungen

Das LBEG bezeichnet den Ansatz, große Teilgebiete in Teiluntersuchungsräume (TUR) zu unterteilen, sowie den Ansatz einer Kategorisierung über Prüfschritte als nachvollziehbar. Das LBEG empfiehlt die Entscheidungsgrundlagen zur Differenzierung in TUR offenzulegen und schlägt konkrete Kriterien vor. Weiter werden im Zusammenhang mit der Kategorisierung Vorschläge zur Verwendung von Daten gegeben und die Erwartungshaltung geäußert, die verwendete Datenbasis zu dokumentieren, darzulegen, zu rechtfertigen und öffentlich zur Diskussion zu stellen.

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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).“ (LBEG 2022, S. 3)

Fachliche Einordnung: Der Wunsch der LBEG entspricht der aktuellen Vorgehensweise.

Begründung: Die Einteilung von Untersuchungsräumen (UR) in Teiluntersuchungsräume (TUR) geschieht anhand der Grenzen geologischer und/oder tektonischer Einheiten und wird in den rvSU für jeden Untersuchungsraum begründet dargestellt werden. Mit den vom LBEG angesprochenen „technischen Arbeiten“ (BGE 2022b, Blatt 225) ist die tatsächliche Durchführung und Dokumentation der Arbeiten gemeint, die durch die Einteilung von Untersuchungsräumen in Teiluntersuchungsräume erleichtert wird.

„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.“ (LBEG 2022, S. 3)

Fachliche Einordnung: Eine detaillierte Darstellung von Arbeitsständen der einzelnen GzME war ausdrücklich nicht das Ziel der hier diskutierten Veröffentlichung.

Begründung: Das Konzept zur Durchführung der rvSU wurde früh im Verlauf von Schritt 2 der Phase I veröffentlicht, um eine öffentliche Diskussion der Methodik zu erlauben, bevor die Arbeiten zu weit fortgeschritten wären. Daher konnte dort nur ein Arbeitsstand der Methode zur Durchführung der rvSU dargestellt werden.

„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.“ (LBEG 2022, S. 3)

Fachliche Einordnung: Die Anmerkung des LBEG ist nachvollziehbar.

Begründung: Im Standortregionenbericht wird das Vorgehen bei der Bewertung der einzelnen (Teil-)Untersuchungsräume beschrieben werden. Dazu gehört, dass alle Bewertungen nachvollziehbar dargestellt und dokumentiert sind. Sofern Informationen übertragen werden, muss dies in den rvSU explizit kenntlich gemacht werden. Zusätzlich werden Ungewissheiten zumindest qualitativ angegeben, wobei eine Bewertung der Übertragbarkeit in den jeweiligen Anwendungsfall einfließen werden.

Um den Umgang der BGE mit den Beratungsergebnissen der Fachkonferenz Teilgebiete transparent abzubilden, hat die BGE eine Datenbank entwickelt und veröffentlicht. Es ist geplant, auch die fachlichen Hinweise aus der Konsultation des Arbeitsstandes der Methodenentwicklung zur Durchführung der rvSU z. B. seitens der SGD in dieser Datenbank für die Öffentlichkeit verfügbar zu machen.

2.5.2 Anmerkung zur Einstufung von Gebieten in Kategorie D

Das LBEG fasst den im Dokument vorgestellten Prüfschritt zur Ermittlung von Gebieten der Kategorie D zusammen und gibt Vorschläge zu Umsetzung, Datenhandhabung und Öffentlichkeitsbeteiligung.

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

- *„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.“ (LBEG 2022, S. 4)

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die Hinweise nachvollziehen. Die methodische Herangehensweise bei der Bewertung der Abfolgen wird durch die BGE dokumentiert, um die Nachvollziehbarkeit der geologischen Interpretation zu gewährleisten.

Begründung: Die Aussage auf Blatt 265 (BGE 2022b) ist im Kontext der von der BGE veröffentlichten Unterlage auf die Nicht-Berücksichtigung von 100 m mächtigen Abfolgen, die nicht aus einem Wirtsgestein bestehen, zu verstehen. Alle Tongesteinsabfolgen haben natürlicherweise eine gewisse Heterogenität. Diese lässt sich durch Ablagerungsprozesse sowie diagenetische Überprägungen herleiten. Die Prüfung der Mindestanforderung Mächtigkeit bezieht sich, wie auf Blatt 265 beschrieben, auf eine mindestens 100 m mächtige Abfolge eines Wirtsgesteins (BGE 2022b). Geringe Einschaltungen von Siltstein, die in einer Tongesteinsabfolge auftreten, werden von der Wirtsgesteinsdefinition erfasst, sofern erwartet werden kann, dass diese Abfolge die Anforderungen an die Gebirgsdurchlässigkeit erfüllt. Für die Anwendung der Mindestanforderungen ist auch in diesem Schritt des Verfahrens die Wirtsgesteinsdefinition maßgeblich. Diese wird, sollte sich zukünftig die Notwendigkeit ergeben, von der BGE weiterentwickelt. Zur Erfüllung der Mindestanforderung an die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) wird die Mächtigkeit des „Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion“ Tongestein geprüft. Eine Prüfung der Anforderung an die Gebirgsdurchlässigkeit kann auch in diesem Schritt von Phase I nur anhand von Analogieschlüssen erfolgen, wie sie in Grundlagenstudien (Appel & Habler 2001; Hoth et al. 2007) publiziert sind.

Es kann davon ausgegangen werden, dass sich das Auflösungsvermögen einer Gamma Ray-Messung in den letzten 60 Jahren nicht wesentlich verbessert hat. Diese Messung trägt entscheidend zur Log-gestützten Definition heterogener Einschaltung, vor allem im Tongestein, bei. Von der quantitativen Nutzung älterer Eigenpotenzial(self potential)-Messungen sieht die BGE zum gegenwärtigen Zeitpunkt ab. Punktuell nutzbar sind einige NMR(nuclear magnetic resonance)-Datensätze (Logs), die sowohl eine sehr hohe Auflösung besitzen als auch der Bestimmung der partiellen Tonporosität dienen. Die Bestimmung eines Tonmineralgehaltes ist mittels Bohrlochmessungen nur mit

Messungen möglich, die über eine Neutronenaktivierung Elemente bestimmen und diese über spezielle Verfahren in Minerale überführen. Derartige Messungen sind ähnlich selten wie die beschriebenen NMR-Messungen. Die BGE versucht regionen- und stufenabhängige Grenzwerte für Gamma Ray-Messungen zu bestimmen, die der Wirtsgesteinsdefinition Tonstein entsprechen. Die Definition dieser Grenzwerte hängt von der vorhandenen Analytik ab. Die Hinzunahme von Logs der Neutronenporosität sowie Widerstandsmessungen kann helfen, den Anteil von Tonmineralen besser einzugrenzen. Allerdings wird eine genaue Berechnung eines Tonmineralvolumens („VCL“) nur in gut beprobten Regionen gelingen. Eine Bewertung anhand eines von der Gamma Ray-Messung abgeleiteten relativen Tonsteinanteils („VSH“) soll umgangen werden. Die von der BGE verwendeten technischen Verfahren werden ebenfalls in Berichten erfasst und spätestens mit dem Standortregionenbericht veröffentlicht.

Die Heterogenität einer Abfolge siltiger, sandiger oder Karbonat führender Tongesteine wird in Kapitel 5.7.4 „Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit“ Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG wie beschrieben bewertet (BGE 2022b). Silt-Lagen oder geringmächtige Einschaltungen anderer Lithologien werden ebenfalls in der Bewertung von Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG berücksichtigt, führen jedoch nicht zu einer Nicht-Erfüllung der Mindestanforderung Mächtigkeit. Es wird davon ausgegangen, dass ein isolierter Siltstein eine advektiv gesteuerte Durchlässigkeit besitzt, die nahe an den diffusiv gesteuerten Durchlässigkeitswerten eines Tonsteines liegt. Daher scheint es in erster Näherung legitim, dass kleine Siltlagen, von denen noch dazu eine linsenförmige Verteilung zu erwarten ist, lediglich im Rahmen der Bewertung der Anlage 3 Berücksichtigung finden.

Die BGE nimmt den Hinweis auf Weiterentwicklung bzw. Konkretisierung auf. Jedoch wird vom LBEG selbst auf die Herausforderungen durch lateral begrenzte sowie graduelle Gesteinsvariationen sowie die Unterschiede in Auflösung und Aussagekraft der verfügbaren Daten hingewiesen, auf deren Basis sich eine strikt auf alle Gebiete gleichermaßen anwendbare und reproduzierbare Systematik nicht erstellen lässt. Die Tonstudie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hoth et al. 2007) ist der Versuch, die in den Schichtenverzeichnissen enthaltenen subjektiven Informationen nach einer einfachen Systematik hinsichtlich des Tonanteils und somit einer Homogenität (ausgenommen bei Mergeln) zu bewerten.

2.5.3 Anmerkung zur Einstufung von Gebieten in Kategorie C

Das LBEG bezeichnet das Vorgehen zur Einstufung von Gebieten in Kategorie C als grundsätzlich nachvollziehbar, übt jedoch deutliche Kritik an der im Dokument verwendeten Nomenklatur zur Bewertung und gibt einen Verbesserungsvorschlag.

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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.“ (LBEG 2022, S. 4)

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die Kritik teilweise nachvollziehen und möchte die Methodik im Folgenden noch einmal zusammenfassen.

Begründung: In Prüfschritt 2 (qualitative Bewertung des sicheren Einschlusses) kommen unter anderem verschiedene Kriterien zum Einsatz, die auf Grundlage der in Anlagen 1 bis 4 (zu § 24 StandAG) festgelegten Wertungsgruppen unabhängig voneinander bewertet werden. Die Ergebnisse dieser Bewertungen fließen in die Prüfung des Gebietes anhand einer Gesamtbewertung ein, bei der die Einzelbewertungen zusammengefasst werden und die Kategorisierung des Gebietes stattfindet. Die hier vorgenommene Gesamtbewertung beruht auf der Bewertung mittels der Wertungsgruppen; die Wertungsgruppen werden also nicht außer Kraft gesetzt (BGE 2022b, Blatt 431). Obwohl die Kriterien bei der Gesamtbewertung nicht gewichtet werden, können „generelle Wichtungsaspekte im Einzelfall verbalargumentativ bei der Gesamtbewertung hinzugezogen werden“ (BGE 2022b, Blatt 431). Dadurch kann ein Gebiet im Prüfschritt 2 keine überwiegend gute Bewertung aufweisen. Im Prüfschritt 3 kann ein Gebiet als ungeeignet für die Endlagerung identifiziert werden, sofern das Massen- und Stoffmengenaustragskriterium nach § 4 Endlagersicherheitsanforderungsverordnung (EndlSiAnfV) nicht eingehalten wird. Dies ist in der Anwendung einem direkten Ausschluss gleichzusetzen.

„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.“ (LBEG 2022, S. 5)

Fachliche Einordnung: Die BGE möchte dem Vorschlag des LBEG wie unten begründet nicht folgen.

Begründung: Der Begriff „überwiegend günstig“ in Prüfschritt 2 ist nicht mit „weniger günstig“ bzw. „ungünstig“ der Wertungsgruppen der Indikatoren der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK) gleichzusetzen. Daher hat die BGE bewusst vermieden, für die Gesamtbewertung von Prüfschritt 2 dieselbe Terminologie zu verwenden wie für die Bewertung der einzelnen Indikatoren. Dies geschah, um nicht den Eindruck zu erwecken, dass die Gesamtbewertung ein arithmetisches Mittel der Einzelbewertungen der Indikatoren ist. Wenn beispielsweise ein Kriterium aus einem als

„günstig“ bewerteten Indikator und zweien als „bedingt günstig“ bewerteten Indikatoren bestünde, kann die Gesamtbewertung unter Umständen trotzdem als „überwiegend gut“ eingestuft werden.

Zusätzlich gibt es über die im StandAG aufgeführten Mindestanforderungen und Ausschlusskriterien noch weitere Anforderungen aus der EndSiAnfV, welche für die Endlagerung radioaktiver Abfälle eingehalten werden müssen. Sofern diese nicht eingehalten werden können, ist das Gebiet als „ungeeignet“ einzustufen.

2.5.4 Differenzierung zwischen Gebieten der Kategorie A und B

Das LBEG weist darauf hin, dass die Differenzierung zwischen Gebieten der Kategorie A und B im Dokument nicht ausreichend konkret beschrieben wird und sieht zudem Unstimmigkeiten in der Bewertungsnomenklatur der Kategorien. Weiter sieht das LBEG das Risiko falscher Bewertungen von Gebieten mit geringer oder nicht-hinreichender Datenlage.

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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.“ (LBEG 2022, S. 5)

Fachliche Einordnung: Der Wunsch des LBEG nach begründeten und nachvollziehbaren Bewertungen entspricht auch dem Anspruch der BGE.

Begründung: Die genaue Methodik des sicherheitsgerichteten Diskurses wird zurzeit detailliert ausgearbeitet und wird voraussichtlich öffentlich zur Diskussion gestellt werden. Die Terminierung „weniger gut geeignet“ für Kategorie B-Gebiete ist nicht absolut, sondern relativ zu den Kategorie A-Gebieten zu verstehen. Die Bezeichnung „am besten geeignet“ für Kategorie A-Gebiete bedeutet nicht, dass es sich hierbei um ein einzelnes Gebiet handelt. Vielmehr sind damit eine beliebig große Anzahl von Gebieten gemeint und es ist durchaus möglich mehrere Kategorie A-Gebiete in einem Untersuchungsraum (Teilgebiet in Schritt 1 Phase I) zu ermitteln. Die Kennzahlen betreffen den Massen- bzw. Stoffmengenausstrag und werden in den Arbeiten zur quantitativen Bewertung des sicheren Einschlusses (Prüfschritt 3) ermittelt (BGE 2022a, Blatt 20). Weitere Informationen zur Ermittlung der Kennzahlen sind in der Anlage zur Methodenbeschreibung der rvSU zu finden (BGE 2022b, Blatt 517 ff.).

„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.“ (LBEG 2022, S. 5)

Fachliche Einordnung: Die Vermutung des LBEG, dass der erhöhte Detailgrad quasi durch den Ausschluss von Gebieten mit geringer Datendichte erreicht wird, ist nicht richtig und wird im Folgenden klargestellt. Gebiete mit nicht hinreichender Datenlage werden in den rvSU nicht in die Kategorien A bis D eingestuft.

Begründung: Der Detailgrad, mit dem ein Gebiet betrachtet wird, unterscheidet sich für verschiedene Arbeiten innerhalb der rvSU, aber nicht für verschiedene Untersuchungsräume oder Teiluntersuchungsräume. Beispielsweise finden die Arbeiten für die allgemeine Beschreibung der geogenen Prozesse auf Ebene 1 (Grundlage für alle Untersuchungsräume) statt: Da geogene Prozesse meist großräumig wirken, werden sie zunächst nicht separat für jeden Untersuchungsraum erfasst. Die Prüfschritte 1 bis 3 werden hingegen mit einem höheren Detailgrad (Ebene 3, Arbeitsschritte für jeden Teiluntersuchungsraum) durchgeführt, da sie zum Ziel haben, auch innerhalb der Untersuchungsräume räumlich zu differenzieren (BGE 2022a, Blatt 22).

Ein Beispiel wie eine Bewertung detaillierter und räumlich spezifischer werden kann, sind die Eigenschaften des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion. Zunächst wird in Prüfschritt 1 z. B. überprüft, ob die Mindestanforderung Mächtigkeit erfüllt ist. Im weiteren Verlauf der Bearbeitung wird dann ausschließlich in den Gebieten geprüft, die die Mindestanforderung Mächtigkeit erfüllen, ob der Massen- und Stoffmengenaustrag innerhalb des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion rechnerisch eingehalten werden kann. Dazu müssen numerische Modelle u. a. mit weiteren Gesteinseigenschaften belegt (parametrisiert) werden. Diese Arbeiten stellen eine Erhöhung des Detailgrades dar.

Die BGE möchte darüber hinaus klarstellen, dass kein Gebiet aufgrund von fehlenden Daten aus dem Verfahren ausscheiden wird. Vielmehr werden Gebiete ohne hinreichende Informationen im Rahmen der rvSU keiner der Kategorien A bis D zugeordnet (d. h., dass sie in den rvSU nicht bewertet werden). Erst am Ende von Phase I werden solche Gebiete ohne hinreichende Informationen mit den ermittelten Standortregionen verglichen, um den weiteren Umgang für Phase II empfehlen zu können. Sollte dieser Vergleich zeigen, dass Gebiete ohne hinreichende Informationen unter realistischen Annahmen schlechter abschneiden als die ermittelten Standortregionen, kommen diese Gebiete selbst nicht mehr als Standortregionen infrage. Dies mag beispielsweise der Fall sein, wenn in einem Gebiet ohne hinreichende Informationen ein geogener Prozess abläuft, der in den Standortregionen keine Rolle spielt.

Das LBEG gibt konkrete Hinweise und Anmerkungen zu ausgewählten Aspekten der Prüfschritte.

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

- *„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.“ (LBEG 2022, S. 5)*

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die Frage des LBEG nachvollziehen.

Begründung: Die BGE ist dabei zu evaluieren, inwiefern diese Begrenzung auch auf andere Tongesteine übertragen werden kann.

- *„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).“ (LBEG 2022, S. 6)*

Fachliche Einordnung: Die BGE berücksichtigt alle angesprochenen Hinweise bereits und weist auf die unterschiedliche Zielsetzung bei der Anwendung der Mindestanforderungen und der Bewertung von § 7 Abs. 6 Nr. 3 Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndlSiUntV) hin.

Begründung: Die Herausforderung bei einer Bewertung auf Basis von Schichtenverzeichnissen ist der BGE bekannt. Trotzdem muss die BGE in dieser Phase des Verfahrens eine Bewertung auf Grundlage der von den zuständigen Behörden der Länder und des Bundes übermittelten Daten durchführen. Der Forderung nach einer Bewertung der Gebiete vorwiegend auf Basis geophysikalischer Bohrlochmessungen kommt die BGE bereits nach, da immer die bessere Datengrundlage zur Bewertung herangezogen wird. Leider stehen bohrlochgeophysikalische Daten nicht flächendeckend zur Verfügung und bei der Verwendung geophysikalischer Bohrlochmessungen bestehen ähnliche Herausforderungen wie bei der Nutzung von Schichtenverzeichnissen. Denn auch bohrlochgeophysikalische Messungen orientieren sich in ihrer Art und ihrem Umfang am Ziel der Bohrung und liegen so oft lediglich in solchen Bereichen in nutzbarem Umfang vor, in denen poröse

Reservoirabfolgen anstehen. Zudem müssen diese Daten in vielen Fällen erst aufwendig digitalisiert oder zumindest editiert und somit für eine Bewertung aufbereitet werden, da sonst eine objektive Bewertung nicht wissenschaftlich sinnvoll möglich ist.

Schlussendlich sollte noch darauf hingewiesen werden, dass für die Bewertung des Indikators 1 der Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG nicht die Erfüllung der Anforderungen an die Mindestanforderung „Gebirgsdurchlässigkeit“ geprüft wird, sondern sich diese Bewertung darauf bezieht, die Zuverlässigkeit der geologischen Charakterisierung eines Gebietes zu berücksichtigen. Diese hängt von der Heterogenität der Gesteine und ihrer Eigenschaften ab. Günstig sind eine homogene Verteilung der Tongesteine und eine geringe Variabilität ihrer guten einschlusswirksamen Eigenschaften. Je homogener die einschlusswirksamen Parameter des Wirtsgesteines und je einheitlicher diese Gesteinsfazies desto positiver ist das Kriterium zu bewerten. Ein homogener einheitlicher Tonanteil ist daher besser zu bewerten als eine Variabilität in der Ton-Einsteinverteilung, wie sie im Schichtenverzeichnis reflektiert wird.

- *„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.“ (LBEG 2022, S. 6)*

Fachliche Einordnung: Den Wunsch des LBEG nach einer Berücksichtigung divergierender strukturgeologischer Interpretationen kann die BGE nachvollziehen.

Begründung: Bei der Entwicklung der Methodik zur Bewertung der tektonischen Überprägung eines Untersuchungsraumes wurde dieser Aspekt mit der Einbeziehung von drei unterschiedlichen Komponenten (a: regionale/überregionale Störungen, b: diffuse tektonische Überprägung und c: Beschreibung des tektonischen Großraums) für die Bewertung des Indikators berücksichtigt. Die Bewertung des Indikators basiert somit nicht ausschließlich auf der Differenzierung zwischen regionalen (1 km als „bedingt günstig“) und überregionalen Störungen (3 km als „bedingt günstig“), sondern auch auf der verbalargumentativen Beschreibung der tektonischen Entwicklung eines Untersuchungsraumes (tektonischer Großraum), mit dem Ziel die strukturgeologische Situation ganzheitlich zu beschreiben und auch mögliche abweichende strukturgeologische Interpretationen und fachliche Modellvorstellungen zu diskutieren und in die Bewertung mit einfließen zu lassen.

- *„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.“ (LBEG 2022, S. 6)*

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die Empfehlung nachvollziehen.

Begründung: Die BGE erhöht im Rahmen von Schritt 2 der Phase I mit steigender Eignung von Gebieten schrittweise den Detailgrad der Bearbeitungstiefe und der Bewertungsgrundlage. Basierend auf diesem Ansatz ist die Verwendung von ortsspezifischen Fazieskarten in Gebieten, die eine hohe Eignung erwarten lassen, sinnvoll. Die BGE verweist jedoch auf die sehr gute Datengrundlage, die nötig sind, um selbst einfache Fazieskarten für geeignet erscheinende Gebiete zu erstellen. Faziesinterpretationen basieren auf aufwendigen sedimentologischen Studien. Für die Erstellung von Fazieskarten sind in der Regel aufwendige Beschreibung von Bohrkernmaterial, die gezielte Auswertung bohrlochgeophysikalischen Daten und die Beschreibung und Interpretation von Aufschlüssen im Gelände notwendig. Daher ist eine Erstellung von spezifischen Fazieskarten nicht für alle Untersuchungsräume zielführend. Die Bewertung erfolgt auf Basis des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes, dabei wird aber auf die Ungewissheiten geachtet, die durch Nutzung schon existierender Fazieskarten entstehen können. Der BGE ist jedoch der Wert solcher Fazieskarten durchaus bewusst, sodass die BGE bemüht ist, aktuelle sedimentologische Studien und Forschungsvorhaben beobachtend zu begleiten und durch wissenschaftliche Kooperationen im Rahmen von Dissertationen oder Masterarbeiten fazielle Besonderheiten einzelner Regionen herauszuarbeiten (vgl. Zühlke 2022).

2.6 Anmerkungen zur Bewertung der Datenlage, Kenngrößen

Das LBEG sieht die Betrachtung der Kenngrößen „Datenqualität“, „Datenquantität“, „interpretative und weitere Hinweise“, sowie „geologische Komplexität“ bei der Geosynthese als nachvollziehbar. Das LBEG gibt konkrete Hinweise und Anmerkungen zur Datenlage und der Verwendung von Daten.

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

- *„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.“ (LBEG 2022, S. 6 f.)*

Fachliche Einordnung: Die BGE kann sich der geäußerten Kritik in dieser Form nur teilweise anschließen. Das Kapitel verfolgt den Zweck, die vorhandenen Daten und deren Informationsgehalt systematisch zu benennen und den Umgang mit diesen Daten im Rahmen der Bearbeitungen der Geosynthese darzulegen.

Begründung: Bei dem vorgestellten Verfahren über die Bestimmung des Informationsgehaltes von Bohrungen als Input zur Kenngröße Datenqualität (DQL) werden Bohrungen hinsichtlich ihrer Aussagefähigkeit zum jeweiligen Wirtsgestein bewertet. Dafür ist es nur relevant, ob es Informationen zur Tiefenlage des potenziellen Wirtsgesteinshorizonts (z. B. Staßfurt-Steinsalz) gibt. Zusätzliche petrografische Informationen führen zu einer Unterscheidung zwischen Detailgrad 1 und Detailgrad 2 (vgl. BGE 2022b, Blatt 234). Die DQL-Abschätzung zielt demnach darauf ab, eine Aussage darüber zu tätigen, ob die digital vorliegenden Daten eine ausreichend hohe Auflösung hinsichtlich der Erfassung der Wirtsgesteine haben. Auf diese Weise werden Bohrungen, für die nur Kurzschichtenverzeichnisse vorliegen, automatisch identifiziert. Der jeweilige Informationsgehalt kann dementsprechend bei weiteren Bewertungen im Rahmen der rvSU, z. B. zum Indikator 3.1a, berücksichtigt werden.

Das vorgestellte Verfahren dient nicht der Überprüfung und Darstellung der Güte von Informationen und ist damit keine Qualitätskontrolle. Einschätzungen zur Qualität der fachlichen Aussage sollen im Kontext des zunehmenden Detaillierungsgrads bei der Bearbeitung erfolgen. Das Verfahren bildet lediglich den Gehalt an bereits digital verfügbaren Informationen über Bohrungsdaten in den vorhandenen Datenbanken ab. Auf diese Weise ermöglicht es der BGE, dort, wo nötig, noch weitere (analoge) Daten gezielt nachzupflegen und folglich die DQL-Bewertung noch zu verbessern. Der BGE ist bewusst, dass die digital vorliegenden Schichtenverzeichnisse, die der Bewertung des Informationsgehaltes zugrunde liegen, nicht die Gesamtheit aller Daten und Informationen darstellen. Dennoch sind dies oft die wesentlichen Informationen zu Bohrungen.

Digitale Übersichten der Nachweisdaten von nur analog vorliegenden Bohrungsinformationen sind für eine gezielte Erfassung analoger Daten sehr hilfreich. Allerdings können diese oft von den zuständigen SGD nicht ohne großen Zeit- und Arbeitsaufwand zur Verfügung gestellt werden. Daher kann die BGE häufig nicht bewerten, auf welche weiteren Informationen zurückgegriffen werden könnte. Eine gezielte Digitalisierung von Daten, die von Relevanz für das Standortauswahlverfahren sind, kann seitens der BGE nur dann durchgeführt werden, wenn auf Basis digital verfügbarer Nachweisdaten eine Auswahl getroffen werden kann und die Unterlagen der BGE mit Unterstützung von Archivpersonal der SGD zur Digitalisierung übergeben werden können. Eine Digitalisierung sämtlicher analoger Archivbestände der SGD kann seitens der BGE nicht geleistet werden. Als ersten Schritt erfasst und bewertet die BGE daher zunächst systematisch die von den Landesämtern bereitgestellte digitale Datenbasis auf der hauptsächlich, aber nicht ausschließlich, die Arbeiten und Bewertungen zu Prüfschritt 2 (Kategorie C) beruhen.

- *„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.“ (LBEG 2022, S. 7)*

Fachliche Einordnung: Die BGE kann sich dieser Forderung so nicht anschließen und verweist auf den steigenden Detailgrad bei der Bearbeitung von Gebieten im Rahmen der rvSU.

Begründung: Die Detailtiefe der geowissenschaftlichen Bearbeitung der Untersuchungsräume muss sich an die jeweiligen Prüfschritte innerhalb der rvSU anpassen. Jeder Prüfschritt für sich sollte in einer vergleichbaren Detailtiefe bearbeitet werden, wobei sich der Aufwand der Bearbeitung, der von der BGE betrieben wird, an die jeweilige Eignung eines Gebietes anpassen muss. So zum Beispiel ist es möglich, vor allem für Gebiete der Kategorien C und D, die Nichterfüllung der geforderten Kriterien vielerorts auch über Daten mit geringerer Detailtiefe nachzuweisen. Einheitliche Standards in allen Gebieten (Kategorie A bis D) mit allen Daten sind daher aus Sicht der BGE nicht erforderlich, solange die Vergleichbarkeit innerhalb der einzelnen Prüfschritte gegeben ist.

Bei der Digitalisierung analoger Daten werden potenzielle Kategorie A/B-Gebiete prioritär behandelt. Für potenzielle Standortregionen muss letztlich der verfügbare Datenschatz zur Bewertung herangezogen werden. Hierfür wäre eine Übersicht über potenziell relevante Studien, Dissertationen und Diplomkartierungen seitens des LBEG, welches als Landesbehörde den weitaus genaueren Kenntnisstand über weiterführende Studien auf niedersächsischem Landesgebiet hat, sehr hilfreich.

Die BGE stimmt mit dem LBEG überein, dass eine sorgfältige Dokumentation der Bearbeitung sichergestellt sein muss.

- *„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.“ (LBEG 2022, S. 7)*

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die Kritik nur zum Teil nachvollziehen.

Begründung: Die beiden Kenngrößen zur Datenlage sind bewusst objektiv und unabhängig von der strukturellen Komplexität eines Gebietes gehalten. Auf diese Weise lassen sich alle Gebiete vergleichbar hinsichtlich der Datenlage bewerten. Ein Rückschluss, ob die Datenlage für ein bestimmtes Gebiet ausreicht, wird erst im Zusammenspiel aller vier Kenngrößen erreicht werden können. Die genaue Umsetzung dieser gemeinsamen Betrachtung wird noch erarbeitet, hat aber genau die angesprochene Problematik im Fokus.

Die BGE stimmt mit dem LBEG überein, dass im präsentierten Beispiel der Kartenrahmen für die Darstellung der Thiessen-Polygone nicht optimal gewählt wurde. Die Auswahl des Kartenrahmens wird die BGE in Zukunft sorgfältiger an die adressierte Fragestellung anpassen, um eine fachlich passende Aussage zu erhalten.

- *„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.“ (LBEG 2022, S. 7)*

Fachliche Einordnung: Die BGE unterstützt diesen Hinweis ausdrücklich und verweist darauf, dass dieser im Konzept bereits mitgedacht wurde.

Begründung: Die BGE stimmt mit dem LBEG überein, dass die fazielle Komplexität ein bedeutender Faktor für die Kenngröße Geologische Komplexität ist. Dieser wurde im Konzept, wenn auch der tektonischen Komplexität untergeordnet, auf Blatt 238 (BGE 2022b) bereits mit adressiert. Bei der Weiterentwicklung des Konzepts wird auf eine Betrachtung und Bewertung der Fazies geachtet werden.

2.7 Anmerkungen zu Gebieten mit geringer Datenlage/ohne hinreichende Information

2.7.1 Allgemeine Anmerkungen

Das LBEG fasst das Prinzip des ‚Best Estimates‘ zusammen und regt an, diesen Prozess objektiv, reproduzierbar und nachvollziehbarer zu gestalten.

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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 offen bleibt, was unter ‚wohl-begründet‘ 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. [...]

- *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.“ (LBEG 2022, S. 7 f.)*

Fachliche Einordnung: Die Kritik des LBEG ist teilweise nachvollziehbar, da die BGE ihr Vorgehen bisher noch nicht anhand konkreter Beispiele begründen konnte.

Begründung: Im Gegensatz zu Gebieten mit geringer Datenlage wird ein Gebiet als „Gebiet ohne hinreichende Informationen“ ausgewiesen, sofern Informationen zur Abschätzung von Mächtigkeit, Teufenlage und lithologischer Ausprägung fehlen (BGE 2022b, Blatt 243). Die Wahl dieser drei Aspekte ist durch ihre grundlegende Bedeutung begründet: Ohne Kenntnis von Mächtigkeit und Teufe, also der räumlichen Lage, eines potenziellen ewG ist es nicht möglich, das Endlagersystem unter Ausnutzung der geologischen Standortgegebenheiten auch nur grundlegend zu charakterisieren. Ohne Kenntnis der Lithologie z. B. ist selbst eine Anwendung eines Referenzdatensatzes oder von Analogieschlüssen anstelle von ortsspezifischen Daten nicht möglich, um das Gebiet zu bewerten. Gleichzeitig ermöglicht die Festlegung auf die drei Aspekte Mächtigkeit, Teufenlage und lithologische Ausprägung eine einheitliche Anwendung auf alle Untersuchungsräume.

- *„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.“ (LBEG 2022, S. 8)*

Fachliche Einordnung: Die Kritik des LBEG ist nachvollziehbar. Das Vorgehen wird im Folgenden näher erläutert.

Begründung: Die BGE geht aktuell davon aus, dass ein Vergleich von Gebieten ohne hinreichende Informationen mit den Standortregionen in Anlehnung an die Anforderungen und Kriterien nach den §§ 22 bis 24 StandAG auf Grundlage einer verbalargumentativen Abwägung stattfinden wird. So kann es sein, dass Gebiete ohne hinreichende Informationen selbst unter günstigsten Annahmen im Vergleich mit den Standortregionen nicht als mindestens gleichwertig bewertet werden, wenn beispielsweise in einem Gebiet ohne hinreichende Informationen ein geogener Prozess abläuft, der eine negative Auswirkung auf die Komponenten des Endlagersystems erwarten lässt, in den Standortregionen jedoch keine Rolle spielt. Die genaue Vorgehensweise kann voraussichtlich erst gegen Ende von Schritt 2 der Phase I erarbeitet werden, wenn der BGE konkrete Gebiete zur Ausarbeitung eines Vergleichs vorliegen. Auch in diesem Punkt ist die BGE selbstverständlich für Vorschläge seitens des LBEG oder anderer Stellen offen.

2.7.2 Anmerkungen zu repräsentativen Profilen

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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.“ (LBEG 2022, S. 8)

Fachliche Einordnung: Die Anmerkung des LBEG ist nachvollziehbar.

Begründung: Es ist richtig, dass steilstehende Salzstrukturen eine Herausforderung für die Erstellung repräsentativer Profile sind. Alternative Ansätze zur Bearbeitung von Teilgebieten in Steinsalz in steiler Lagerung werden derzeit untersucht. Es ist jedoch anzumerken, dass in den rvSU nicht angestrebt wird, detaillierte 3D-Modelle für alle Gebiete zu erstellen. Es wird situativ entschieden, ob bei fehlender Abdeckung Geomodelle nachgearbeitet werden.

„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.“ (LBEG 2022, S. 8)

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die Kritik nicht nachvollziehen.

Begründung: Repräsentative Profile sollen in Bezug auf eine numerische Transportmodellierung repräsentativ für einen Teiluntersuchungsraum oder einen Bereich eines Teiluntersuchungsraums sein. Bei größeren Teiluntersuchungsräumen besteht die Möglichkeit, dass ein Profil allein nicht vollumfänglich repräsentativ für den ganzen Teiluntersuchungsraum ist, sodass weitere Profile hinzugezogen werden. Darüber hinaus kann eine unterschiedliche Datenlage ebenfalls zu einer verschiedenen Anzahl an repräsentativen Profilen führen. Das Ziel der Abgrenzung von Teiluntersuchungsräumen ist nicht, derart geologisch homogene Raumeinheiten zu definieren, dass diese immer nur durch ein einziges repräsentatives Profil zu beschreiben sind.

„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 Analogieschlüsse 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.“ (LBEG 2022, S. 8 f.)

Fachliche Einordnung: Die zitierte Formulierung wird im Folgenden klargestellt.

Begründung: Die Hürden wurden insofern hoch angesetzt, als dass eine Ausweisung als Gebiet ohne hinreichende Informationen nur dann stattfindet, wenn wirklich grundlegende Informationen über ein Gebiet fehlen. Wie in Kapitel 2.7.1 ausgeführt, betreffen diese grundlegenden Informationen Mächtigkeit, Teufenlage und lithologische Ausprägung. Referenzdaten und Analogieschlüsse werden in allen Fällen nur fachlich begründet angewendet; ohne Kenntnis der Lithologie ist ihre Anwendung aus Sicht der BGE jedoch fachlich nicht vertretbar. Das von der BGE entwickelte Vorgehen für Gebiete ohne hinreichende Informationen entspricht den Vorgaben in § 14 Abs. 2 StandAG („[...] Liegen zu einzelnen Gebieten keine hinreichenden Informationen für die Anwendung der Kriterien nach den §§ 22 bis 24 vor, ist eine begründete Empfehlung zum weiteren Verfahren mit diesen Gebieten aufzunehmen.“).

2.8 Anmerkungen zu Methoden zur Bestimmung wichtiger Parameter und Unsicherheiten

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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. [...]

- 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.“ (LBEG 2022, S. 9)

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die angemerkt Punkte nachvollziehen.

Begründung: Der BGE sind die Ungewissheiten, die mit der Bewertung unterschiedlicher Datengrundlagen einhergehen, bewusst. Allerdings legt die BGE im Methodendokument ausdrücklich dar, dass die Bewertung stets auf Basis der jeweils besseren Datengrundlage stattfindet. Wichtig ist ebenfalls noch einmal zu betonen, dass eine Bewertung auf Basis eines einheitlichen, hohen Standards nicht möglich ist, da der gleiche Datentyp (beispielsweise bohrlochgeophysikalische Daten) oft nicht überregional bzw. flächendeckend vorliegt. Zudem treten selbst bei der ausschließlichen Verwendung von VSHGR + VCGR – basierend auf bohrlochgeophysikalischen Daten – Ungewissheiten durch die Qualität und Verfügbarkeit der Daten auf. Der weitere Umgang mit Ungewissheiten ist derzeit Gegenstand eines Forschungsprojektes (siehe [Steckbrief zum Forschungsvorhaben URS](#) (BGE 2022i)) und weitere methodische Herangehensweisen befinden sich in der Entwicklung. Die Methode zur Berechnung und Interpretation bohrlochgeophysikalischer Daten nach einem internen Standard wird durch die BGE dokumentiert. Die Bezeichnung „Shale“ wird im englischen Sprachraum für einen undifferenzierten Tonstein benutzt. Dessen Anteil am Gesamtbestand variiert definitionsgemäß innerhalb einer Gesteinseinheit zwischen 0 und 100 Prozent. Demgegenüber wird die Bezeichnung VCL für den Anteil der Tonminerale innerhalb eines Tonsteins genutzt, diese Größe übersteigt selten die 70 %-Marke. Unter der Annahme, dass in einer Sequenz der maximale Gamma Ray-Ausschlag einem Anteil von 100 Prozent Tonstein entspricht, kann eine VSHGR-Kurve

errechnet werden. Diese besitzt eine sehr geringe Relevanz für die Parametrisierung des einschlussgebenden Gesteins, da sie wenig über die Varianz der enthaltenden Tonminerale aussagt. Über Labormessung kann der Anteil der Tonminerale in einem Tonstein bestimmt werden und diese Daten können auf das Antwortverhalten der Gamma Ray-Messungen übertragen werden, um regional begrenzt ein Verhältnis von Tonmineral zu Tonstein zu bilden und mit diesem aus der Gamma Ray-Messung eine VCGR-Kurve zu errechnen. Dieser Weg wurde im Bereich des süddeutschen Opalinuston gegangen, unter der Annahme, dass sich dessen Faziesraum und damit das Gamma Ray-Antwortverhalten, an den schweizerischen Opalinuston anlehnt. Neben der Gamma Ray-Messung kann auch eine gute Neutronenporositätsmessung zur Tonbestimmung genutzt werden. Da die Neutronenmessung auf die Hydrathülle der Tonminerale reagiert, ist sie auch indikativ für die Menge der Tonminerale. Die Widerstandsmessung reagiert im tonhaltigen Gestein sowohl auf die Leitfähigkeit der wassergefüllten tonfreien Poren als auch auf die Leitfähigkeit der durch Kationenabsorption charakterisierten Tonminerale. Durch Kombination dieser Messungen kann über ein sogenanntes „Solver“-Verfahren der Anteil der Tonminerale annäherungsweise bestimmt werden. Dieses Verfahren wird bei entsprechender Datenlage von der BGE genutzt.

- *„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.“ (LBEG 2022, S. 9)*

Fachliche Einordnung: Auf diesen Kommentar wurde in Kapitel 2.6 eingegangen.

- *„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 auszuscheiden.“ (LBEG 2022, S. 9 f.)

Fachliche Einordnung: Der Hinweis ist nachvollziehbar. Der dem Hinweis zugrundeliegende Gedanke ist aber bereits in der methodischen Herangehensweise berücksichtigt.

Begründung: Zusammenhängende, über stratigrafische Grenzen hinweg konsistente Tongesteinsabfolgen werden ebenfalls als solche bewertet, da das Endlagersystem beschrieben und bewertet wird.

2.9 Anmerkungen zur geowissenschaftlichen Langzeitprognose – Beschreibung geogener Prozesse

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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. [...]

- *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.“ (LBEG 2022, S. 10)*

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die Anmerkung mit Einschränkungen aufnehmen.

Begründung: Der Prozess der Diagenese wurde bereits in den FEP-Katalog der Standortauswahl aufgenommen (FEP steht für *Features, Events and Processes*). Selbstverständlich ist Diagenese in den sedimentären Wirtsgesteinen häufig ein Prozess, der seine größte Dynamik in der Vergangenheit hatte, insbesondere bei den älteren Tonformationen in den Teilgebieten.

Die geowissenschaftliche Langzeitprognose ist allerdings ein Teil der Arbeiten, die für die Ableitung der künftigen Entwicklungen des Endlagersystems notwendig sind. Der Bewertungszeitraum beginnt dabei mit dem Verschluss des Endlagers und seinem Übergang in einen passiven Zustand. Das Endlagersystem umfasst sowohl das Endlagerbergwerk und das Wirtsgestein als auch alle Gesteinsschichten bis zur Geländeoberfläche. Es soll nicht von vornherein ausgeschlossen werden,

das diagenetische Effekte in den überlagernden Schichten von Interesse für die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen sein könnten.

Der Effekt der Bergwerksauffahrung auf diagenetische Prozesse insbesondere im Wirtsgestein würde voraussichtlich aufgrund des vorläufigen Charakters der Konzepte zur Endlagerauslegung und Betriebsphase in den rVSU bestenfalls generisch möglich sein und sollte sinnvollerweise erst mit fortschreitender Konzeptentwicklung in späteren Verfahrensphasen durchgeführt werden, um standortspezifische Aussagen zu ermöglichen.

- *„Die Kompaktion von deltaischen Sedimenten führt nach ausbleibender Zufuhr weiterer Schüttungen zur allmählichen Transgression. Dieser Prozess sollte berücksichtigt und durch Modellierungen quantifiziert werden.“ (LBEG 2022, S. 10)*

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die Anmerkung in Teilen aufnehmen.

Begründung: Die Prozesse der Kompaktion und der Transgression sind bereits im FEP-Katalog der Standortauswahl enthalten. Sollte in einem Teilgebiet die Transgression durch Kompaktion von Delta-Sedimenten nach Ausbleiben weiterer Schüttungen im Bewertungszeitraum von 1 Million Jahren Relevanz entwickeln, wird Quantifizierung des Effekts auf die Sicherheit eines Endlagers angestrebt werden.

2.10 Anmerkungen zu Beckenmodellierung und Paläomaximaltemperatur

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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).“ (LBEG 2022, S. 10)

Fachliche Einordnung: Die BGE teilt die fachliche Auffassung des LBEG zur Relevanz der Beckeninversion bei der Bewertung der Eignung von Tongesteinsformationen.

Begründung: Speziell in Teilen des Niedersächsischen Beckens wurden die unterkretazischen und jurassischen Tonsteine während der Unterkreide zunächst tief versenkt und später gehoben. Dadurch ist davon auszugehen, dass die Gesteinseigenschaften in diesen Gebieten keinen Zusammenhang mit der heutigen Tiefe besitzen, da sie in der Vergangenheit teilweise deutlich höheren Temperatur- und Druckbedingungen ausgesetzt waren.

Die BGE berücksichtigt die Effekte, sofern Informationen über die maximale Versenkung einer Einheit, wie beispielsweise durch Karten der Virtrinireflektanz, verfügbar sind. Diese Informationen liegen jedoch nur für einzelne Einheiten vor.

Mit der Prognose und Übertragbarkeit beschäftigt sich das von der BGE geförderte Forschungsprojekt MATURITY. Ziel des Projektes ist es Tongesteinseigenschaften in Abhängigkeit ihrer unterschiedlicher thermischer Reife (Versenkungsgeschichte) zu untersuchen. Basierend darauf sollen Methoden entwickelt werden, die eine Übertragbarkeit von Tongesteinseigenschaften überregional sicherstellen. Nähere Informationen zu MATURITY finden Sie im zugehörigen Forschungssteckbrief auf der Homepage der BGE (siehe [Steckbrief für Forschungsvorhaben MATURITY](#) (BGE 2021j)).

- *„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.“* (LBEG 2022, S. 10 f.)

Fachliche Einordnung: Die BGE nimmt den Hinweis auf.

Begründung: Die im Bericht aufgeführten temperaturabhängigen Prozesse sind ein Auszug aus verschiedenen ablaufenden Prozessen und erheben daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Derzeit werden im Rahmen verschiedener BGE-Projekte der Einfluss der Temperatur auf die verschiedenen Endlagerkomponenten untersucht. Besonders hervorzuheben sind die Vorhaben „Thermische Integrität von Ton und Tonsteinen – Experiment und gekoppelte THMC-Simulationen (THMC-Sim)“ (siehe [Steckbrief zum Forschungsvorhaben THCM-Sim](#) (BGE 2022k)) und die „Prüfvorgabe für eine Studie einer geeigneten wirtsgesteinsspezifischen Auslegungstemperatur für die Einlagerung hochradioaktiver Abfälle entsprechend StandAG“. Eine öffentliche Diskussion dieses Themas fand erstmals im Zuge des vom Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung initiierten Workshops „Grenztemperatur“ am 28. März 2023 statt.

2.11 Anmerkungen zu 1D-Transportmodellen zur Abschätzung des Radionuklidaustrags

Das LBEG beschreibt den Ansatz numerischer Transportrechnung anhand 1D-Modellen sowie zusätzlicher Modellvarianten, die diverse Einflüsse auf das Einschussvermögen eines Gebietes abbilden sollen. Diesen beiden Modell-Ansätzen werden von Seiten des LBEG eine Schlüsselrolle zugeschrieben, deren Aussagekraft ausgehend von repräsentativen 1D-Profilen kritisch zu hinterfragen

sei. Es werden detaillierte Hinweise und Anmerkungen zu verschiedenen Aspekten dieses Ansatzes gegeben.

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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.“ (LBEG 2022, S. 11)

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die Kritik des LBEG teilweise nachvollziehen.

Begründung: Möglichkeit der Parametrisierung und Anwendung von 1D-Transportrechnung soll im Sinne der Einheitlichkeit und Vollständigkeit zumindest geprüft werden. Die BGE sieht ebenfalls Herausforderungen für Steinsalz und Kristallin. Daher werden verschiedene Ansätze diskutiert, aber keinesfalls eine Anwendung von Transportmodellen in allen Wirtsgesteinen festgeschrieben.

- *„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.*
- *Einschränkend 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.“ (LBEG 2022, S. 11 f.)

Fachliche Einordnung: Die BGE stimmt den Ausführungen des LBEG zu.

Begründung: Zum jetzigen Zeitpunkt im Verfahren sieht die BGE, insbesondere mit Blick auf die Datenlage, aber auch hinsichtlich der zahlreichen und teilweise sehr großen, zu bearbeitenden Teilgebiete, eine Vereinfachung der Modellierung in 1D als sinnvoll und zielführend an. Eine detaillierte technische Beschreibung des 1D-Modells „TransPyREnd“ wurde in Behrens et al. (2023) veröffentlicht. Bezüglich der Abbildung von Heterogenität und Anisotropie wäre eine 3D-Modellierung von Transportprozessen im Untergrund sicherlich erstrebenswert. Demgegenüber steht jedoch die zum Teil sehr heterogene und vor allem auch limitierte Datenlage.

Mit einer Vielzahl von Modellvarianten soll die Robustheit der Bewertung eines potenziellen Gebietes abgeschätzt werden. Hier sei auf den vergleichenden Charakter der rvSU hingewiesen. Es werden zudem Ungewissheiten, die mit der Modellerstellung assoziiert sind, bestmöglich beschrieben und mitgeführt. Das Konzept zur Bewertung von Ungewissheiten sieht es vor, diese Modellungsgewissheiten zu erfassen und zu bewerten, sodass ihr Einfluss auf die Ergebnisse der rvSU berücksichtigt werden kann. Insofern werden auch die Annahmen zur Modellvereinfachung bei der Ergebnisinterpretation hinterfragt. Für die Arbeiten in Phase II des Standortauswahlverfahrens werden im Rahmen der weiterentwickelten vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen perspektivisch detailliertere Modellierungen (auch in 3D) angestrebt.

- *„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. Beispielfhaft 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.“ (LBEG 2022, S. 12)*

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die Kritik des LBEG teilweise nachvollziehen.

Begründung: Neben Ungewissheiten, welche die Radionuklidfreisetzung betreffen, werden auch Ungewissheiten hinsichtlich der Gesteinsparameter betrachtet. Zu diesem Zweck werden viele verschiedene Parametervariationen gerechnet, die auch konservative Parameterabschätzungen einschließen.

- *„der unbekannte Internbau in Salzstrukturen, der dazu führen kann, dass der minimale Abstand im Wirtsgestein im Modell deutlich überschätzt wird.“ (LBEG 2022, S. 12)*

Fachliche Einordnung: Die BGE nimmt den Hinweis des LBEG gerne auf.

Begründung: Ein detailliertes Konzept zum Vorgehen im Wirtsgestein Steinsalz stand zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Dokumente (BGE 2022a, 2022b) noch nicht fest. Näheres dazu ist in der nachfolgenden Begründung dieser Einordnung zu entnehmen.

- *„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).“ (LBEG 2022, S. 12 f.)*

Fachliche Einordnung: BGE nimmt die Hinweise des LBEG gerne auf.

Begründung: Zum Zeitpunkt der Verfassung der vorliegenden Einordnung wurde noch kein detailliertes Vorgehen im Steinsalz festgelegt. Inwiefern untersuchungsraumspezifische Berechnungen des Radionuklidtransports für dieses Wirtsgestein zielführend sind, ist Gegenstand aktueller Arbeiten. Derzeit werden verschiedene Ansätze verfolgt. Beispielsweise wird untersucht, inwieweit die qualitative Betrachtung der künftigen Entwicklungen bei der Bewertung des sicheren Einschlusses im Steinsalz überwiegen kann.

- *„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.“ (LBEG 2022, S. 13)*

Fachliche Einordnung: Die BGE kann den Hinweis des LBEG nachvollziehen.

Begründung: Zum Zeitpunkt der Verfassung der vorliegenden Einordnung wurde noch kein detailliertes Vorgehen im kristallinen Wirtsgestein festgelegt. Inwiefern untersuchungsraumspezifische Berechnungen des Radionuklidtransports für dieses Wirtsgestein zielführend sind, ist Gegenstand aktueller Arbeiten. Derzeit werden verschiedene Ansätze verfolgt. Die BGE nimmt die Hinweise des LBEG gerne auf.

2.12 Anmerkungen zum Best-Estimate-Ansatz zur Bewertung von Gebieten mit geringer Datenlage im Rahmen der Modellierung

Das LBEG fasst den Best-Estimates-Ansatz zur Bewertung von Gebieten mit geringer Datenlage zusammen und bezeichnet dieses Vorgehen als nachvollziehbaren Perspektivwechsel, der gegenüber Schritt 1 der Phase I zu „realistischeren Einschätzungen“ (LBEG 2022, S. 13) führen könne. Insbesondere in Hinblick auf die Transportmodellierung sieht das LBEG im Best-Estimates-Ansatz den Vorteil, dass „[...] konservativ verzerrte Modellparameter die Interpretation und den Vergleich von Modellergebnissen erheblich erschweren würden“ (LBEG 2022, S. 13). Hinweise und Anmerkungen zu diesem Ansatz werden im Folgenden aufgeführt.

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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. [...]

- *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.“ (LBEG 2022, S. 13 f.)*

Fachliche Einordnung: Die BGE kann die Kritik des LBEG teilweise nachvollziehen.

Begründung: Das Vorgehen / die Bewertung des Radionuklidtransports sieht Sensitivitätsanalysen vor. So kann der Einfluss einzelner Parameter auf die Berechnungen bewertet werden, dies umfasst auch die durch Analogieschluss erhobenen Parameterwerte. Die Auswirkungen der Ungewissheiten dieser Eingangsgrößen auf die Ergebnisse werden dabei quantifiziert und als Schwankungsbreite des Modellergebnisses berechnet, sowie mittels geeigneter Kennzahlen vergleichbar gemacht. Die Parametrisierung läuft nach einem einheitlichen Prozess ab und wird vollumfänglich dokumentiert.

- *„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.“ (LBEG 2022, S. 14)*

Fachliche Einordnung: Die BGE nimmt den Hinweis des LBEG gerne auf.

Begründung: Bei der Durchführung der rvSU werden einerseits natürlich die Daten aus Schritt 1 Phase I verwendet. Andererseits werden auch neue Datenabfragen erstellt, Forschungs- und Entwicklungsprojekte durchgeführt sowie, sofern sinnvoll, die dadurch neu erhaltenen Daten mit in den Prozessablauf zur Parametrisierung einbezogen. Eine konkrete Ausweisung des Unterschiedes der Datenbasis von Schritt 1 und Schritt 2 ist sicherlich hilfreich, ergibt sich aber auch implizit aus dem Vergleich des Zwischenberichts Teilgebiete und der noch zu erstellenden Berichte zu Schritt 2.

2.13 Anmerkungen zu Steinsalz in steiler Lagerung, GzME Salzstock Bahlburg

Im Folgenden werden die Anmerkungen und Hinweise des LBEG zum GzME Salzstock Bahlburg aufgeführt, die sich nach eigenen Aussagen gleichermaßen auch auf alle anderen Teilgebiete mit steilstehenden Salzstrukturen beziehen sollen.

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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 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 Detailinfor-

mationen 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 InSpEE¹-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.

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‘ 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 un-

terschiedlicher Salinargesteine erreicht werden. Allenfalls Teile großer Anhydritbereiche, sogenannte Klippen oder Stringer, sind in modernen seismischen Sektionen zu erahnen.“ (LBEG 2022, S. 14 f.)

- *„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.“ (LBEG 2022, S. 16)*

Fachliche Einordnung: Die BGE kann sich den Hinweisen des LBEG zum Teil anschließen.

Begründung: Der BGE sind die Herausforderungen bezüglich einer belastbaren Prognose der Komplexität des Internbaus auf Basis der aktuellen Datenlage bewusst. Aus diesem Grund wurde frühzeitig ein Projekt mit der BGR initiiert, um mittels bekannter geologischer Fakten Rückschlüsse auf die interne Konfiguration der Salzstrukturen, in den Teilgebiete enthalten sind, zu ziehen. Diese Methodenentwicklung wird voraussichtlich Ende des dritten Quartals 2023 abgeschlossen sein. Erst dann ist es der BGE möglich, diese Methode umfassend zu evaluieren und zu erproben. Anschließend müssen ggf. weitere Informationen über die im Verfahren befindlichen Salzstrukturen in Erfahrung gebracht werden, deren Notwendigkeit sich aus der Methodenentwicklung ergeben hat.

Wo immer es die aktuell verfügbare Datenlage ermöglicht, werden detaillierte lithologische Auswertungen und Interpretationen von Bohrungsdaten und geophysikalischen Daten im Rahmen der geowissenschaftlichen Charakterisierung vorgenommen. Damit können z. B. Kenntnisse zur Salzscheibe oder homogene Steinsalzbereiche zumindest punktuell in den Teilgebieten nachgewiesen werden.

Zur Minimierung von Ungewissheiten in Bezug auf Modellierungen unternimmt die BGE weitere Anstrengungen. Beispielsweise wird in einem Projekt das Potenzial von Neubearbeitungen alter seismischer Messdaten hinsichtlich einer verbesserten Abbildung der Salzstockumhüllenden untersucht. In einem anderen Forschungsprojekt (URS) sollen Möglichkeiten gefunden werden, Ungewissheiten systematisch auszuweisen, zu charakterisieren und zu quantifizieren, insbesondere auch in geologischen Modellen (siehe [Steckbrief zum Forschungsvorhaben URS](#) (BGE 2022i)).

Weitere Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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. [...]

- *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.“ (LBEG 2022, S. 16 f.)*

Fachliche Einordnung: Die BGE kann den Wunsch des LBEG zur Darstellung des weiteren Vorgehens nachvollziehen.

Begründung: Im Rahmen des gemeinsamen Projekts der BGE mit der BGR wird die Methodenentwicklung für eine Prognose der Komplexität des Internbaus voraussichtlich Ende des dritten Quartals 2023 abgeschlossen sein. Erst dann ist es der BGE möglich, die Methode zu evaluieren und

deren weitere Verwendung im Rahmen der Geosynthese und den anschließenden Analysen gemäß EndlSiUntV zu spezifizieren.

Im Vergleich zu Schritt 1 der Phase I berücksichtigt die BGE bereits jetzt einen erweiterten Datensatz, welcher im ersten Verfahrensschritt noch nicht zur Verfügung stand. Dies betrifft aktuellere geologische 3D-Modelle, Bohrungsdaten inklusive Bohrungsakten, seismische Daten und bohrlochgeophysikalische Daten. Diese Datensätze ermöglichen bereits jetzt ein vertieftes Verständnis zur geologischen Konfiguration der Teilgebiete im Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung und schlussendlich eine erste Differenzierung. Nichtsdestotrotz steht die BGE vor der Herausforderung Salzstrukturen zu bewerten, zu welchen nur wenige Datensätze zur Verfügung stehen.

2.14 Anmerkungen zum Betrachtungszeitraum

Aussagen der Stellungnahme des LBEG:

„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).“ (LBEG 2022, S. 17)

Fachliche Einordnung: Die BGE stimmt dem LBEG teilweise zu.

Begründung: Die BGE teilt die Meinung, dass Betrachtungsräume, die über das infrage kommende Gebiet hinausgehen, nicht nur für Steinsalz, sondern für alle Wirtsgesteine sinnvoll sein können. Beispielsweise werden bei der testweisen Durchführung im Tongestein bereits Gebiete über den Untersuchungsraum/Teiluntersuchungsraum hinaus für die Modellierung betrachtet, um die hydrogeologischen Randbedingungen entsprechend zu implementieren. Zudem können auch Daten, die außerhalb eines Untersuchungsraums liegen, dabei helfen, Modelle und strukturgeologische Interpretationen innerhalb des Untersuchungsraums zu präzisieren. Daher fragt die BGE bei den SGD häufig auch Daten ab, die nicht nur innerhalb von Untersuchungsräumen liegen, sondern sich auch in einem 10-Kilometer-Pufferbereich außerhalb eines Untersuchungsraums befinden.

Es ist jedoch anzumerken, dass bei Steinsalz in steiler Lagerung die Ausweisung eines Betrachtungsraums einen besonderen Stellenwert hat. Ohne die Erweiterung des Betrachtungsraums würde kein Nebengebirge mit in die Betrachtung einfließen und das regional-hydrogeologische Regime nicht richtig dargestellt werden. Dies kann jedoch wichtig für die Bewertung der Salzstöcke sein. Inwieweit eine konkrete Ausweisung von Betrachtungsräumen für alle Wirtsgesteine zielführend ist, ist zu prüfen.

2.15 Anmerkungen zum 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 mehrsöhliges 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.“ (LBEG 2022, S. 17)

Fachliche Einordnung: Die BGE kann den Hinweis des LBEG nachvollziehen.

Begründung: Die BGE arbeitet derzeit an dieser Fragestellung. Die Option der mehrsöhligen Lagerung zur Flächenreduktion wird in der Bearbeitung der vorläufigen wirtsgesteinsspezifischen Auslegung eines Endlagers im Steinsalz mit großer Mächtigkeit (z. B. Salzkissen mit großer Mächtigkeit oder Salzstöcke) betrachtet. Aus dem dabei ermittelten Flächenbedarf sowie der notwendigen Mächtigkeit wird der Bedarf an Wirtsgesteinsvolumen bestimmt.

2.16 Anmerkungen zur 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 ausgeschieden.“ (LBEG 2022, S. 17)

Fachliche Einordnung: Die BGE kann diesen Hinweis teilweise nachvollziehen.

Begründung: Die vom LBEG aus BGE (2022a) zitierte Passage ist eine fachliche Einschätzung der BGE, die sich auf den Kenntnisstand bezieht, den die BGE für einen Großteil derjenigen Untersuchungsräume erwartet, die für eine spätere Erkundung infrage kommen. Zum einen ergibt sich dies aus der Einschätzung der BGE, dass für den Großteil der zu bewertenden Untersuchungsräume

eine hinreichende Datenlage vorliegt, die eine Bewertbarkeit insbesondere der Erfüllung der Mindestanforderungen erwarten lässt. Zum anderen arbeitet die BGE auch in Abwesenheit ortsspezifischer Daten mit Analogieschlüssen und geologischen Modellvorstellungen, die auch eine Erfüllung der Ausschlusskriterien in den zu erkundenden Gebieten als wahrscheinlich erscheinen lassen. Nichtsdestotrotz ist der Nachweis der Erfüllung der Mindestanforderungen und der Nichterfüllung eines Ausschlusskriteriums in Phase II von wesentlicher Bedeutung. Die BGE erwartet in jeder Standortregion andere Herausforderungen hinsichtlich der geowissenschaftlichen Erkundung, bedenkt man die verschiedenen Anforderungen durch die Wirtsgesteine, aber auch die gesamte geologische Situation, die mit den regionalen Gegebenheiten zusammenhängt. Daher beschäftigt sich die BGE bereits jetzt intensiv mit der Frage bestmöglicher Erkundungsmethoden (siehe [Steckbrief zum Forschungsvorhaben GeoMetER](#) (BGE 2023a)).

Anders als vom LBEG postuliert, steht die zitierte Textpassage der BGE nicht der Möglichkeit entgegen, dass es auch einen Teil zu erkundender Gebiete gibt, deren Kenntnisstand derart gering ist, dass zum Zeitpunkt des Standortregionenvorschlags keine hinreichenden Informationen vorliegen.

Literaturverzeichnis

- Appel, D. & Habler, W. (2001): *Quantifizierung der Wasserdurchlässigkeit von Gesteinen als Voraussetzung für die Entwicklung von Kriterien zur Grundwasserbewegung Phase 1: Überprüfung der Datenbasis für die Ableitung von Kriterien zur Wasserdurchlässigkeit*. 2001. Endlagerstandorte, Arbeitskreis Auswahlverfahren. Hannover
- Behrens, C.; Luijendijk, E.; Kreye, P.; Panitz, F.; Bjorge, M.; Gelleszun, M.; Renz, A.; Miro, S.; Rüh-aak, W. (2023): *TransPyREnd: a code for modelling the transport of radionuclides on geological timescales*. Adv. Geosci., Bd. 58. S. 109–119. ISSN 1680-7359. DOI: <https://doi.org/10.5194/adgeo-58-109-2023>
- BGE (2021j): *Steckbrief für Forschungsvorhaben: Einfluss der thermischen Reife auf die gekoppelten hydromechanischen Eigenschaften niedrig-durchlässiger Tonsteine – Feld- & Laborskala (MATURITY)*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Forschung/2021-05-28_BGE_Projektsteckbrief_MATURITY_barrierefrei.pdf
- BGE (2022a): *Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Methodik/Phase_I_Schritt_2/rvSU-Methodik/20220328_Konzept_zur_Durchfuehrung_der_rvSU_barrierefrei.pdf
- BGE (2022b): *Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Methodik/Phase_I_Schritt_2/rvSU-Methodik/20220328_An-lage_zu_rvSU_Konzept_Methodenbeschreibung_barrierefrei.pdf
- BGE (2022i): *Steckbrief für Forschungsvorhaben: Ungewissheiten und Robustheit mit Blick auf die Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle. URS*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Forschung/20220314_Steckbrief_Forschungsvorhaben_Ungewissheiten_und_Robustheit_barrierefrei_neu.pdf
- BGE (2022j): *Steckbrief für Forschungsvorhaben: Entwicklung einer Prognosemethode zum Internbau von Salzstrukturen (Variabilität Internbau Salzstrukturen)*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Forschung/20220622_Steckbrief_zu_Projekt_Variabilitaet_Internbau_Salzstrukturen.pdf
- BGE (2022k): *Steckbrief für Forschungsvorhaben: Thermische Integrität von Ton und Tonsteinen – Experiment und gekoppelte THMC-Simulationen (THCM-Sim)*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Forschung/20220112_BGE_Steckbrief_fuer_Forschungsvorhaben_Thermische_Integri-taet_REV00_barrierefrei.pdf

- BGE (2023a): *Steckbrief für Forschungsvorhaben: Entwicklung geophysikalischer Messverfahren und Methodenkombinationen zur Erstellung hochauflösender übertägiger Erkundungsprogramme (GeoMetEr)*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Forschung/20230202_GeoMetEr_Steckbrief-Forschungsvorhaben_barrierefrei.pdf
- BMUV (2022): *Sachstand zum Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“ nach dem Standortauswahlgesetz (StandAG)*. 2022. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Bonn
- Grünthal, G. & Bosse, C. (2021): *Unterschiede, Beziehungen und Gemeinsamkeiten der Erdbebenkarten nach bisherigem und neuem Nationalen Anhang zum Eurocode 8*. Erdbebenzonenkarte nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01 und Karte der spektralen Antwortbodenbeschleunigungen nach E DIN EN 1998-1/NA:2018-10. Bautechnik, Bd. 98 (1). S. 1–16. ISSN 09328351. DOI: <https://doi.org/10.1002/bate.202000053>
- Hoth, P.; Wirth, H.; Reinhold, K.; Bräuer, V.; Krull, P.; Feldrappe, H. (2007): *Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands. Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen*. 2007. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Berlin / Hannover
- Kaiser, D. & Spies, T. (2020): *Anwendung des Ausschlusskriteriums Seismische Aktivität*. 2020. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover
- LBEG (2022): *Stellungnahme zu ausgewählten Aspekten des Konzeptes und der Methodenbeschreibung zur Durchführung repräsentativer vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen*. 2022. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen. Hannover
- Zühlke, R. (2022): *Sedimentologische Charakterisierung der Unteren Meeresmolasse in Oberbayern vor dem Hintergrund des Standortauswahlverfahrens für ein Endlager hochradioaktiver Abfälle*. Masterarbeit. Technische Universität Clausthal, Clausthal-Zellerfeld

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
Eschenstraße 55
31224 Peine
T +49 5171 43-0
poststelle@bge.de
www.bge.de