

Fachliche Beratung des Landkreises Emsland zu den Ergebnissen des Zwischenberichts Teilgebiete im Standortauswahlverfahren für ein Endlager

Plausibilitätsbewertung der Teilgebiete:

Darmstadt, 22.01.2021

024_00TG_029_00IG_S_s_z (Salzstock Wahn),
028_00TG_040_00IG_S_s_z (Salzstock Lathen)
030_00TG_048_00IG_S_s_z (Salzstock Börger)

Autorinnen und Autoren

Dr. Saleem Chaudry
Öko-Institut e.V.

Julia Neles
Öko-Institut e.V.

Kontakt

info@oeko.de
www.oeko.de

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Borkumstraße 2
13189 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
1 Einleitung	7
2 Anwendung von Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien	10
3 Ausschlusskriterien	14
3.1 Diskussion	14
3.1.1 Großräumige Vertikalbewegungen	14
3.1.2 Aktive Störungszonen	14
3.1.3 Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit	16
3.1.4 Seismische Aktivität	16
3.1.5 Vulkanische Aktivität	17
3.1.6 Grundwasseralter	17
3.2 Ergebnisse	18
3.2.1 Großräumige Vertikalbewegungen	18
3.2.2 Aktive Störungszonen	18
3.2.3 Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit	20
3.2.4 Seismische Aktivität	21
3.2.5 Vulkanische Aktivität	21
3.2.6 Grundwasseralter	21
3.3 Bewertung	21
4 Mindestanforderungen	23
4.1 Diskussion	23
4.1.1 Wirtsgesteine	23
4.1.2 Gebirgsdurchlässigkeit	24
4.1.3 Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	24
4.1.4 Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs	24
4.1.5 Fläche des Endlagers	24
4.1.6 Erhalt der Barrierewirkung	25
4.2 Ergebnisse	25
4.3 Bewertung	27

5	Geowissenschaftliche Abwägungskriterien	28
5.1	Diskussion	28
5.1.1	Kriterium 1 zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich	28
5.1.2	Kriterium 2 zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper	29
5.1.3	Kriterium 3 zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit	29
5.1.4	Kriterium 4 zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse	31
5.1.5	Kriterium 5 zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften	32
5.1.6	Kriterium 6 zur Bewertung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten	32
5.1.7	Kriterium 7 zur Bewertung der Gasbildung	33
5.1.8	Kriterium 8 zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit	33
5.1.9	Kriterium 9 zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich	34
5.1.10	Kriterium 10 zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse	34
5.1.11	Kriterium 11 zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge	34
5.2	Ergebnisse	35
5.2.1	Kriterium 1 zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich	35
5.2.2	Kriterium 2 zur Konfiguration der Gesteinskörper	36
5.2.3	Kriterium 3 zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit	36
5.2.4	Kriterium 4 zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse	36
5.2.5	Kriterium 5 zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften	37
5.2.6	Kriterium 6 zur Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten	37
5.2.7	Kriterium 7 zur Bewertung der Gasbildung	37
5.2.8	Kriterium 8 zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit	38
5.2.9	Kriterium 9 zur Bewertung des Rückhaltevermögens	38
5.2.10	Kriterium 10 zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse	38
5.2.11	Kriterium 11 zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge	39
5.3	Bewertung	40
6	Prüfung von Daten und Literatur	42
7	Zusammenfassende Bewertung	44
	Literaturverzeichnis	47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Geographische Lage der Salzstöcke Lathen, Börger und Wahn	8
Abbildung 2-1: Ausgeschlossene Gebiete nach Anwendung von § 22 StandAG	11
Abbildung 2-2: Identifizierte Gebiete nach Anwendung von § 23 StandAG	12
Abbildung 2-3: Teilgebiete nach Anwendung von § 24 StandAG, Salzstöcke im Emsland	13
Abbildung 3-1: Salzstock Lathen (028) in der interaktiven Kartendarstellung	19
Abbildung 3-2: Salzstock Wahn, Profil	22
Abbildung 4-1: Salzstöcke Lathen und Wahn	26
Abbildung 4-2: Salzstock Börger	27
Abbildung 5-1: Doppelsalinar vom Internbautyp 2	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Teilgebiete im Landkreis Emsland	8
Tabelle 4-1:	Charakteristika der betrachteten Salzstöcke zur Anwendung der Mindestanforderungen	26

1 Einleitung

Im Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG) (StandAG 2017) wird das Verfahren festgelegt, mit dem ein „Standort mit der bestmöglichen Sicherheit“ für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle ermittelt werden soll. Das Verfahren wurde 2017 gestartet. Es gliedert sich in drei Phasen, deren Ergebnisse jeweils mit einem Bundesgesetz festgelegt werden sollen. Derzeit befindet sich das Standortauswahlverfahren in der ersten Phase.

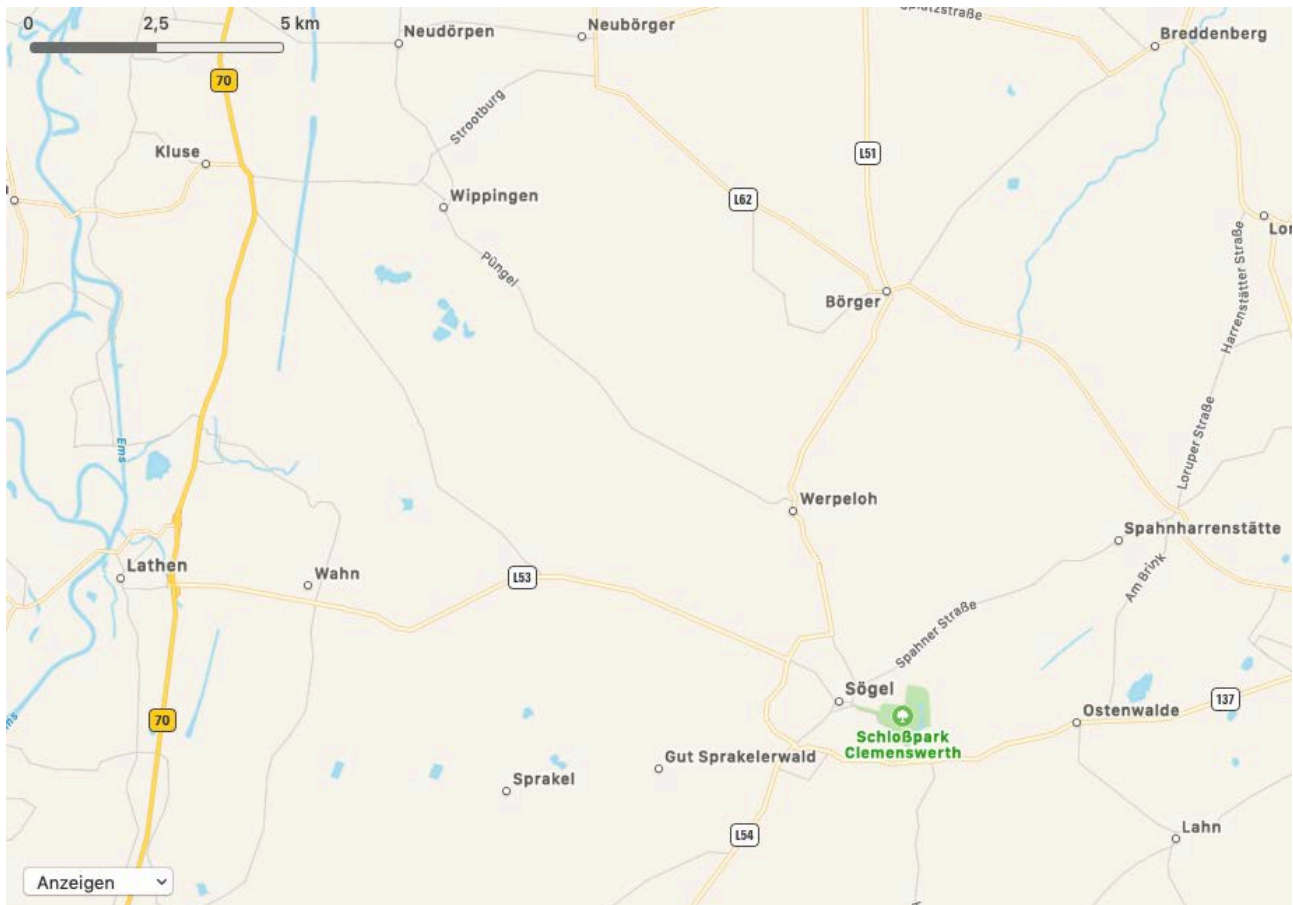
Nach § 13 des StandAG wurde am 28.09.2020 durch den Vorhabensträger, die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE), der Zwischenbericht Teilgebiete vorgelegt. Damit wurde in der Phase 1 des Standortauswahlgesetzes ein Zwischenschritt und ein wichtiger Meilenstein erreicht.

Der Zwischenbericht Teilgebiete¹ benennt die Teilgebiete, die nicht auf Basis der Ausschlusskriterien ausgeschlossen wurden, die den Mindestanforderungen entsprechen und die nach Anwendung der geologischen Abwägungskriterien als günstig bewertet wurden. Die Festlegung von Größe und Grenzen eines Teilgebietes orientiert sich an der Verbreitung endlagerrelevanter stratigraphischer Einheiten und Wirtsgesteine. Somit können sich auch Teilgebiete überlappen bzw. übereinander liegen.

Im Gebiet des Landkreises Emsland wurden insgesamt zehn Teilgebiete ausgewiesen, die in der nachfolgenden Tabelle 1-1 zusammengestellt sind. Neben Teilgebieten im Tongestein und Steinsalzformationen in flacher Lagerung sind auch die drei Salzstöcke Wahn, Lathen und Börger als Teilgebiete benannt. Sie erstrecken sich jeweils in Westnordwest-Ostsüdost-Richtung und liegen benachbart in einem Gebiet, das durch die Ortschaften Lathen im Südwesten, Kluse im Nordwesten und Spahnharrenstätte im Osten begrenzt wird. Abbildung 1-1 zeigt das Gebiet, in dessen Untergrund sich die drei Salzstöcke befinden.

¹ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>

Abbildung 1-1: Geographische Lage der Salzstöcke Lathen, Börger und Wahn



Quelle: Kartenausschnitt aus der Apple Software Karten

Darüber hinaus wurden weitere fünf Gebiete im Landkreis Emsland identifiziert, die nicht als Teilgebiet ausgewiesen wurden. Identifizierte Gebiete genügen den Mindestanforderungen, wurden aber auf Basis der geologischen Abwägungskriterien als nicht günstig bewertet.

Tabelle 1-1: Teilgebiete im Landkreis Emsland

Teilgebiet	Wirtsgestein	Stratigrafie
004_00TG_053_00IG_T_f_tpg	Tongestein	Tertiär (Unteres Paläogen)
007_00TG_202_02IG_T_f_kru	Tongestein	Unterkreide
077_00TG_192_00IG_S_f_jo	Steinsalz in flacher Lagerung	Oberer Jura (Malm)
005_00TG_055_00IG_T_f_jm	Tongestein	Mittlerer Jura (Dogger)
006_00TG_188_00IG_T_f_ju	Tongestein	Unterjura (Lias)
076_03TG_191_05IG_S_f_so	Steinsalz in flacher Lagerung	Oberer Buntsandstein

024_00TG_029_00IG_S_s_z	Steinsalz in steiler Lagerung (Salzstock Wahn)	Zechstein
028_00TG_040_00IG_S_s_z	Steinsalz in steiler Lagerung (Salzstock Lathen)	Zechstein
030_00TG_048_00IG_S_s_z	Steinsalz in steiler Lagerung (Salzstock Börger)	Zechstein
078_06TG_197_06IG_S_f_z	Steinsalz in flacher Lagerung	Zechstein

Quelle: Zusammenstellung aus BGE

Mit Schreiben vom 08. Dezember 2020 beauftragte der Landkreis Emsland das Öko-Institut e. V. die Ergebnisse der BGE gemäß Zwischenbericht Teilgebiete und unterfütternder Unterlagen hinsichtlich der Teilgebiete 024_00TG_029_00IG_S_s_z (Salzstock Wahn), 028_00TG_040_00IG_S_s_z (Salzstock Lathen) und 030_00TG_048_00IG_S_s_z (Salzstock Börger) zu bewerten und den Landkreis Emsland fachlich zu beraten.

Im vorliegenden Gutachten wurde die Plausibilität der Vorgehensweise und der Bewertungsergebnisse anhand der verfügbaren Unterlagen geprüft und mit den Vorgaben des Standortauswahlgesetzes abgeglichen. Das Gutachten diskutiert in den folgenden Kapiteln zunächst die Ausschlusskriterien, dann die Mindestanforderungen und anschließend die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien. Es wird jeweils auf die Anwendung der Kriterien auf die Salzstöcke Lathen, Börger und Wahn und die Ergebnisse der BGE eingegangen sowie unsere Bewertung angefügt. Darüber hinaus werden Erkenntnisse zur Verwendung von Daten und Literatur zu den drei Salzstöcken hinsichtlich ihrer Relevanz aber auch zusätzlich verfügbarer Unterlagen zusammengestellt. Abschließend erfolgt eine zusammenfassende Bewertung.

2 Anwendung von Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

Wesentliche Grundlage für die Darstellung der Anwendung der Ausschlusskriterien durch die BGE und deren Ergebnisse ist der Bericht *Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG* (BGE 2020e). Darin werden die kriterienspezifischen Anwendungsmethoden als methodische Grundlage zum Umgang mit den Ausschlusskriterien gemäß Standortauswahlgesetz (StandAG) beschrieben. Die Darstellung geht allerdings nicht auf die einzelnen ausgeschlossenen Gebiete ein oder liefert Begründungen für den jeweiligen Ausschluss. Während die im Zwischenbericht ausgewiesenen Teilgebiete einzeln beschrieben werden, sind ausgeschlossene Gebiete nur in einer Deutschlandkarte dargestellt (Abbildung 2-1). Die Identifikation ausgeschlossener Gebiete im Umfeld der Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) ist nur mit Hilfe der interaktiven Kartendarstellung der BGE möglich. Die dort dargestellten ausgeschlossenen Gebiete sind zwar jeweils mit einer Kennung versehen; weitere Informationen zu den einzelnen ausgeschlossenen Gebieten, hier handelt es sich ausschließlich um Störungszonen und Bohrungen, enthalten aber weder der Zwischenbericht selbst noch die untersetzenden Unterlagen.

Die Anwendung der Mindestanforderungen ist im Bericht *Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG* dargestellt. Während die Erfüllung eines Ausschlusskriteriums zum endgültigen Ausschluss aus dem Verfahren führt, ist die Erfüllung aller Mindestanforderungen die Voraussetzung zum weiteren Verbleib im Standortauswahlverfahren. In der Unterlage werden die Methoden der Anwendung der Mindestanforderungen dargestellt. Außerdem wurden alle stratigraphischen Einheiten in Deutschland hinsichtlich ihrer potentiellen Eignung bewertet und zwar in so weit, ob für den jeweiligen Gesteinstyp anhand seiner Gebirgsdurchlässigkeit und der Kenntnisse über seine Barrierewirkung sowie einer Mindestmächtigkeit von 100 m die Erfüllung dieser Mindestanforderungen erwartet werden kann. Gebiete, die alle Mindestanforderungen erfüllen, werden von der BGE in Anlehnung an § 13 Abs. 2 StandAG als *Identifizierte Gebiete* bezeichnet (Abbildung 2-2).

Durch die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien soll eine Bewertung dahingehend getroffen werden, „ob in einem Gebiet eine günstige geologische Gesamtsituation“ (StandAG 2017) vorliegt. Dazu werden 11 Kriterien, die jeweils mit einem oder mehreren Indikatoren untersetzt sind, angewendet. Der Vorgehensweise zugrunde liegt die Unterlage *Arbeitshilfe zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG* (BGE 2020g).

Dabei wird, da standortspezifische Daten in Phase 1 des Standortauswahlverfahrens kaum zur Verfügung stehen, im Wesentlichen auf wirtsgesteinsspezifische Referenzdaten zurückgegriffen. Dazu hat die Vorhabenträgerin einen Referenzdatensatz (BGE 2020j) veröffentlicht. Darin werden für die bewertungsrelevanten Eigenschaften der Kriterien bzw. die zu deren Bewertung herangezogenen Indikatoren jeweils Werte oder Argumente aus der Literatur angeführt. Nach Aussage der BGE werden möglichst günstige Bewertungen der Gesteinseigenschaften verwendet, um im Sinne eines konservativen Ansatzes in dieser Phase möglichst wenige Gebiete auszuschließen. Die Referenzdaten für Steinsalz gelten dann beispielsweise für alle Salzstöcke gleichermaßen. Auf dieser Grundlage werden die Abwägungskriterien jeweils so angewendet, dass ein Ausschluss potentiell geeigneter Gebiete vermieden wird.

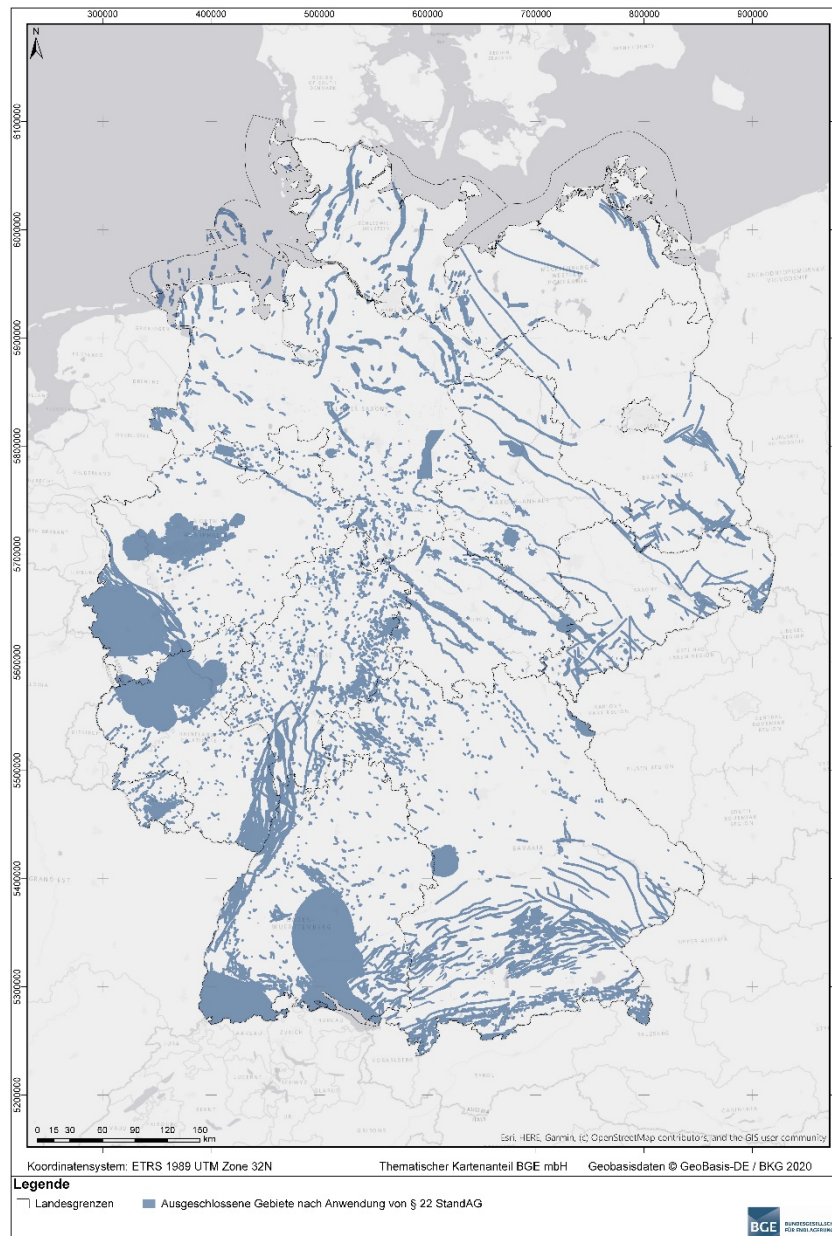
Aufgrund vorhandener standortspezifischer Daten werden einzelne geowissenschaftliche Abwägungskriterien individuell für jedes in Frage kommende Wirtsgestein bewertet. Für die Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) sind dies die Abwägungskriterien *Konfiguration der Gesteinskörper*, *räumliche Charakterisierbarkeit* und *Schutz des einschlusswirksamen*

Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge. Die Teilgebiete und die Lage der drei betrachteten Salzstöcke sind in Abbildung 2-3 dargestellt.

Eine Diskussion der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geologischen Abwägungskriterien und ihrer Anwendung erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln.

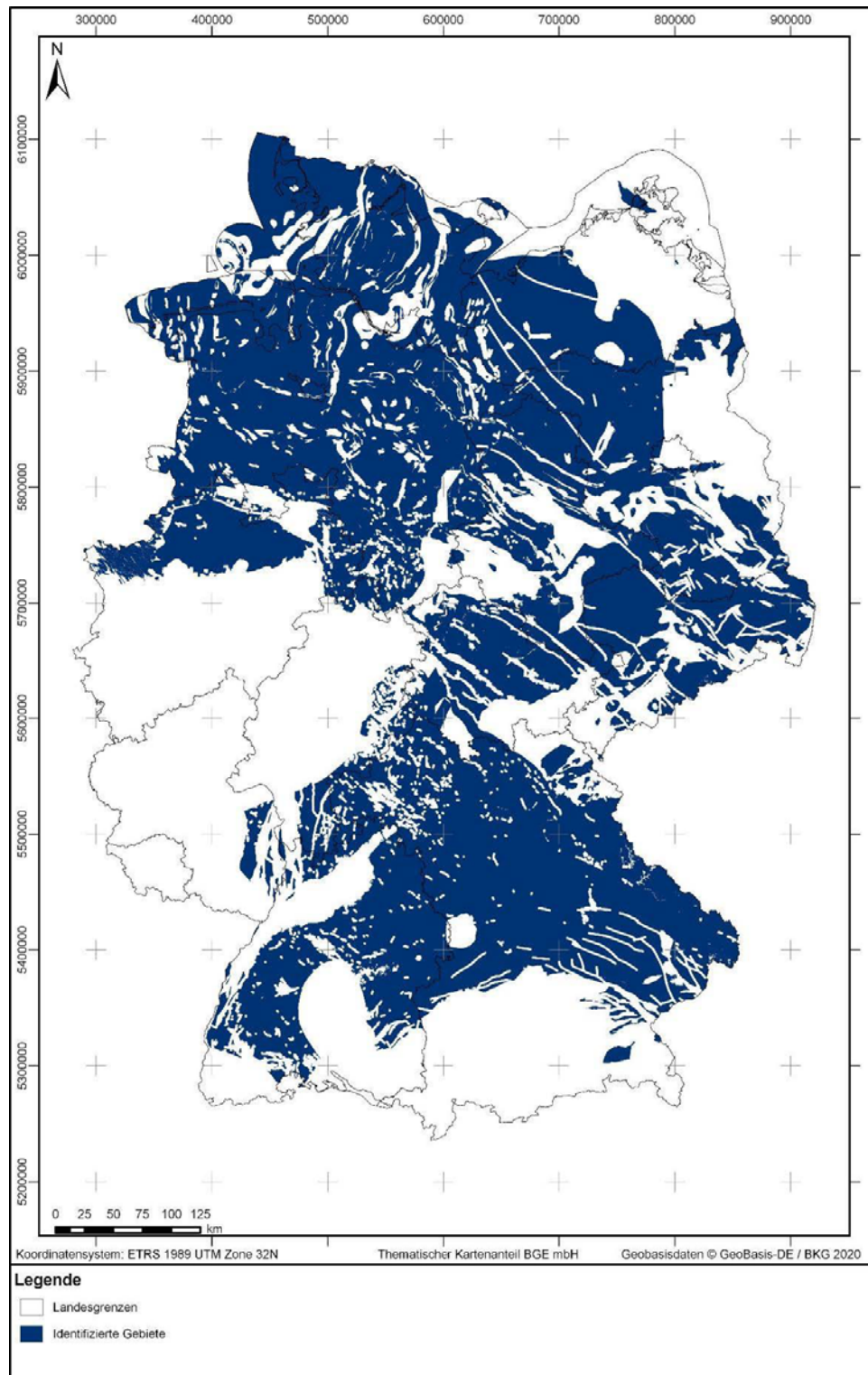
Abbildung 2-1: Ausgeschlossene Gebiete nach Anwendung von § 22 StandAG

Ausgeschlossene Gebiete nach Anwendung der Ausschlusskriterien gemäß § 22 Standortauswahlgesetz



Quelle: https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete/Ausgeschlossene_Gebiete_A3.jpg

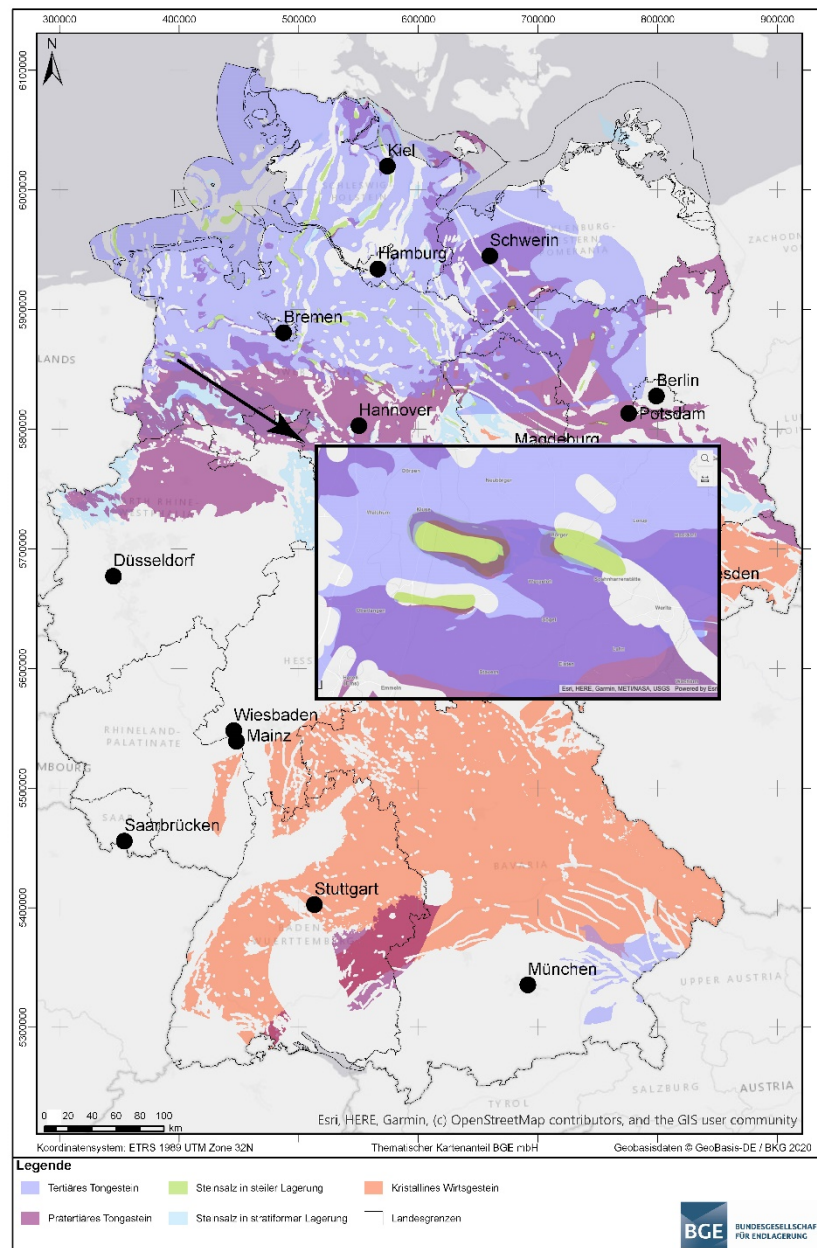
Abbildung 2-2: Identifizierte Gebiete nach Anwendung von § 23 StandAG



Quelle: BGE (2020) Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG

Abbildung 2-3: Teilgebiete nach Anwendung von § 24 StandAG, Salzstöcke im Emsland

Teilgebiete gemäß § 13 Standortauswahlgesetz



Quelle: verändert nach https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete/Karte_Teilgebiete_A3.jpg

3 Ausschlusskriterien

3.1 Diskussion

3.1.1 Großräumige Vertikalbewegungen

Zur Anwendung des Kriteriums *großräumige Vertikalbewegungen* hat die BGE zwei Datenabfragen bei den geologischen Diensten der Bundesländer und bei Bundesbehörden vorgenommen. Dabei wurde nach Gebieten gefragt, in denen in den kommenden 1 Million Jahren Hebungen zu erwarten sind. Konkret sollten Hebungsbeträge und zugehörige Zeiträume, Flächenbezeichnungen der Hebungsgebiete, Ursachen und Quellenangaben zu diesen Daten übermittelt werden. Darüber hinaus wurde nach Gebieten gefragt, in denen Hebungen innerhalb der nächsten 1 Million Jahren ausgeschlossen werden können oder in denen keine Prognose über Höhenänderungen getroffen werden kann (BGE 2018a). Diese Daten wurden von der Vorhabenträgerin ausgewertet. Neben diesen spezifischen Datenlieferungen stellt die von der BGE in Auftrag gegebene Studie „Prognosemöglichkeiten von großräumigen Vertikalbewegungen in Deutschland“ (Jähne-Klingberg et al. 2019) die wesentliche Quelle für die Anwendung des Ausschlusskriteriums dar.

In ihrer Studie kommen die Autoren (Jähne-Klingberg et al. 2019) zu dem Schluss, dass „die für Mitteleuropa diskutierten, vermutlich zurzeit wirkenden endogenen Prozesse [...] nach heutigem Kenntnisstand nur Hebungsraten deutlich unter 1000 Meter pro Million Jahre“ (Jähne-Klingberg et al. 2019) hervorbringen. Aufgrund der Komplexität bewerten sie, dass „verlässliche quantifizierbare flächige Zukunftsprognosen auf Basis von Modellen zu diesen komplexen geodynamischen Zusammenhängen [...] eine genauere, konsistentere und flächendeckendere Datenbasis als heute vorhanden“ (Jähne-Klingberg et al. 2019) erfordern. Im Ergebnis schließt sich die BGE der Studie an und geht davon aus, dass im Nachweiszeitraum Hebungsraten von 1000 m nicht erreicht werden.

Diese Schlussfolgerung ist einerseits auf Basis der vorliegenden Daten nachvollziehbar, sollte aber andererseits im Laufe des Verfahrens wissenschaftlich diskutiert werden. Möglicherweise entspricht das Ausschlusskriterium so nicht den Erfordernissen und müsste ggf. präzisiert werden.

3.1.2 Aktive Störungszonen

Die Datenabfragen, die die Grundlage zur Anwendung des Ausschlusskriteriums *aktive Störungszonen* bildeten, zielten auf die Angabe der Koordinaten von Linien- oder Flächenelementen, die die Lage von tektonischen oder atektonischen Störungszonen beschreiben, außerdem auf Angaben zur stratigraphischen oder zeitlichen Einordnung deren Aktivität, Angaben zur Raumlage von Störungen und Versatzbeträge.

Als aktive Störungszone werden gemäß § 22 Abs. 2 Nr. 2. StandAG (2017) „Brüche in den Gesteinsschichten der oberen Erdkruste wie Verwerfungen mit deutlichem Gesteinsversatz sowie ausge dehnte Zerrüttungszonen mit tektonischer Entstehung, an denen nachweislich oder mit großer Wahrscheinlichkeit im Zeitraum Rupel bis heute, also innerhalb der letzten 34 Millionen Jahre, Bewegungen stattgefunden haben“. Da Angaben zur Aktivität der übermittelten Störungen nur für einen geringen Anteil der Daten vorlagen, wurde neben einer Übernahme dieser Angaben nach einer Plausibilitätsprüfung auf zwei weitere Methoden zurückgegriffen. Zum einen wurden auf Basis der Geologischen Übersichtskarte Deutschlands, Maßstab 1:250.000, die abgefragten Störungsdaten mit den stratigraphischen Informationen der Karte verschnitten und auf diese Weise Störungen identifiziert, die Gesteine jünger als Rupel-Alter versetzen. Zum anderen wurden durch „Kombination

mehrerer Indikatoren“ (BGE 2020e) tektonisch aktive Großstrukturen ausgewiesen, die „als Argumentationsgrundlage und Hilfsmittel zur Ausweisung aktiver Störungszonen“ genutzt werden.

Aktive Störungszonen werden im Zwischenbericht Teilgebiete mit einem Sicherheitsabstand von 1000 m beidseitig der Störungsfläche ausgeschlossen. Dieser Abstand wird der Begründung zum Gesetzentwurf zum StandAG (Fraktionen CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 2017, S. 68) entnommen; darin heißt es, der erforderliche Sicherheitsabstand sei individuell abzuschätzen und betrage in der Regel mindestens einen Kilometer.

Das ausgeschlossene Gebiet „wird von der Geländeoberkante vertikal in alle endlagerrelevanten Tiefen projiziert“ (BGE 2020e). Im Fall von Scheitelstörungen, „die im Deckgebirge von Salzstrukturen (z. B. Salzwälle und Salzdiapire) auftreten“ (BGE 2020e), wird von diesem Vorgehen abgewichen. Scheitelstörungen werden nur für das Deckgebirge von steilstehenden Salinaren als ausgeschlossene Gebiete angeführt, und auch nur dann, wenn „der höchste Punkt der Salzstruktur unterhalb von 300 m“ (BGE 2020e) unter der Geländeoberkante (GOK) liegt. Das entspricht der Mindestdiefe der Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs² gemäß § 23 Abs. 5 Nr. 3 StandAG. Begründet wird dieses Vorgehen durch das duktile Verformungsverhalten von Steinsalz, durch das auch hohe Spannungen „in der Regel nicht zu spröder Deformation“ (BGE 2020e) führten und sich Störungszonen im Deckgebirge von Salzstöcken nicht innerhalb der Salinarstruktur fortsetzen.

Demgegenüber weisen Frisch und Kockel (2004) darauf hin, dass Scheitelstörungen oder Scheitelgräben zwar „meist im Caprock des Strukturdaches [enden], in manchen Fällen [...] sich aber auch eine Verlängerung solcher Scheitelstörungen gegen die Teufe in den Diapirkörper hinein nachweisen“ lässt. Scheitelstörungen werden demnach nicht allein durch halokinetische Prozesse, sondern oft durch eine Reaktivierung unter dem Diapir liegender Sockelstörungen verursacht (Frisch und Kockel 2004).

Atektionische Vorgänge, die ähnliche Konsequenzen für die Sicherheit eines Endlagers wie tektonische Störungen nach sich ziehen können, sind nach § 22 Abs. 2. Nr. 2 wie tektonische Störungen zu behandeln. Im Bericht „Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 Stand AG“ (BGE 2020e) werden als mögliche atektonische Vorgänge genannt: Deformationen durch Diagenese, Senkungen und Einstürze über Lösungshohlräumen, subaerische und subaquatische Rutschungen, Glazialtektonik, Kryoturbation und Impaktereignisse. Von diesen wird Impaktereignissen und Einstürzen über Lösungshohlräumen, also Verkarstungs- und Subrosionserscheinungen, eine mögliche Beeinflussung der Sicherheit des Endlagers zugeschrieben. Durch atektonische Vorgänge ausgeschlossene Gebiete wurden im Zwischenbericht Teilgebiete „analog zu aktiven Störungszonen“ ausgewiesen, indem „ein Sicherheitsabstand von 1000 m auf die jeweiligen atektonischen Vorgänge addiert wird“ (BGE 2020e).

Das Vorgehen zum Ausschluss aktiver Störungszonen erscheint nachvollziehbar und trägt dem von der BGE formulierten Verfahrensgrundsatz Rechnung, „ausgeschlossene Gebiete im Zweifel flächenhaft eher zu unter- als zu überschätzen“ (BGE 2020e). Das Vorgehen hinsichtlich der Behandlung von Scheitelstörungen oberhalb von Salzdiapiren bedarf aus Sicht der Autoren einer detaillierteren Begründung und wissenschaftlichen Abstützung als im Zwischenbericht dargestellt. Im Rahmen der Befassung mit atektonischen Vorgängen sind die möglichen Konsequenzen eines Wasserzutritts zu Anhydritvorkommen im Untergrund als Ursache für Störungen nicht berücksichtigt worden. Ein solches Ereignis hat in der Regel Konsequenzen auf das lokale Störungs-Regime; die Volumenvergrößerung durch die Umwandlung von Anhydrit zu Gips sollte als mögliche atektonische

² Der Teil des Wirtsgesteins, der für den sicheren Einschluss des radioaktiven Abfalls erforderlich ist.

Ursache für die Bildung von aktiven Störungszonen bei der zukünftigen Anwendung des Ausschlusskriteriums berücksichtigt werden (siehe auch Chaudry und Neles 2020).

3.1.3 Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit

Bei der Anwendung des Kriteriums *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit* wird von der BGE zwischen Bohrungen einerseits und Bergwerken andererseits unterschieden. Begründet wird diese Differenzierung mit grundsätzlichen Unterschieden zwischen den beiden Techniken Bergbau und Bohrung.

Bohrdaten wurden von der BGE bei den zuständigen Landes- und Bundesbehörden zweimal, zunächst zur Anwendung der Ausschlusskriterien und anschließend für die Anwendung der Mindestanforderungen, abgefragt. Dabei wurden Daten zu „circa 250 000 Bohrungen mit einer Bohrlochlänge ab 100 m“ geliefert. Bohrungen, „deren Einwirkungsbereich den endlagerrelevanten Bereich von 300 bis 1500 m unter GOK“ (BGE 2020e) erreicht, wurden mit einem Sicherheitsradius von 25 m um den Bohrlochverlauf ausgeschlossen. Vertikale Bohrungen bzw. Bohrungen, deren Verlauf unbekannt ist und die daher als vertikal angenommen werden, werden in der Kartendarstellung entsprechend als Punkte abgebildet, abgelenkte Bohrungen als Linien, die der Projektion des Bohrlochverlaufs an die Oberfläche entsprechen. 48.549 Datensätze bilden dem Fachbericht Anwendung Ausschlusskriterien (BGE 2020e) zufolge jeweils „ein ausgeschlossenes Gebiet, da die entsprechenden Bohrungen den endlagerrelevanten Bereich vollständig oder teilweise durchteufen“.

Daten zu Lage und Erstreckung von Bergwerken sowie „des durch die bergbauliche Tätigkeit geschädigten Gebirgsbereiches“ (BGE 2020e) wurden von der BGE in mehreren Datenabfragen von den zuständigen Landes- und Bundesbehörden angefordert; dabei wurde zwischenzeitlich die Methodik zur Kriterienanwendung weiterentwickelt. Ausgeschlossen wurden Bergwerke im Tiefenbereich von 300 bis 1500 m unter GOK. Dabei wurden die Bereiche, in denen das Gebirge durch den Bergbau potentiell geschädigt sein kann, entweder anhand mitgelieferter Informationen oder durch die BGE selbst unter Zugrundelegung der maximalen lateralen Ausdehnung des Grubengebäudes, der maximalen Teufe und eines Grenzwinkels bestimmt. Auf diese Weise wurden bundesweit „686 Bergwerke und Kavernen als ausgeschlossene Gebiete ermittelt“ (BGE 2020e).

Das Vorgehen der BGE erscheint, auch aufgrund der dargestellten Datengrundlage, angemessen zur Ausweisung von Teilgebieten. In zukünftigen Verfahrensschritten wird, insbesondere bezogen auf den Ausschluss von Bohrungen, in den ausgewählten Standortregionen die Auswertung oder Erhebung weiterer Daten zur Raumlage bestehender Bohrungen und der Schädigungsbereiche in der Umgebung der Bohrpfade notwendig sein.

3.1.4 Seismische Aktivität

Bei der Ausweisung ausgeschlossener Gebiete nach dem Kriterium *seismische Aktivität* hat sich die BGE gemäß § 22 Abs. 2 Nr. 4. StandAG an der Kartendarstellung der Erdbebenzonen in DIN EN 1998-1/NA 2011-01 orientiert. Ausgeschlossen wurden Gebiete mit einer örtlichen seismischen Gefährdung größer als in Erdbebenzone 1. Dazu wurde die Konturlinie, die den Übergang zwischen den Erdbebenzonen 1 und 2 in der Kartendarstellung markiert, digitalisiert. Dieses rein graphische Vorgehen durch die digitale Übertragung einer kleinmaßstäblichen Kartendarstellung führt zwangsläufig zu einer nur sehr ungenauen Begrenzung der Erdbebenzonen bei der Kriterienanwendung. Begründet wird das mit der Qualität der erhaltenen Daten. Demnach waren die Datenlieferungen „sehr heterogen und enthielten [...] meist thematisch verwandte aber nur in wenigen Fällen die

konkret erfragten Informationen. Im Zwischenbericht Teilgebiete und den untersetzenden Unterlagen ist nicht dargestellt, ob eine exaktere Konstruktion der Zonengrenzen aus den der Erstellung der Kartendarstellung in DIN EN 1998-1/NA 2011-01 zugrundeliegenden Quellen möglich ist. Da auch dieses Kriterium dem Grundsatz folgt, „ausgeschlossene Gebiete im Zweifel flächenhaft eher zu unter- als zu überschätzen“ (BGE 2020e), kann die Anwendung des Ausschlusskriteriums *seismische Aktivität* in diesem ersten Verfahrensschritt und angesichts der dargestellten Datenlage als plausibel angesehen werden. Hervorzuheben ist, dass der Nationale Anhang zur DIN EN 1998-1 aktuell überarbeitet wird. Die BGE beabsichtigt, den aktualisierten Anhang im Standortauswahlverfahren zu berücksichtigen, sobald er gilt und „alle erforderlichen Voraussetzungen gegeben sind“. Welche Voraussetzungen zusätzlich zur Veröffentlichung der neuen Gefährdungskarte die BGE zu deren Anwendung benötigt, sollte präzisiert werden.

3.1.5 Vulkanische Aktivität

Die BGE hat zur Anwendung des Ausschlusskriteriums *Vulkanische Aktivität* bei den Geologischen Diensten der Bundesländer und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Daten zu Gebieten abgerufen, in denen quartärer Vulkanismus stattgefunden hat oder innerhalb der nächsten Million Jahre Vulkanismus erwartet wird. Im Bericht zur Anwendung der Ausschlusskriterien (BGE 2020e) wird ausgeführt, dass Prognosen über zukünftigen Vulkanismus aus keinem Bundesland vorliegen.

Zur Ermittlung ausgeschlossener Gebiete wurde auf Grundlage einer Literaturlauswertung „die Verteilung quartärer Eruptionszentren herangezogen“ (BGE 2020e). Um die Eruptionszentren wurde ein Sicherheitsabstand von 10 km gelegt. Im Ergebnis wurden 352 quartäre Eruptionspunkte identifiziert und für die Ausweisung ausgeschlossener Gebiete berücksichtigt. Dadurch wurden 4446 km² in der Eifel und 222 km² im Egergraben ausgeschlossen (BGE 2020e).

Unter der Maßgabe, im ersten Schritt des Standortauswahlverfahrens den ungerechtfertigten Ausschluss möglicherweise geeigneter Gebiete zu vermeiden, kann die Anwendung des Ausschlusskriteriums Vulkanismus als plausibel angesehen werden (siehe auch Chaudry und Neles 2020). Im weiteren Verfahren sollte geprüft werden, inwieweit die Einbeziehung tertiärer Eruptionszentren und eines größeren Sicherheitsabstands bei der Anwendung des Kriteriums notwendig sind (siehe dazu auch May 2019).

3.1.6 Grundwasseralter

Durch das Ausschlusskriterium *Grundwasseralter* soll sichergestellt werden, dass in Gebirgsbereichen, „die als einschlusswirksamer Gebirgsbereich oder Einlagerungsbereich in Frage kommen“ (StandAG 2017), die dort vorhandenen tiefen Grundwässer „am aktuellen hydrologischen Kreislauf teilnehmen“ (Fraktionen CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 2017). Der Begriff *junges Grundwasser* wird im StandAG nicht definiert; auch die Formulierung vom *aktuellen hydrologischen Kreislauf* aus der Begründung zum Gesetzentwurf ist wenig konkret. In der Begründung wird darauf hingewiesen, dass „die Konzentration der Isotope Tritium [³H] und Kohlenstoff-14 [¹⁴C] im Grundwasser des vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereiches oder Einlagerungsbereiches“ (Appel et al. 2002) als Bewertungsgrundlage herangezogen werden könne.

Die BGE orientiert sich bei der ersten Anwendung der Ausschlusskriterien am Abschlussbericht des Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd), der dazu in seinem Abschlussbericht 2002 festhielt: „Das Grundwasser im Wirtsgestein und einschlusswirksamen Gebirgsbereich eines

Standortes (einer Region) sowie in sicherheitsrelevanten Bereichen ihrer Umgebung darf kein Tritium und/oder Kohlenstoff-14 enthalten“ (Appel et al. 2002). Da zum jetzigen Zeitpunkt weder einschlusswirksame Gebirgsbereiche noch Einlagerungsbereiche bekannt sind, wird „ein großräumiger Ausschluss von Gebieten auf Basis des Ausschlusskriteriums „Grundwasseralter““ seitens der BGE als „nicht zielführend“ beschrieben (BGE 2020e). Statt dessen „erfolgt eine punktuelle Ermittlung ausgeschlossener Gebiete“ (BGE 2020e).

In zwei Datenabfragen wurden Informationen zum Grundwasseralter, ^3H - und ^{14}C -Gehalten sowie Lage, Bezeichnung der hydrogeologischen Einheit etc. bei den Bundes- und Landesbehörden abgefragt. Im Ergebnis zeigt sich, dass alle Datenpunkte mit relevanten Informationen zum Grundwasseralter entweder durch Bohrungen oder Bergwerke bereits im Rahmen des Ausschlusskriteriums 3 erfasst sind. Es werden „insgesamt 58 Datenpunkte und 96 Linien“ ausgewiesen, durch die jedoch „kein zusätzlicher Ausschluss“ erfolgt (BGE 2020e).

Für Phase 1 des Standortauswahlverfahrens kann dieses Vorgehen als plausibel angesehen werden. Für die weiteren Verfahrensschritte muss aber unter Umständen eine Methode entwickelt werden, die über die Anwendung von ^3H - und ^{14}C -Isotopenaltern hinausgeht und eine „umfassende Gesamtinterpretation der hydrochemischen und isotopenhydrologischen Grundwasserverhältnisse an einem Standort (in einer Region)“ (Appel et al. 2002) ermöglicht, ohne die das Ausschlusskriterium *Grundwasseralter* im Standortauswahlverfahren keine Wirkung entfalten kann.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Großräumige Vertikalbewegungen

Durch Anwendung des Ausschlusskriteriums *großräumige Vertikalbewegungen* wird von der BGE im Rahmen des Zwischenberichts Teilgebiete kein Ausschluss vorgenommen; entsprechend wird auch im gesamten Landkreis Emsland kein Gebiet aufgrund dieses Kriteriums ausgeschlossen.

3.2.2 Aktive Störungszonen

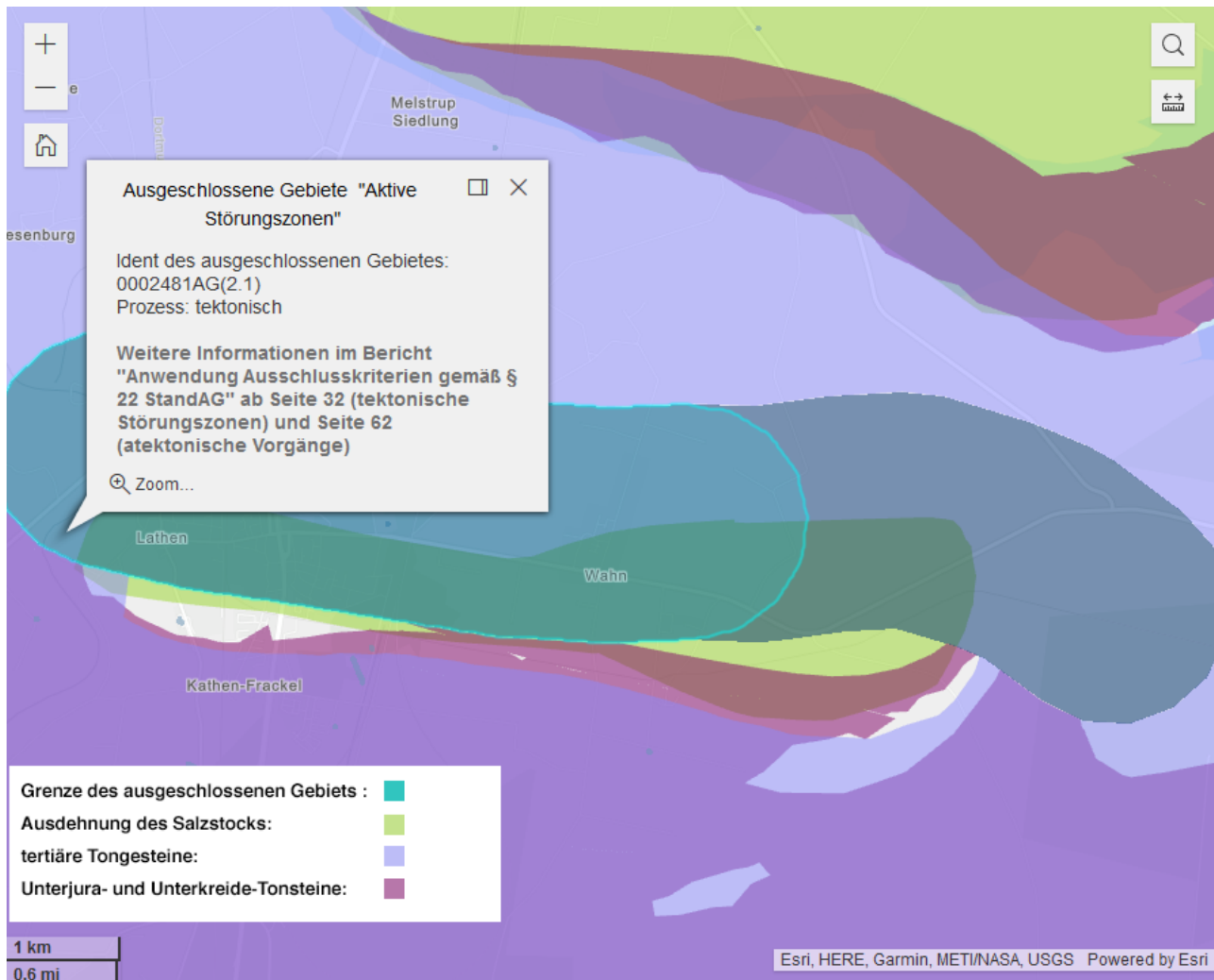
Das Ausschlusskriterium *aktive Störungszonen* führte im Rahmen der Anwendung auf die von der BGE bei den Bundes- und Landesbehörden abgefragten Daten zum Ausschluss von Störungszonen im gesamten Bundesgebiet. Im Bereich der Salzstöcke Lathen (028) und Börger (030) werden aktive Störungszonen ausgewiesen, dagegen nicht für den Salzstock Wahn. Dass Teilgebiete und ausgeschlossene Gebiete einander überlagern, lässt nur den Schluss zu, dass es sich um Scheitelstörungen der Salzdiapire³ handelt (siehe hierzu Abschnitt 3.1.2). Damit werden die im Hangenden⁴ der Salzstöcke Lathen und Börger anstehenden Tongesteinsvorkommen des unteren Jura, der Unterkreide und des Tertiär sowie im Fall des Salzstocks Börger (030) auch ein stratiformes Steinsalzvorkommen des oberen Jura ausgeschlossen. Abbildung 3-1 zeigt beispielhaft die Darstellung des Salzstocks Lathen (028) in der interaktiven Karte. Ausgewählt und türkis umrandet dargestellt ist das ausgeschlossene Gebiet 0002481AG(2.1); in grün ist die Ausdehnung des Salzstocks zu sehen, tertiäre Tongesteine sind veilchenblau gekennzeichnet, Unterjura- und Unterkreide-Tonsteine in

³ Die Begriffe Salzdiapir und Salzstock werden im Rahmen dieses Berichts synonym verwendet

⁴ Als Hangendes werden die eine Gesteinseinheit überlagernden Gesteine bezeichnet, als Liegendes die unterlagernden Einheiten

Weinrot. Im lila Bereich am unteren Rand des Kartenausschnitts überlagern sich die Tongesteine des Jura, der Kreide und des Tertiär.

Abbildung 3-1: Salzstock Lathen (028) in der interaktiven Kartendarstellung



Quelle: <https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>; Bildschirmfoto des Kartenausschnitts. Legende ergänzt.

Mit Hilfe der Kartendarstellung wurden im Bereich der Salzstöcke Lathen (028) und Börger (030) die folgenden aktiven Störungszonen, die nach der Vorgehensweise der BGE als ausgeschlossene Gebiete gekennzeichnet sind, identifiziert:

Salzstock Lathen (028)

- 0002482AG(2.1)
- 0002482AG(2.1)

Salzstock Börger (030)

- 0002493AG(2.1)
- 0002494AG(2.1)
- 0002847AG(2.1)
- 0002413AG(2.1)
- 0002495AG(2.1)
- 0002412AG(2.1)
- 0003489AG(2.1)

3.2.3 Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit

Durch die Anwendung des Ausschlusskriteriums *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit* wurden im Bereich der Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) eine Reihe von Bohrungen ausgeschlossen. Auch diese Ausschlussgebiete lassen sich lediglich anhand der interaktiven Karte für das Gebiet der drei betrachteten Teilgebiete identifizieren. Im Folgenden sind die Kennnummern der relevanten Bohrungen aufgeführt.

Salzstock Lathen

- 0024692AG(3.2)
- 0024689AG(3.2)
- 0024688AG(3.2)
- 0023524AG(3.2)

Salzstock Börger

- 0035533AG(3.2)
- 0024695AG(3.2)
- 0035534AG(3.2)

Salzstock Wahn

- 0033865AG(3.2)
- 0035529AG(3.2)
- 0033851AG(3.2)
- 0033852AG(3.2)

- 0024754AG(3.2)
- 0024758AG(3.2)
- 0035528AG(3.2)
- 0035531AG(3.2)
- 0035530AG(3.2)
- 0035531AG(3.2)
- 0033853AG(3.2)

Weitere Informationen über die Bohrungen wie beispielsweise Durchmesser oder erreichte Endteufe sind nicht bzw. nicht der Kennnummer zuordbar veröffentlicht. Gemäß der Anwendungsmethodik (Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) 2020b) wurde eine Fläche mit einem Radius von 25 m um den Bohransatzpunkt als ausgeschlossenes Gebiet markiert.

Es wurden in der Umgebung der betrachteten Teilgebiete keine Ausschlussgebiete aufgrund bestehender oder historischer Bergwerke ausgewiesen.

3.2.4 Seismische Aktivität

Auf Grund des Kriteriums *Seismische Aktivität* wurden im Bereich des Landkreises Emsland und entsprechend auch im Gebiet der drei betrachteten Teilgebiete kein Ausschluss vorgenommen. Seismisch aktive Gebiete befinden sich im Wesentlichen im Westen und Südwesten des Bundesgebiets.

3.2.5 Vulkanische Aktivität

Das Ausschlusskriterium *vulkanische Aktivität* führte im Bereich der betrachteten Teilgebiete zu keinem Ausschluss. Die Gebiete, die aufgrund quartären Vulkanismus' ausgeschlossen wurden, befinden sich ausschließlich in der Eifel bzw. im Gebiet des Egergrabens.

3.2.6 Grundwasseralter

Im Bereich der Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) wurden keine Gebiete durch das Kriterium *Grundwasseralter* ausgeschlossen. Da nur in Bohrungen und Bergwerken Grundwasseralter bestimmt wurde, wurden mit diesem Kriterium im Landkreis Emsland wie im gesamten Bundesgebiet keine zusätzlichen Flächen ausgeschlossen, siehe dazu auch Abschnitt 3.1.6.

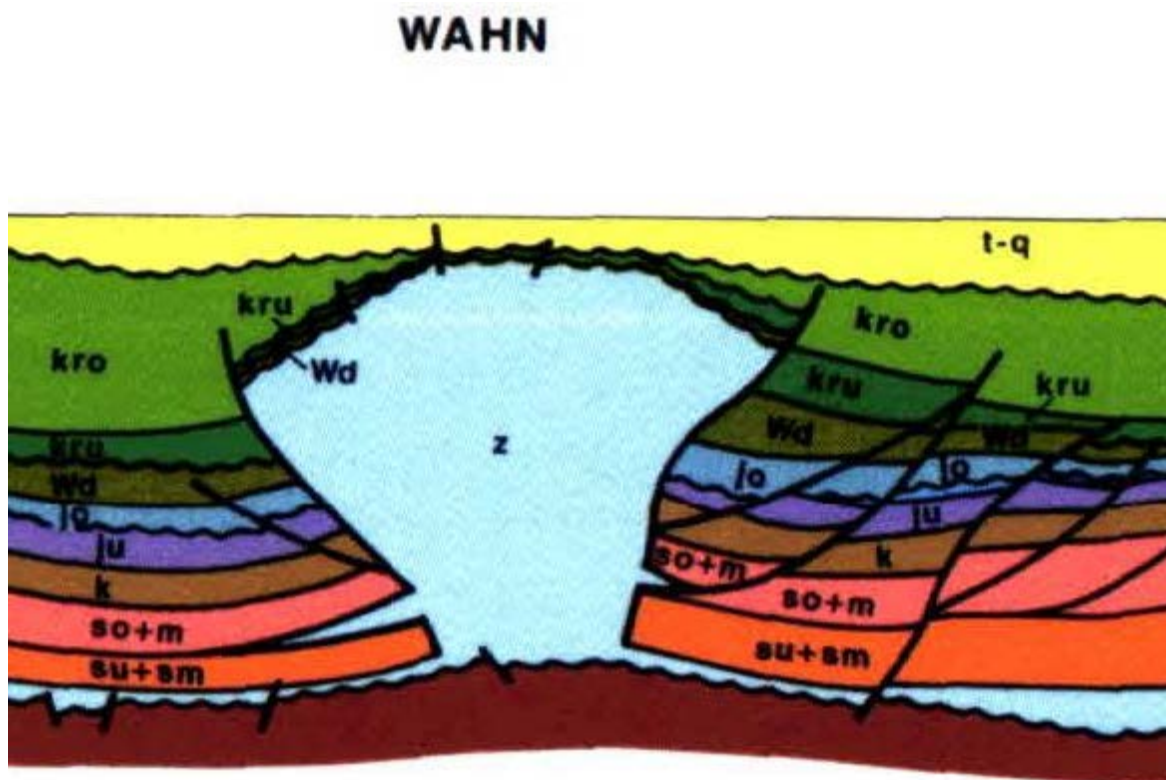
3.3 Bewertung

Die Ergebnisse der BGE zeigen, dass die Ermittlung ausgeschlossener Gebiete nicht der Ausweisung eines Teilgebietes in der gleichen Fläche im Wege steht, sondern dass Überlappungen möglich sind. Die Teilgebiete Börger (030) und Wahn (024) werden von Ausschlussgebieten aufgrund von Bohrungen überlagert, auch im unmittelbaren Umfeld des Salzstocks Lathen befinden sich Bohrungen. Die Teilgebiete Lathen (028) und Börger (030) werden zusätzlich von Ausschlussgebieten aufgrund aktiver Störungszonen überlagert.

Hinsichtlich der Bohrungen liegen keine weiteren Informationen vor, so dass nicht bewertet werden kann, ob sich diese ausschließlich im Hangenden des jeweiligen Salzstockes befinden oder ob auch der jeweilige Salzstock von Bohrungen erschlossen wurde und welche Konsequenzen dies für die Integrität für einen bestimmten Bereich des Salzstocks hat. Die Angaben der Salzstudie der BGR (Kockel und Krull 1995) zu Erdölschürfbohrungen im Salzstock Wahn (024) weisen jedoch darauf hin, dass mehrere Bohrungen das Hutgestein des Salzstocks erreicht haben und mindestens eine Bohrung in den Salzstock hinein vorgetrieben wurde. Die Daten, insbesondere die Schichtenverzeichnisse der Bohrungen, sollten, so weit und so bald möglich, verfügbar gemacht werden. Dies ist zwingend erforderlich, sollte das jeweilige Teilgebiet als Standortregion im Verfahren bleiben.

Die Ausschlussgebiete aufgrund aktiver Störungzonen basieren, wie bereits dargestellt, mutmaßlich auf Scheitelstörungen. Anders als für die Salzstöcke Lathen (028) und Börger (030) wird für den Salzstock Wahn (024) kein Ausschluss aufgrund von Scheitelstörungen vorgenommen. Allerdings weisen sowohl Kockel und Krull (1995) als auch Jaritz (1983) auf Scheitelstörungen im Deckgebirge des Salzstocks hin. Im Steckbrief des identifizierten Gebiets 029 (Wahn) wird das Profil des Salzstocks Wahn (aus Baldschuhn 2001) dargestellt (Abbildung 3-2). Auch hier sind die Scheitelstörungen dargestellt.

Abbildung 3-2: Salzstock Wahn, Profil



Quelle: Baldschuhn (2001) in BGE (2020a)

Die Einschätzung, dass der Salzstock aufgrund seiner Selbstheilungseigenschaften durch Scheitelerstörungen in seiner Integrität nicht beeinträchtigt ist, ist prinzipiell nachvollziehbar, sollte aber mit zunehmendem Kenntnissgewinn verifiziert werden.

4 Mindestanforderungen

Die BGE hat Informationen zu den Mindestanforderungen in zwei Datenabfragen bei den zuständigen Bundes- und Landesbehörden abgerufen, und dazu, analog zur Datenabfrage für Ausschlusskriterien, eine Arbeitshilfe formuliert. Auf Grundlage der erhaltenen Daten wurde die Erfüllung der Mindestanforderungen für Gebiete, die nicht durch ein Ausschlusskriterium aus dem Verfahren ausgeschlossen sind, von der BGE überprüft.

4.1 Diskussion

Im Vergleich zu den Ausschlusskriterien werden die Mindestanforderungen von Seiten der BGE deutlich weniger umfangreich diskutiert. Da es auch hier Interpretationsspielraum gibt, wäre eine im Detail tiefere Diskussion hinsichtlich der konkreten Anwendung wünschenswert.

4.1.1 Wirtsgesteine

Gemäß § 23 Abs. 1 StandAG werden bei der Standortauswahl nur die Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein in Betracht gezogen. Im Fachbericht zur Anwendung der Mindestanforderungen werden die möglichen Wirtsgesteine definiert. Als *Steinsalz in steiler Lagerung*, den Wirtsgesteinstyp, der auch die Teilgebiete Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) aufbaut, werden demnach Salzstrukturen bezeichnet, „bei denen die Deckgebirgsschichten infolge eines zunehmenden Salzaufstiegs durchbrochen wurden“ (BGE 2020f).

Salinargesteine bestehen neben Steinsalz aus einer Abfolge weiterer gesteinsbildender Minerale, die im Verlauf der Evaporation von Meerwasser ausgefällt werden, angefangen von Karbonaten über Sulfate und das eigentliche Steinsalz, das Mineral Halit (NaCl) und verschiedene Kalisalze bis hin zu Bischofit ($\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$). Diese Ausscheidungsabfolge wird durch den Aufstieg eines Salinars und die damit einhergehende bruchhafte und duktile Deformation verändert.

Da der komplexe innere Aufbau eines Salzdiapirs „ohne detaillierte Kenntnisse der jeweiligen Salzstruktur nicht beschrieben werden“ (BGE 2020f) kann, wird von der BGE zunächst die gesamte Salzstruktur als Wirtsgestein betrachtet. Wichtig ist dabei, „dass Halit der gesteinsbildende Hauptbestandteil“ ist. Das wird seitens der BGE immer dann als gegeben angesehen, wenn im Schichtenverzeichnis von Bohrungen darauf verweisenden Gesteinsnamen als Hauptkomponente benannt werden.

Die Mindestanforderungen werden auf potentielle Wirtsgesteine angewandt, die auf Grundlage der stratigraphischen Tabelle von Deutschland und vertiefender Informationen wie Bohrdaten, 3D-Modellen etc. ausgewiesen werden. Im Folgenden wird die Anwendung für Steinsalz in steiler Lagerung, wie im Fachbericht *Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23* (BGE 2020f) ausgeführt, dargestellt.

4.1.2 Gebirgsdurchlässigkeit

Für Steinsalz wird grundsätzlich angenommen, dass aufgrund dessen bekannter Eigenschaften die Gebirgsdurchlässigkeit ausreichend gering ist (BGE 2020f). In der Unterlage (BGE 2020f) wird dies nicht weiter ausgeführt, aus fachlicher Sicht ist dies im Ergebnis aber richtig; dem widersprechende Erkenntnisse liegen nicht vor. Für die Anwendung der Mindestanforderung für Gebiete mit dem potentiellen Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung auf Grundlage vorhandener Daten erscheint dieses Vorgehen plausibel.

4.1.3 Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Die Mindestanforderung wird als erfüllt angesehen, wenn das betrachtete Salinar eine Mächtigkeit von mindestens 100 m aufweist. § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG bezieht sich bei der Mächtigkeit auf den Gebirgsbereich, der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen soll. Entsprechend wird diese Anforderung damit erfüllt.

Zu berücksichtigen ist, dass die Mächtigkeit der Salzstruktur nicht der des einschlusswirksamen Gebirgsbereich entspricht. Dies könnte nur unter der Annahme erfolgen, wenn das gesamte Salinar von 100 m Mächtigkeit die für den darin auszuweisenden einschlusswirksamen Gebirgsbereich zu fordernde Eigenschaften aufweist. Davon kann unter keinen Umständen ausgegangen werden und würde eine grobe Vereinfachung darstellen.

Da aber keines der als identifizierte Gebiete ausgewiesenen Vorkommen von Steinsalz in steiler Lagerung eine Mächtigkeit von weniger als 250 m aufweist, entstehen keine Unsicherheiten in Bezug auf die Kriterienanwendung bei der Ausweisung von Teilgebieten.

4.1.4 Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Die generelle Anforderung, dass die Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mindestens 300 m unter der Geländeoberkante liegen muss, wird in § 23 Abs. 5 Nr. 3 StandAG für Steinsalz in steiler Lagerung ergänzt um das Vorhandensein einer Salzscheibe von mindestens 300 m Mächtigkeit, d. h. eines Bereiches von mindestens 300 m Steinsalz, der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich vertikal überlagert. Für die Ausweisung von Teilgebieten betrachtet die BGE mit Vorhandensein einer 300 m mächtigen Salzscheibe auch die Mindestanforderung von 300 m Abstand zur Geländeoberkante als erfüllt.

Das Vorgehen stellt eine grobe Vereinfachung dar, da auf keinen Fall der gesamte Bereich vom Top einer Salinarstruktur aus vertikal in die Tiefe als Salzscheibe betrachtet werden kann. Angesichts der dargestellten Datenlage kann dieses Vorgehen aber für Phase 1 des Standortauswahlverfahrens als plausibel angesehen werden.

4.1.5 Fläche des Endlagers

Für das Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung wird, wie in der Begründung zum Gesetzentwurf des StandAG (Fraktionen CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 2017) vorgeschlagen, eine Fläche von 3 km² als Mindestflächenbedarf angenommen. Die Fläche der maximalen Ausdehnung wurde für Salinare unter Zuhilfenahme geologischer 3D-Modelle berechnet und die Mindestanforderung als erfüllt angesehen, wenn eine horizontale Ausdehnung von mindestens 3 km² vorliegt.

Dieses Vorgehen vernachlässigt allerdings, wie generell bei der derzeitigen Anwendung der Mindestanforderungen, den komplexen Internbau von Salinaren. Für die Ausweisung von Teilgebieten kann es aber als zunächst ausreichend angesehen werden.

4.1.6 Erhalt der Barrierewirkung

Die Mindestanforderung *Erhalt der Barrierewirkung* stellt eine Negativ-Anforderung dar: Informationen, die gegen einen Erhalt der Barrierewirkung über den Zeitraum von einer Million Jahren sprechen, dürfen nicht vorliegen. Die BGE übernimmt den Gesetzestext fast wörtlich in den Fachbericht zu den Mindestanforderungen. Demnach wird die Mindestanforderung als nicht erfüllt angesehen, wenn „klare Erkenntnisse oder Daten vorliegen, dass der Erhalt der Barrierewirkung zweifelhaft erscheint“ (BGE 2020f). Eine konkrete Abfrage nach Daten und Informationen, die gegen den Erhalt der Barrierewirkung von Gesteinseinheiten über den geforderten Zeitraum sprechen, erfolgt der Arbeitshilfe (BGE 2018b) zufolge nicht.

Das Vorgehen kann insofern als plausibel angesehen werden, als die Mindestanforderung wenig konkret formuliert ist. Informationen, die Zweifel an der langfristigen Barrierewirkung von Wirtsgesteinen begründen, können auf eine Fülle von möglichen Ursachen zurückgeführt werden: lithologische Ausprägung des Gesteins und seiner Umgebung, sedimentäre Strukturen, tektonische Überprägungen etc. könnten dazu herangezogen werden. Für die erneute Anwendung der Mindestanforderung im weiteren Verfahren auf Standortregionen bzw. konkrete Standorte erscheint es geraten, die Anforderung genauer zu spezifizieren. Hilfreich wäre bspw. ein Katalog mit möglichen Eigenschaften, sowohl auf Ebene des Wirtsgesteins als auch dessen näherer und weiterer Umgebung und erdgeschichtlicher Entwicklung, deren (Nicht-)Erfüllung bei Anwendung abzuprüfen wäre.

4.2 Ergebnisse

Die Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) werden im Zwischenbericht Teilgebiete als Identifizierte Gebiete 029_00IG_S_s_z (Salzstock Wahn (024)), 040_00IG_S_s_z (Salzstock Lathen) und 048_00IG_S_s_z (Salzstock Börger (030)) benannt, d. h. keine der Mindestanforderungen wird zum jetzigen Zeitpunkt seitens der Vorhabenträgerin als nicht erfüllt angesehen.

Im Detail wird jedes identifizierte Gebiet in Form eines Steckbriefs in der Anlage IG-Steckbriefe (BGE 2020a) dargestellt. Die Steckbriefe der betrachteten Salzstöcke bestehen jeweils aus einem Lageplan des Teilgebiets und einer tabellarischen Zusammenstellung von Charakteristika. Diese werden ergänzt durch jeweils einen Profilschnitt aus dem Geotektonischen Atlas (Baldschuhn 2001) (siehe Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2) und einen Textteil, der in die Abschnitte „Allgemeine Geologie“ und „Lokale, spezifische Geologie“ gegliedert ist. Der Textabschnitt enthält keine standort- oder gebietsspezifischen Informationen, sondern lediglich allgemeine Informationen zur Geologie von Norddeutschland und der Entstehung von Salinargesteinen. Die im tabellarischen Teil wiedergegebenen Informationen zur Bewertung der Mindestanforderungen sind in Tabelle 4-1 zusammengestellt.

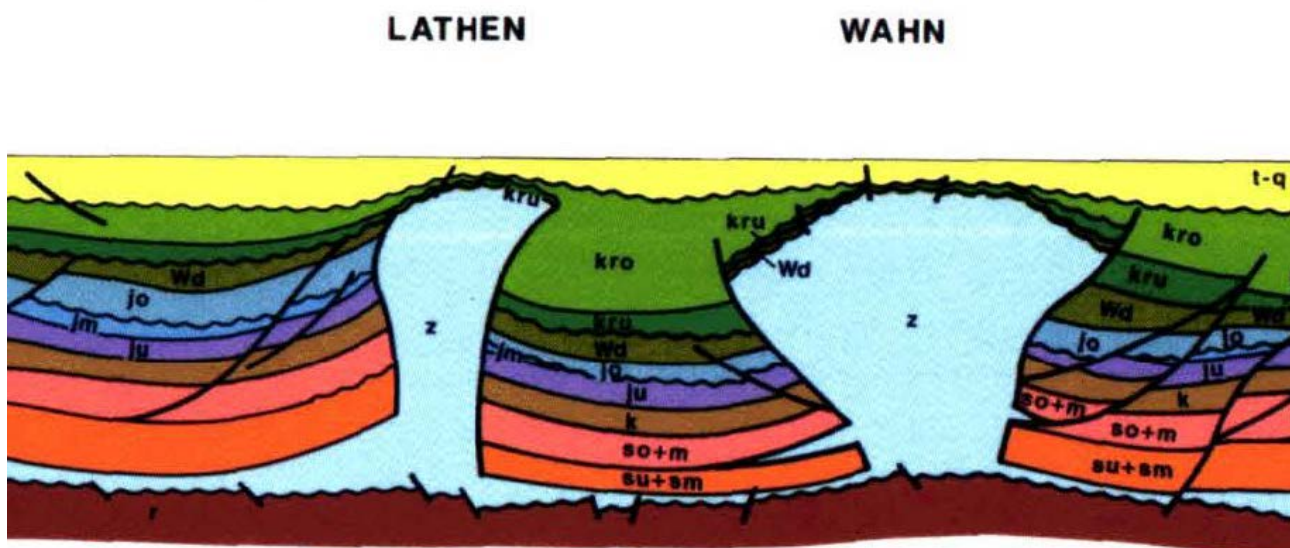
Tabelle 4-1: Charakteristika der betrachteten Salzstöcke zur Anwendung der Mindestanforderungen

	Lathen	Börger	Wahn
Wirtsgesteinstyp	Steinsalz in steiler Lagerung		
Stratigraphie	Zechstein		
Bundesländer	Niedersachsen		
Gebirgsdurchlässigkeit	10^{-12} m/s		
Mächtigkeit	1000 m	670 m	940 m
Teufenlage der Struktur	500-1500 m u. GOK	830-1500 m u. GOK	560-1500 m u. GOK
Gesamtfläche	8 km ²	21 km ²	39 km ²
Barriereintegrität	erfüllt		

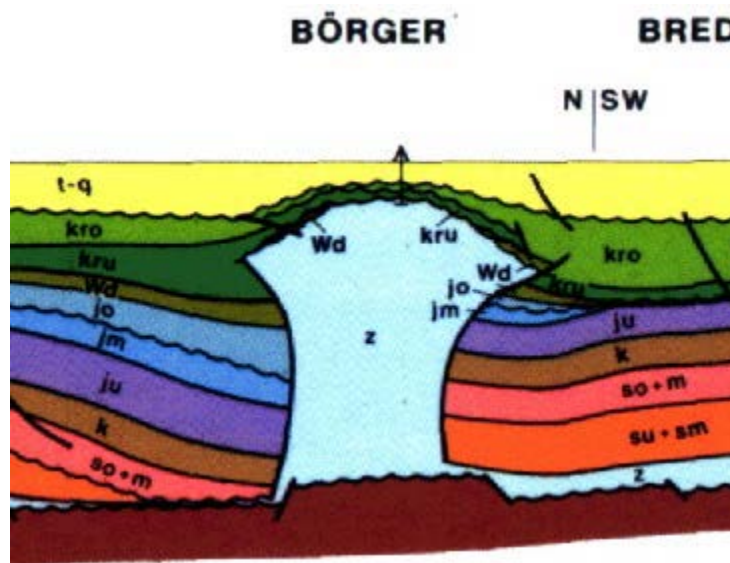
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an BGE (2020a)

Die Darstellung zeigt deutlich die rein generische Anwendung der Mindestanforderungen Gebirgsdurchlässigkeit und Barriereintegrität. Die erneute Anwendung von Mindestanforderungen im Rahmen des Standortauswahlverfahrens nach § 16 Abs. 2 StandAG erfolgt erst nach übertägiger Erkundung der nach § 14 Abs. 1 StandAG ermittelten Standortregionen. Es ist davon auszugehen, dass dann standortspezifische Daten sowohl zur Barriereintegrität als auch unter Umständen zur Gebirgsdurchlässigkeit vorliegen.

Abbildung 4-1: Salzstöcke Lathen und Wahn



Quelle: Baldschuhn (2001) in BGE (2020a)

Abbildung 4-2: Salzstock Börger

Quelle: Baldschuhn (2001) in BGE (2020a)

4.3 Bewertung

Die Ermittlung der Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) als Identifizierte Gebiete im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen fußt im Wesentlichen auf generischen Annahmen. Dies gilt insbesondere für die Mindestanforderungen Gebirgsdurchlässigkeit und Barriereintegrität.

Hinsichtlich der Tiefenlage finden sich in der Literatur auch Angaben, die den Ergebnissen der BGE widersprechen. Nach Jaritz (1983) befindet sich „der höchste Teil der Salzstockoberfläche“ von Lathen (028) in einer Tiefe von „ca. 190 m unter NN“ (Das Gebiet der Gemeinde liegt etwa auf einer Höhe von 10 – 15 m über NHN). Diese Aussage steht in deutlichem Widerspruch zur Angabe im Zwischenbericht Teilgebiete. Gleiches gilt für die Salzstöcke Börger und Wahn, die von Jaritz (1983) 500 m unter NN (Börger) und 275 m unter NN angegeben werden. Darüber hinaus führen Kockel und Krull (1995) aus, dass das Hutgestein des Salzstocks Wahn in der Bohrung Wahn 101 bei 264 m unter NN angetroffen worden sei.

Die Informationen, auf denen die Angaben zur Tiefenlage und Mächtigkeit der Salzstöcke im Zwischenbericht beruhen, sollten baldmöglichst offengelegt werden, um Nachvollziehbarkeit und Transparenz zu ermöglichen. Dabei sollte neben dem Verweis auf das verwendete 3D-Modell auch dargestellt werden, welche Eingangsdaten zur Darstellung der Salzstöcke im Modell verwendet wurden.

5 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien

5.1 Diskussion

Die Ausweisung von Teilgebieten, die „günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen“ (StandAG 2017), erfolgte ausgehend von den durch die Anwendung der Mindestanforderungen identifizierten Gebieten. Auf diese wurden im nächsten Schritt die elf geologischen Abwägungskriterien gemäß StandAG angewendet. Diese sind jeweils mit so genannten bewertungsrelevanten Eigenschaften unterfüttert, denen Indikatoren zugeordnet werden. Eine Bewertung sowohl der Indikatoren als auch des jeweiligen Kriteriums erfolgt in günstig, bedingt günstig und weniger günstig (Bezeichnung im StandAG) bzw. nicht günstig (Bezeichnung gemäß Umsetzung der BGE).

Zum jetzigen Stand des Verfahrens führt die Anwendung der Abwägungskriterien auf einzelne identifizierte Gebiete aufgrund des Fehlens standortspezifischer Daten noch nicht zu gebietsspezifischen Bewertungen. Um beurteilen zu können, ob das jeweilige Wirtsgestein eine günstige Bewertung erwarten lässt, greift die BGE ersatzweise auf Referenzdaten zurück, die sie im Rahmen des Verfahrens wirtsgesteinsspezifisch hergeleitet hat. Für Steinsalz finden sich die Referenzdaten in Kapitel 6 der Unterlage *Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG* (BGE 2020j).

Die nachfolgende kursorische Diskussion der geologischen Abwägungskriterien bezieht sich auch auf die konkrete Anwendung von Referenzdaten und ggf. deren Herleitung. Für acht von elf Kriterien sind bei Gebieten im Steinsalz mit steiler Lagerung Referenzdatensätze verwendet worden. Lediglich die Kriterien 2, 3 und 11 wurden gebietsspezifisch bewertet (BGE 2020k).

5.1.1 Kriterium 1 zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Aus dem Endlager bzw. dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich sollen möglichst keine radioaktiven Stoffe entweichen können. Zur Bewertung eines möglichen Stofftransports und damit potentiellen Austrags von Schadstoffen aus dem Endlager beziehen sich die Indikatoren auf Eigenschaften, die die Grundwasserströmung und die Diffusion durch das Gestein betreffen.

Zur Bewertung des Indikators *Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers* wurden allgemeine Materialeigenschaften des Wirtsgesteins Steinsalz herangezogen. Der Indikator *Charakteristische Durchlässigkeit des Gesteinstyps* wurde anhand von Literaturdaten, bspw. aus Untersuchungen im Bergwerk Morsleben, der Schachanlage Asse und der Waste Isolation Pilot Plant in New Mexico (USA) für Steinsalz bewertet.

Für den Indikator *Charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient des Gesteinstyps für tritiiertes Wasser (HTO) bei 25 °C* wird darauf hingewiesen, dass eine experimentelle Bestimmung der Diffusionsgeschwindigkeit mit tritiiertem Wasser für Steinsalz nicht durchführbar sei, da das Steinsalz vom Wasser gelöst würde. Er wird daher anhand allgemeiner Materialeigenschaften bewertet.

Die Indikatoren *Absolute Porosität* und *Verfestigungsgrad* finden nur für Tongestein Anwendung.

Die Anwendung des Kriteriums auf Grundlage von Referenzdaten ist nachvollziehbar, da in Phase 1 des Standortauswahlverfahrens noch keine Informationen über die mögliche Lage des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs oder die genauen hydrogeologischen Verhältnisse in einem

identifizierten Gebiet vorliegen. Die pauschalen Annahmen, auf denen die Bewertung der Indikatoren *Abstandsgeschwindigkeit* und *Diffusionskoeffizient* aufbauen, scheinen insofern gerechtfertigt, als sie durch Erfahrungswerte zu den Eigenschaften beruhen. Die Unmöglichkeit der Bestimmung des Diffusionskoeffizienten von Steinsalz für tritiiertes Wasser führt dazu, dass dieser Indikator auch in späteren Verfahrensschritten nicht auf Teilgebiete in Steinsalz angewandt werden kann. Im Sinne eines wissenschaftsbasierten und transparenten Verfahrens sollte das Standortauswahlgesetz unter Umständen für alle Wirtsgesteine dahingehend angepasst werden, dass ein vergleichbarer Indikator verwendet wird.

5.1.2 Kriterium 2 zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper

Das Kriterium zur *Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper* wird anhand gebietsspezifischer Daten für die drei Salzstöcke bewertet (siehe Abschnitt 5.2). Durch die Erfüllung des Indikators *Barrierenmächtigkeit* soll gezeigt werden, dass die Gesteine des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs als Barriere den Einschluss der eingelagerten Abfallstoffe über mindestens eine Million Jahre gewährleisten. Dazu wird ein Abstand von mehr als 150 m zum Rand des Gesteinskörpers als günstig angenommen. Da die genaue Lage des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs noch nicht bekannt ist, bewertet die BGE eine Mächtigkeit des Wirtsgesteins von 300 m generell als günstig (BGE 2020k).

Durch den Indikator *Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich* wird sichergestellt, dass die eingelagerten Abfälle vollständig vom Wirtsgestein umschlossen sind, um einen Transport von Schadstoffen aus dem Endlager möglichst zu verhindern.

Der Indikator *Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* dient dem Ausweis, dass das Endlager einen hinreichenden vertikalen Abstand von der Oberfläche bzw. der Biosphäre, und damit von Mensch und Umwelt, hat. Eine Tiefe von 500 m unter GOK wird dabei nach Anlage 2 zu § 24 StandAG als günstig angesehen.

Zur Bewertung des Indikators *Flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit* wird für Steinsalz in steiler Lagerung, der Begründung zum Gesetzesentwurf des StandAG (Fraktionen CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 2017) folgend, ein Mindestflächenbedarf von 3 km² angesetzt. Als günstig sind nach Anlage 2 zu § 24 Abs. 3 StandAG Gesteinskörper mit einer Ausdehnung von deutlich mehr als dem 2-fachen Flächenbedarf zu bewerten, als bedingt günstig potentielle Wirtsgesteine mit einer Ausdehnung von etwa dem 2-fachen Flächenbedarf und als weniger günstig Gesteinseinheiten mit einer flächenhaften Ausdehnung von deutlich weniger als dem 2-fachen Flächenbedarf. Nach dem Fachbericht zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (BGE 2020k) wird für Steinsalz ein Flächenangebot von 3 – 6 km² als weniger günstig, 6 – 9 km² als bedingt günstig und größer 9 km² als günstig übersetzt.

Der Indikator 5 – Potenzialbringer – findet nur für Teilgebiete in Tongestein Anwendung.

5.1.3 Kriterium 3 zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit

Das Kriterium zur *Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit* dient als Maß dafür, wie gut sich die Eigenschaften eines Wirtsgesteins in einem Teilgebiet oder im weiteren Verfahren in einer Standortregion oder an einem Standort beschreiben lassen, und wie gut sich punktuell gewonnene Erkenntnisse aus der Erkundung auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich oder

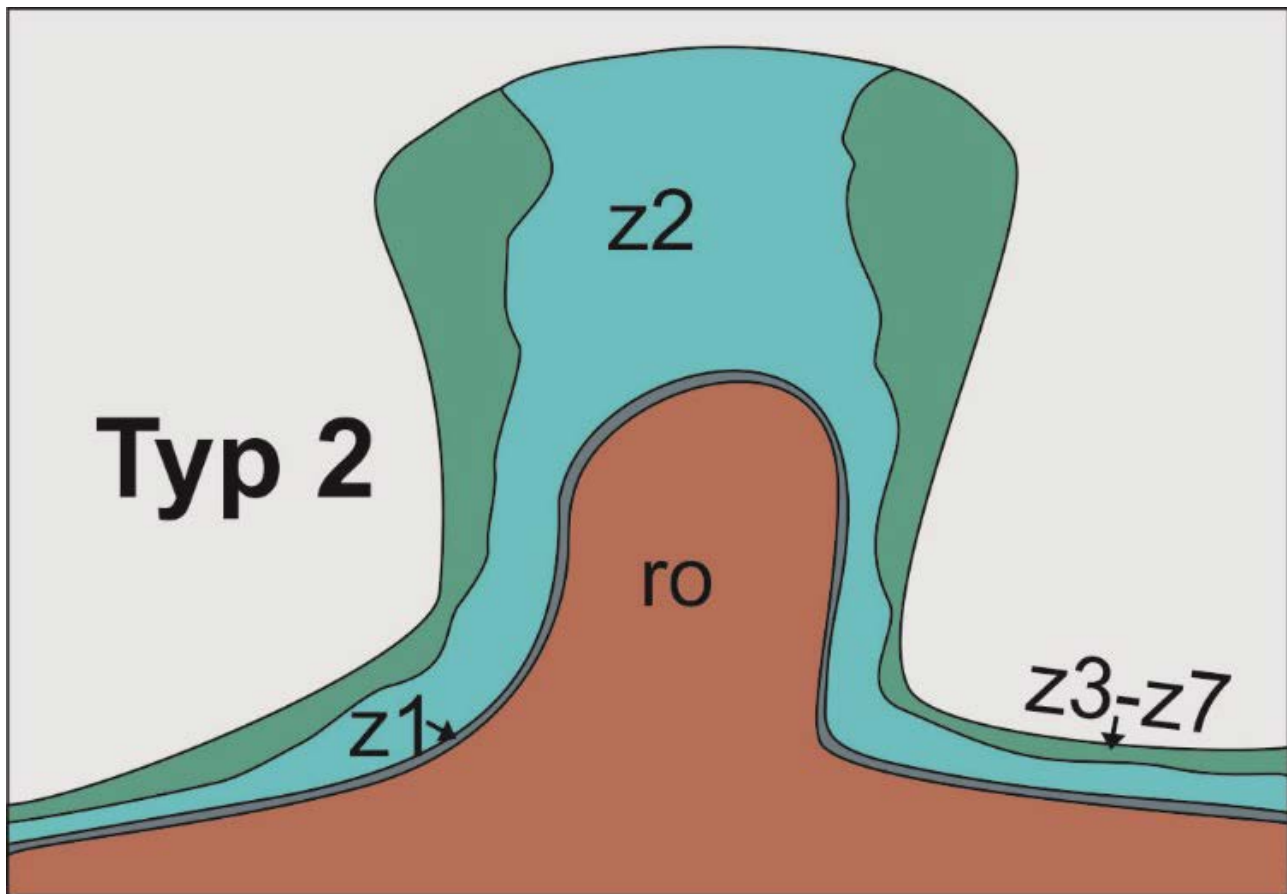
Einlagerungsbereich übertragen lassen. Im Fachbericht (BGE 2020k) wird ein schrittweises Vorgehen zur Bewertung für Steinsalz in steiler Lagerung dargestellt. Demnach wurden Salzstöcke zunächst eingeteilt in Zechsteinsalinare einerseits und Doppelsalinare andererseits, wobei letztere aus Zechstein- sowie Rotliegendesedimenten bestehen.

Anschließend wurde der Internbautyp der Doppelsalinare bestimmt, „um den Anteil an Zechstein im Doppelsalar abzuschätzen“ (BGE 2020k). Grundlage dafür sind die Definitionen des Projekts InSpEE-DS⁵. Für Zechsteinsalinare und Doppelsalinare mit Internbautyp 2 (Abbildung 5-1) wurden die Indikatoren *Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich*, *Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften* und *Gesteinsausbildung* als günstig bewertet. Beim Internbautyp 2 nach Fleig und Röhling (2020) werden die Gesteinseinheiten des Rotliegenden im Salzstock von Gesteinen des Zechsteins überlagert, während bei den Internbautypen 1 und 3 die Zechstein-Anteile des Salzstocks im Wesentlichen in den Flanken der Struktur zu finden sind, der Kern des Gesteinskörpers hingegen von Gesteinen des Rotliegenden gebildet wird. Für Doppelsalinare der Internbautypen 1 und 3 wurden diese drei Indikatoren grundsätzlich als bedingt günstig bewertet (BGE 2020k).

Der Indikator *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* wurde für Steinsalz in steiler Lagerung grundsätzlich als bedingt günstig bewertet, da der Salzdiapirismus als tektonische Prozess selbst zur Überprägung der beteiligten Gesteine führt (BGE 2020k).

Grundlegend für diese Anwendung, bei der drei der Indikatoren pauschal bewertet werden, ist die unterschiedliche Lithologie der Salze der Zechsteinabfolge und der Gesteine des Oberrotliegenden. Während die Zechsteinsedimente mächtige Ablagerungen reinen Steinsalzes enthalten, insbesondere in der Staßfurt-Folge, bestehen die Schichten des Rotliegenden in Norddeutschland neben Salz vor allem aus tonigen Sedimenten, die beim Aufstieg eines Salzdiapirs und der damit einhergehenden Verformung der Gesteinsschichten zu großen Inhomogenitäten innerhalb des Gesteinskörpers führen. Solange noch keine genaueren Daten durch Erkundung der Salinare über deren Internbau vorliegen, kann dieses sehr vereinfachende Vorgehen daher als plausibel angesehen werden. Gleiches gilt für die Annahme, die Gesteine von Salzstöcken seien grundsätzlich tektonisch überprägt.

⁵ Vorhaben: „Informationssystem Salz: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzungen für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) – Doppelsalinare und flach lagernde Salzschichten (InSpEE-DS)“, abrufbar unter https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Nutzung_tieferer_Untergrund_CO2Speicherung/Projekte/Nutzungspotenziale/Abgeschlossen/InSpEEDS.html

Abbildung 5-1: Doppelsalinar vom Internbautyp 2

Quelle: Fleig und Röhling (2020) Informationssystem Salz: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft). Doppelsalinare und flach lagernde Salzschieben

5.1.4 Kriterium 4 zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse

Das Endlager soll für einen Zeitraum von einer Million Jahren Sicherheit vor den schädlichen Wirkungen der eingelagerten Abfallstoffe bieten. Mit dem Kriterium zur *Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse* wird eine Aussage dazu getroffen, ob die zum Zeitpunkt der Standortauswahl als günstig bewerteten Verhältnisse auch langfristig gewährleistet werden können. Das Kriterium wird anhand von Referenzdaten bewertet.

In Anlage 4 zu § 24 Abs. 3 StandAG (2017) wird ausgeführt, Indikatoren zur Bewertung des Kriteriums *Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse* seien „insbesondere die Zeitspannen, über die sich die Betrachtungsmerkmale „Mächtigkeit“, flächenhafte beziehungsweise räumliche „Ausdehnung“ und „Gebirgsdurchlässigkeit“ des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht wesentlich verändert haben“. Die BGE beschränkt sich bei der Bewertung des Kriteriums auf diese drei Indikatoren. Im Referenzdatensatz wird ausgeführt, dass aus vorhandener Literatur „nur indirekt Aussagen zu Änderungen der Indikatoren Mächtigkeit, Ausdehnung und Gebirgsdurchlässigkeit über die Zeit ableitbar“ (BGE 2020j) seien. Es werden eine Reihe von Prozessen aufgeführt, die Auswirkungen auf die räumlichen Eigenschaften Mächtigkeit und Ausdehnung haben können.

Diese Prozesse werden für die Bewertung der beiden Indikatoren jedoch nicht herangezogen, da im Referenzdatensatz von einer günstigen Ausgangssituation ausgegangen werde. Grundlage dafür ist die Feststellung, dass der Diapirismus an den norddeutschen Salzstöcken im Wesentlichen zum Erliegen gekommen ist und keine oder nur noch sehr geringe Hebungsvorgänge stattfinden. Es wird darauf hingewiesen, dass „für belastbare Aussagen zu diesen Prozessen [...] standortspezifische Untersuchungen nötig“ (BGE 2020j) seien.

Zum Indikator *langfristige Stabilität der Gebirgsdurchlässigkeit* wird ausgeführt, dass im Nachdiapirstadium von Salzstöcken keine wesentlichen Änderungen der Gebirgsdurchlässigkeit mehr stattfinden.

Vor dem Hintergrund der Feststellung, „weitere detailliertere Betrachtungen und ggf. Untersuchungen einzelner steil stehender Salzstrukturen bezüglich der langfristigen Stabilität der Mächtigkeit, Ausdehnung sowie Gebirgsdurchlässigkeit“ seien „im weiteren Verlauf des Verfahrens vorgesehen“ (BGE 2020j) kann das Vorgehen für Phase 1 des Standortauswahlverfahrens als plausibel angesehen werden.

5.1.5 Kriterium 5 zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften

Das Kriterium zur *Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften* dient der Beurteilung, inwiefern die Errichtung eines Endlagerbergwerks das jeweilige Wirtsgestein schädigt und unter Umständen zur Entstehung erhöhter Permeabilität in der Umgebung des Grubengebäudes führt. Es soll nach Anlage 5 zu § 24 Abs. 4 StandAG mit Hilfe zweier Indikatoren bewertet werden:

1. das Gebirge kann als geomechanisches Haupttragelement die Beanspruchung aus Auffahrung und Betrieb ohne planmäßigen tragenden Ausbau, abgesehen von einer Kontursicherung, bei verträglichen Deformationen aufnehmen
2. um Endlagerhohlräume sind keine mechanisch bedingten Sekundärpermeabilitäten außerhalb einer unvermeidbaren konturnah entfestigten Auflockerungszone zu erwarten

Die Bewertung der Indikatoren für Steinsalz erfolgt mittels des Referenzdatensatzes anhand von Erfahrungswerten und Literaturstudium. Dieses Vorgehen ist für Steinsalz plausibel, da aufgrund des jahrhundertelangen Bergbaus auf Stein- und Kalisalz in Deutschland und durch langjährige und umfangreiche Laborforschung umfangreiche Kenntnisse zu den gebirgsmechanischen Eigenschaften von Steinsalz vorliegen.

5.1.6 Kriterium 6 zur Bewertung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten

Mit der Bewertung der *Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten* soll sichergestellt werden, dass durch die Errichtung eines Endlagerbergwerks induzierte Schädigungen des Gebirges nicht zu einem erhöhten Stofftransport aus dem Endlager kommt. Dabei wird zur Bewertung aller Indikatoren im Rahmen des Referenzdatensatzes auf Erfahrungs- und Literaturwerte zurückgegriffen.

Der Indikator *Verhältnis repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit/repräsentative Gesteinsdurchlässigkeit* wird bei einem Wert kleiner als 10 als günstig bewertet. für einen Wert zwischen 10 und 100 erfolgt die Bewertung als bedingt günstig, über 100 als weniger günstig. Dabei wird „aufgrund des Fehlens von ortsbezogenen In-situ-Messwerten [...] das Gebirge als unverritzt betrachtet (BGE 2020j).

Der Indikator *Erfahrungen über die Barrierewirksamkeit der Gebirgsformationen* wird nach Anlage 6 zu § 24 Abs. 4 StandAG mit Hilfe von sieben Erfahrungsbereichen bewertet: rezente Existenz als wasserlösliches Gestein, fossile Fluideinschlüsse, unterlagernde wasserlösliche Gesteine, unterlagernde Vorkommen flüssiger oder gasförmiger Kohlenwasserstoffe, Heranziehung als hydrogeologische Schutzschicht bei Gewinnungsbergwerken, Aufrechterhaltung der Abdichtungsfunktion auch bei dynamischer Beanspruchung, Nutzung von Hohlräumen zur behälterlosen Speicherung von gasförmigen und flüssigen Medien.

Der Indikator *Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Risssschließung* wird anhand von Materialeigenschaften des Wirtsgesteins bewertet.

Auch zur Beurteilung des Indikators *Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung* liegen in der ersten Phase des Standortauswahlverfahrens keine Werte vor, „so dass vorerst eine auf dem Wirtsgestein basierende Bewertung stattfinden muss“ (BGE 2020j). Unter erneutem Verweis auf Lux und Eberth (2002a) wird der Indikator als günstig bewertet.

Da in Phase 1 des Standortauswahlverfahrens keine standortbezogenen Werte vorliegen und die Eigenschaften von Steinsalz, wie oben ausgeführt, aus Forschungstätigkeit und Gewinnungsbergbau gut untersucht sind, kann das Vorgehen für Steinsalz in steiler Lagerung als adäquat angesehen werden.

5.1.7 Kriterium 7 zur Bewertung der Gasbildung

Die Gasbildungsrate im Endlagerbergwerk soll möglichst gering sein, damit der Gasdruckaufbau klein bleibt und so die Integrität der geologischen Barriere nicht gefährdet wird. Die im Endlagerbergwerk maßgeblich auftretende Gasbildung resultiert aus der Korrosion und Radiolyse von Metall, hier der Abfallbehälter oder der Abfälle selbst, beim Kontakt mit Wasser bzw. Lösungen. Die Menge des Gases, das sich potentiell bilden kann, ist einerseits vom Angebot an Metall und andererseits vom Angebot an Wasser oder Feuchtigkeit abhängig. Da sich die verfügbare Metallmenge aus dem Abfall ergibt, wird die Gasbildung anhand des Indikators *Wasserangebot im Einlagerungsbereich* (StandAG 2017) bewertet. Als Wertungsgruppe gibt das StandAG „trocken“ bis „feucht“ an, ohne dies weiter zu definieren.

Steinsalz ist ein vergleichsweise trockenes Gestein, aber auch hier liegt Wasser in wasserhaltigen Mineralen, als interkristallines Porenwasser oder in Einschlüssen vor. Da der genaue Wassergehalt des jeweiligen Salzgesteins und die daraus resultierende Bewertung derzeit in aller Regel nicht bekannt ist, erfolgt hier die Bewertung anhand von Referenzdaten. In der Arbeitshilfe zu den Abwägungskriterien (BGE 2020g) erläutert die BGE, dass bei der Bewertung der Gasbildung neben dem Wasserdargebot auch die Temperatur und das chemische Milieu am Einlagerungsort zu berücksichtigen sind. Eine Gesamtbetrachtung ist entsprechend im Verlauf des Verfahrens noch standortspezifisch erforderlich. Für die Phase 1 des Standortauswahlverfahrens erscheint das Vorgehen angemessen.

5.1.8 Kriterium 8 zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit

Durch Temperaturerhöhung im Wirtsgestein durch die Abgabe von Wärme der eingelagerten Abfälle sollen weder ein Festigkeitsverlust noch Sekundärpermeabilität, also Wegsamkeiten für den Transport von Fluiden, entstehen. Zur Beurteilung der Temperaturverträglichkeit des Wirtsgesteins dient das Kriterium 8, das mittels Referenzdaten bewertet wird.

Die Indikatoren *Neigung zur Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten* und *Temperaturstabilität hinsichtlich Mineralumwandlungen* werden im Referenzdatensatz für Steinsalz gestützt auf Literaturangaben zu physikalischen und geochemischen Eigenschaften von Steinsalz bewertet. Eine Alternative zur Bewertung mit Literaturdaten böten nur In-Situ-Versuche und Laborversuche an Proben der konkreten zu betrachtenden Standortregionen oder Standorte. Für die Ausweisung von Teilgebieten mittels vorhandener Daten erscheint das Vorgehen zur Bewertung des Kriteriums daher plausibel.

5.1.9 Kriterium 9 zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Schadstoffe, die im Endlager nach der Einlagerung freigesetzt werden, sollen möglichst im einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. dem Einlagerungsbereich verbleiben. Dazu können verschiedene physikalische, geochemische und hydrochemische Eigenschaften des Wirtsgesteins beitragen, die mittels des Kriteriums *zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich* abgeprüft werden. Die Bewertung erfolgt anhand des Referenzdatensatzes.

Die Indikatoren *Sorptionskoeffizienten für die betreffenden langzeitrelevanten Radionuklide*, *Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche*, *Ionenstärke des Grundwassers* und *Öffnungsweiten der Gesteinsporen im Nanometerbereich* werden im Referenzdatensatz für Steinsalz mittels Literaturwerten beurteilt. Da zu diesem frühen Zeitpunkt im Standortauswahlverfahren noch kein einschlusswirksamer Gebirgsbereich benannt ist und keine Proben aus in Frage kommenden Standorten vorliegen, ist die Bewertung mittels Referenzdaten auf Grundlage von Literaturwerten plausibel.

5.1.10 Kriterium 10 zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse

Durch das Kriterium *zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse* soll sichergestellt werden, dass sich die Tiefenwässer und Mineralphasen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich durch die Errichtung des Endlagers und das dabei in das Gebirge eingebrachte Material nicht zu Ungunsten der Langzeitsicherheit verändern. Das Kriterium wird mittels Referenzdaten bewertet.

Die Indikatoren *Chemisches Gleichgewicht zwischen dem Wirtsgestein im Bereich des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und dem darin enthaltenen tiefen Grundwasser*, *Neutrale bis leicht alkalische Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8) im Bereich des Tiefenwassers*, *Anoxisch-reduzierendes Milieu im Bereich des Tiefenwassers*, *Möglichst geringer Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern im Tiefenwasser* und *Geringe Karbonatkonzentration im Tiefenwasser* werden anhand von Literaturangaben bewertet. Dieses Vorgehen erscheint vor dem Hintergrund, dass noch keine standortspezifischen Informationen über die hydrochemischen Verhältnisse in potentiellen einschlusswirksamen Gebirgsbereichen vorliegen, angemessen.

5.1.11 Kriterium 11 zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge

Das Kriterium *zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* wird mittels gebietsspezifischer Daten bewertet. Ihm kommt, wie auch dem geowissenschaftlichen Abwägungskriterium 2, „aufgrund der Datenlage zum jetzigen Zeitpunkt eine besondere Bedeutung zu“ (BGE 2020k).

Der Indikator *Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den ewG ergeben könnten* wird anhand von Literatur sowie Daten aus der Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen bewertet. Dabei werden Scheitelstörungen im Deckgebirge der Salzstöcke, wie in Abschnitt 3.1.2 dargestellt, nicht berücksichtigt.

Auch die Indikatoren *Überdeckung des ewG mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge sowie Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wurden anhand vorliegender Daten und Literatur zum Aufbau des Deckgebirges bewertet. Dabei wird der Abstand zur Quartärbasis als Maß zur Bewertung herangezogen.

Die Anwendung anhand von Literaturdaten und den Ergebnissen der Anwendung von Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen erscheint plausibel. Es wird jedoch aus Sicht der Autoren nicht nachvollziehbar argumentiert, wie zu dem Schluss gelangt wird, ein durch Scheitelstörungen zerblocktes Deckgebirge sei in der Lage, hydraulischen und mechanischen Schutz gegen Erosion und das Eindringen von Grundwasser zu bieten. Das gilt umso mehr, als überlagernde Tonformationen im Deckgebirge vieler norddeutscher Salzstöcke offenbar aufgrund von Scheitelstörungen als Wirtsgestein für ein Endlager ausgeschlossen wurden. Erosion greift in aller Regel auf Schwächezonen im Gebirge an. Das gilt für das Einschneiden von Wasserwegsamkeiten ebenso wie für die Erosion durch glaziale Phänomene. Vor dem Hintergrund des Betrachtungszeitraums von einer Million Jahre kann von einem durch Scheitelstörungen geschädigten Deckgebirge möglicherweise nicht der bestmögliche Schutz gewährleistet werden.

5.2 Ergebnisse

Die Beurteilung von acht der elf geowissenschaftlichen Abwägungskriterien mittels Referenzdaten führt dazu, dass deren Bewertung für alle identifizierten Gebiete im Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung identisch erfolgt. Das gilt auch für die Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024).

5.2.1 Kriterium 1 zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich

Das Kriterium zur *Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich* wurde anhand von Referenzdaten für alle Teilgebiete mit Steinsalz in steiler Lagerung identisch bewertet. Entsprechend der günstigen Bewertung aller Indikatoren wird auch das Abwägungskriterium als günstig bewertet. Das gilt auch für die Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024).

Der Indikator *Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers* wird als günstig bewertet. Zur Begründung wird auf die allgemein geringe Durchlässigkeit bzw. Undurchlässigkeit von Steinsalz verwiesen, aufgrund derer ausschließlich diffusiver Transport denkbar ist (BGE 2020j).

Der Indikator *Charakteristische Durchlässigkeit des Gesteinstyps* wurde anhand der oben genannten Literaturdaten ebenfalls als günstig eingestuft.

Für den Indikator *Charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient des Gesteinstyps für tritiiertes Wasser (HTO) bei 25 °C* wird aufgrund der geringen Porosität von Steinsalz von einer „sehr geringen

Diffusionsgeschwindigkeit“ (BGE 2020j) ausgegangen und der Indikator für Steinsalz mit günstig bewertet.

5.2.2 Kriterium 2 zur Konfiguration der Gesteinskörper

Das Kriterium *Konfiguration der Gesteinskörper* wurde individuell anhand gebietsspezifischer Daten bewertet. Nach Anlage 1 A zum Fachbericht Teilgebiete (BGE 2020b) kommt dem Kriterium aufgrund der Datenlage besondere Bedeutung zu und es wird anhand der schlechtesten Bewertung der Indikatoren eingestuft. Für den Salzstock Lathen (028) wird das Kriterium als bedingt günstig bewertet, für die Salzstöcke Börger (030) und Wahn (024) als günstig.

Der Indikator *Barrierenmächtigkeit* wird für die Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) als günstig bewertet, weil die Mächtigkeit der Gesteinsformation jeweils für eine Fläche von mindestens 3 km² größer als 300 m ist. Die maximale Mächtigkeit wird für Lathen mit 1000 m, für Börger mit 670 m und für Wahn mit 940 m angegeben.

Der Indikator *Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich* wird für alle drei Salzstöcke als günstig bewertet, weil der Gesteinskörper des Teilgebiets zum einen „die funktionalen Eigenschaften des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ (BGE 2020k) aufweist, zum anderen die Anlage eines Bergwerks erlaube. In den Salzstöcken Lathen (028), Börger und Wahn (024) kann der Einlagerungsbereich so errichtet werden, dass er vollständig durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich in Steinsalz umschlossen ist.

Der Indikator *Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wird für alle drei Salzstöcke als günstig bewertet, da sich jeweils der gesamte Gesteinskörper in der erforderlichen Tiefe befindet und eine hinreichende Mächtigkeit aufweist.

Der Indikator *flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit* wird für das Teilgebiet Lathen (028) als bedingt günstig bewertet. Die Fläche des Teilgebiets wurde mit 8,3 km² berechnet. Für den Salzstock Börger (030) wird die Fläche mit 10,9 km² angegeben, für den Salzstock Wahn (024) mit 39 km². Entsprechend erfolgt die Bewertung des Indikators jeweils als günstig.

5.2.3 Kriterium 3 zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit

Die Indikatoren des Kriteriums zur *Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit* wurden individuell „anhand von Fachliteratur“ (BGE 2020b) bewertet. Alle drei betrachteten Gebiete wurden als Zechsteinsalinar oder Doppelsalinar mit Internbautyp 2 klassifiziert. Deshalb erfolgte, wie in Abschnitt 5.1.3 dargestellt, die Bewertung von drei Indikatoren als günstig. Der vierte Indikator *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* wurde, wie oben erläutert, für alle Salzstöcke als bedingt günstig bewertet. Die Bewertung des Kriteriums erfolgte für die drei betrachteten Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) identisch als günstig.

5.2.4 Kriterium 4 zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse

Die Bewertung des Kriteriums zur *Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse* erfolgt anhand des Referenzdatensatzes (BGE 2020j) identisch für alle Teilgebiete mit dem potentiellen Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung und damit auch für die drei betrachteten Salzstöcke. Alle Indikatoren des Kriteriums und entsprechend auch das Kriterium selbst werden als günstig bewertet, da Prozesse, die zu Veränderungen der Eigenschaften Mächtigkeit, Ausdehnung und Gebirgsdurchlässigkeit führen könnten, seit dem Tertiär zum Erliegen gekommen seien (BGE 2020j).

5.2.5 Kriterium 5 zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften

Das Abwägungskriterium zur *Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften* wird mittels Referenzdaten beurteilt. Die Bewertung erfolgt identisch für alle Teilgebiete mit Steinsalz in steiler Lagerung. Beide Indikatoren werden nach Darstellung in Anlage 1 A zum Fachbericht Teilgebiete und Anwendung Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (BGE 2020b) als günstig bewertet. Nach dem Referenzdatensatz erfolgt die Bewertung jedoch zusammenfassend für das Kriterium ohne Unterscheidung der Indikatoren.

Begründet wird die günstige Einschätzung des Kriteriums mit der Standfestigkeit von Salzgestein, das keinen tragenden Ausbau benötige, sowie der Annäherung an Werte für die Gebirgsfestigkeit durch Betrachtung der Gesteinsdruckfestigkeit. Mit Verweis auf Lux und Eberth (2002b) wird dargestellt, dass Steinsalz günstige gebirgsmechanische Eigenschaften biete. Zum Beleg werden weitere Literaturquellen sowie praktische Erfahrungen angeführt.

5.2.6 Kriterium 6 zur Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten

Das Kriterium *Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten* wird ebenfalls anhand von Referenzdaten bewertet. Auch hier erfolgt die Bewertung identisch für alle Teilgebiete mit dem potentiellen Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung und damit auch für die Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024). Alle Indikatoren und das Kriterium wurden als günstig bewertet. Der Indikator *Verhältnis repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit/repräsentative Gesteinsdurchlässigkeit* wird mit 1 angegeben, da „die Gebirgs- und Gesteinsdurchlässigkeit gleich ist“ (BGE 2020j)

Der Indikator *Erfahrungen über die Barrierewirksamkeit der Gebirgsformationen* wird nach Anlage 6 zu § 24 Abs. 4 StandAG mit Hilfe von sieben Erfahrungsbereichen (siehe Abschnitt 5.1.6) bewertet, von denen die BGE drei als erfüllt ansieht. Damit wird der Indikator gemäß Anlage 6 zu § 24 StandAG als günstig bewertet.

Hinsichtlich des Indikators *Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Risssschließung* wird ebenfalls eine günstige Bewertung vorgenommen. Im Referenzdatensatz wird mit Verweis auf Lux und Eberth (2002a) ausgeführt, dass „für die genaue Bewertung der Fragestellung Angaben erforderlich sind, die erst im späteren Rahmen der Endlagerplanung vorliegen können“ (BGE 2020j). Daher wird auf Erfahrungswerte zum viskosen Verhalten von Salzgesteinen zurückgegriffen, durch das Risse verschlossen werden können. Auch der Indikator *Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung* wird unter erneutem Verweis auf Lux und Eberth (2002a) als günstig bewertet.

5.2.7 Kriterium 7 zur Bewertung der Gasbildung

Da die Bewertung des Kriteriums *Gasbildung* anhand von Referenzdaten und nicht auf Basis von standortspezifischen Daten erfolgt, hat die Bewertung für die drei Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) jeweils das gleiche Ergebnis, nämlich „günstig“.

Im Referenzdatensatz (BGE 2020j) werden aus Studien Wassergehalte meist < 1 Gewichtsprozent bzw. zwischen 0,84 % und 3,13 % ermittelt. Entsprechend werden der Indikator „Wassergehalt im Einlagerungsbereich“ und daraus resultierend das Kriterium zur Bewertung der Gasbildung für Steinsalz als günstig bewertet.

5.2.8 Kriterium 8 zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit

Das Kriterium *Bewertung der Temperaturverträglichkeit* wird mit Hilfe zweier Indikatoren auf Grundlage von Referenzdaten bewertet. Daher erfolgt die Bewertung für die Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) identisch. Beide Indikatoren und das Kriterium werden als günstig bewertet.

Der Indikator *Neigung zur Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten* wird als günstig bewertet. Begründet wird diese Einstufung mit einem positiven thermischen Expansionskoeffizienten für Steinsalz (BGE 2020j). Auch der Indikator *Temperaturstabilität hinsichtlich Mineralumwandlungen* wird als günstig bewertet. Temperaturbedingte Mineralumwandlungen in Salinargesteinen finden nach dem Referenzdatensatz (BGE 2020j) als Entwässerung von Salzhydraten statt. Gestützt auf Literaturangaben wird davon ausgegangen, dass Mineralumwandlungen im Temperaturbereich bis 100 °C (siehe § 27 Abs. 4 StandAG) nicht zu erwarten sind.

5.2.9 Kriterium 9 zur Bewertung des Rückhaltevermögens

Das Abwägungskriterium zur *Bewertung des Rückhaltevermögens* wird mittels vierer Indikatoren auf Grundlage des Referenzdatensatzes als nicht günstig bewertet. Dabei werden zwei der Indikatoren als günstig, ein Indikator als weniger günstig und ein Indikator als nicht günstig eingestuft. Die Bewertung erfolgt identisch für die Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024).

Der Indikator *Sorptionskoeffizienten für die betreffenden langzeitrelevanten Radionuklide* wird dabei mit Bezug auf verschiedene Literaturquellen als weniger günstig bewertet, weil Sorption in Steinsalz bzw. an der Oberfläche von Halit-Kristallen praktisch nicht stattfindet (BGE 2020j). Als nicht günstig wird der Indikator *Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche* bewertet. In einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich in „möglichst reinem, homogenem Steinsalz“ sind auf Grund der Bildungsbedingungen des Gesteins „keine großen Mengen an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche wie Tonminerale und Eisen- und Mangan-Hydroxide und -Oxihydrate zu erwarten“ (BGE 2020j).

Der Indikator *Ionenstärke des Grundwassers* wird als günstig bewertet. Im Referenzdatensatz (BGE 2020j) wird dargestellt, dass Grundwässer in der Umgebung von Salzstöcken durch Ablaugungsprozesse in der Regel hohe Ionenstärken aufweisen. Zur Beurteilung des Indikators *Öffnungsweite der Gesteinsporen im Nanometerbereich* liegen nur wenige Daten zur Größe von Poren in Steinsalz oder deren Öffnungsweiten vor. Da Steinsalz eine sehr geringe Porosität besitzt und vorhandene Poren Fluidinklusionen enthalten, wird der Indikator auf Grundlage des Referenzdatensatzes (BGE 2020j) als günstig bewertet.

5.2.10 Kriterium 10 zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse

Für das Kriterium zur *Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse* werden im StandAG fünf Indikatoren angegeben. Auch dieses Kriterium und seine Indikatoren werden mittels Referenzdaten identisch für die Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) bewertet. Dabei werden vier Indikatoren als günstig, ein Indikator als nicht günstig und in Summe auch das Kriterium als nicht günstig eingestuft.

Der Indikator *Chemisches Gleichgewicht zwischen dem Wirtsgestein im Bereich des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und dem darin enthaltenen tiefen Grundwasser* wird als günstig bewertet: Nach dem Referenzdatensatz (BGE 2020j) kann das chemische Gleichgewicht „durch den

Sättigungsindex dargestellt werden“, zu dem es in Phase 1 des Standortauswahlverfahrens jedoch noch „keine belastbaren Daten“ gibt. Als Indiz wird daher „eine niedrige Permeabilität zusammen mit einer hohen Mächtigkeit“ genutzt. Daraus kann auf lange Transportzeiten, resultierend lange Verweilzeiten des Wassers und Einstellung eines chemischen Gleichgewichts geschlossen werden.

Neutrale bis leicht alkalische Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8) im Bereich des Tiefenwassers, der zweite Indikator, wird als nicht günstig bewertet. Unter Verweis auf Literaturquellen und darin enthaltene Messwerte wird für Steinsalz von neutralen bis leicht sauren Bedingungen ausgegangen (BGE 2020j). Der Indikator *Anoxisch-reduzierendes Milieu im Bereich des Tiefenwassers* wird unter Verweis auf Literaturquellen als günstig beurteilt. Demnach sind für Salzstöcke und die enthaltenen Lösungen reduzierende Bedingungen zu erwarten (BGE 2020j).

Auch der Indikator *Möglichst geringer Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern im Tiefenwasser* wird als günstig gekennzeichnet. Nach dem Referenzdatensatz (BGE 2020j) sind Tiefenwässer in Steinsalz nur als Porenwasser oder in Fluideinschlüssen enthalten, die wiederum nur geringe Mengen an Kolloiden enthalten. Unter der für den Referenzdatensatz getroffenen Annahme, dass ein Endlager in ungestörtem und unverritztem Steinsalz errichtet werden würde, wird auch ein Lösungszutritt mit Zufuhr von Kolloiden in das Grubengebäude ausgeschlossen. Grundsätzlich wird darüber hinaus festgehalten, dass „sich zuverlässige Aussagen zur Menge der Komplexbildner erst im weiteren Verlauf des Verfahrens machen“ lassen.

Der letzte Indikator, *Geringe Karbonatkonzentration im Tiefenwasser*, wird als günstig bewertet, weil die CO₂-Konzentration „im Promillebereich“ (BGE 2020j) liege. „Zuverlässige Aussagen zu eventuell erhöhten CO₂-Vorkommen“ seien jedoch nur aufgrund standortspezifischer Daten möglich.

5.2.11 Kriterium 11 zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge

Das Kriterium zur *Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* wurde anhand gebietsspezifischer Daten individuell beurteilt. Die Bewertung des Kriteriums erfolgte für jeden der drei Salzstöcke als bedingt günstig; die Bewertung der Indikatoren unterscheidet sich jedoch zwischen den Teilgebieten. Da „flächendeckende Informationen zum Aufbau des Deckgebirges“ erst in späteren Phasen des Standortauswahlverfahrens zur Verfügung stehen werden, kann für alle Indikatoren des geowissenschaftlichen Abwägungskriteriums „nur eine erste Einschätzung“ (BGE 2020g) vorgenommen werden.

Der Indikator *Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten* wird nach (BGE 2020b) für die drei Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) als bedingt günstig eingestuft. Es existieren Nachweise zu Störungen innerhalb der identifizierten Gebiete. Hydraulische Wirksamkeit auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich bzw. das identifizierte Gebiet sei derzeit jedoch nicht anzunehmen. Nach der Arbeitshilfe zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG (BGE 2020g) werden beobachtete Strukturen als „nicht erkennbar hydraulisch wirksam“ eingestuft und entsprechend mit „bedingt günstig“ bewertet“, wenn der Salzstocktop weniger als 100 m unterhalb der GOK bzw. der Quartärbasis liegt. Wenn sich diese strukturellen Komplikationen im weiteren Verfahren als potentiell hydraulisch wirksam herausstellen, müsste der Indikator gemäß Anlage 11 zu § 24 Abs. 5 StandAG als nicht günstig bewertet werden.

Die Indikatoren *Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen*, *Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge* sowie *Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wurden für den Salzstock Lathen (028) ebenfalls als bedingt günstig bewertet. Nach dem Fachbericht (BGE 2020k) verfügt das Teilgebiet zwar über „eine Überdeckung durch Gesteine des Tertiär oder älter, welche als potentiell grundwasserhemmend“ bzw. als „potentiell erosionshemmend betrachtet werden“. Diese seien jedoch gering mächtig und möglicherweise lückenhaft ausgeprägt. Aus der Arbeitshilfe (BGE 2020g) geht hervor, dass bei einem Abstand zur Quartärbasis von > 150 m die Indikatoren als günstig zu bewerten sind, einem Abstand von ≤ 150 m als bedingt günstig.

Für die Salzstöcke Börger (030) und Wahn (024) wurden die beiden Indikatoren zur Überdeckung mit grundwasser- bzw. erosionshemmenden Gesteinen als günstig bewertet. Es wird dargestellt, dass jeweils eine mächtige vollständige Überdeckung durch Gesteine des Tertiär oder älter vorliege. Die konkreten Abstände des Strukturtops der jeweiligen Salzstrukturen zur Quartärbasis wird in den Teilgebietssteckbriefen in der Anlage 1 A zum Fachbericht Teilgebiete (BGE 2020b) nicht angegeben. Stattdessen wird für eine Überdeckung von mehr als 150 m Mächtigkeit die Formulierung „mächtige vollständige Überdeckung“ verwendet, für eine Überdeckung von ≤ 150 m die Formulierung „vollständige Überdeckung“.

5.3 Bewertung

Durch die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien werden sehr spezifische Eigenschaften und Parameter geprüft. Die dazu benötigten standortspezifischen Daten liegen zum jetzigen Zeitpunkt im Verfahren noch nicht vor. Daher wurden von der BGE Referenzdatensätze für die drei untersuchten Wirtsgesteinstypen entwickelt, mit deren Hilfe ein Großteil der Abwägungskriterien bewertet wird. Diese Referenzdatensätze beruhen auf der Kenntnis allgemeiner Eigenschaften der Wirtsgesteinstypen.

Für einzelne Abwägungskriterien ist die individuelle Bewertung anhand gebietsspezifischer Daten möglich. Diesen „gebietsspezifisch bewerteten Kriterien kommt, im Vergleich zu den Referenzdatensätzen [...] eine besondere Bedeutung zu“ (BGE 2020b). Für Steinsalz in steiler Lagerung sind das die Kriterien *Konfiguration der Gesteinskörper* (Kriterium 2), *räumliche Charakterisierbarkeit* (Kriterium 3) und *Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* (Kriterium 11).

Hinsichtlich der Methodik bei diesen drei Kriterien fällt auf, dass bei der Zusammenführung der Bewertung einzelner Indikatoren zu einer Gesamtbewertung unterschiedliche Methoden gewählt wurden. So werden die Kriterien *Konfiguration der Gesteinskörper* und der *Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* nach der schlechtesten Beurteilung eines Indikators bewertet, während für die *räumliche Charakterisierbarkeit* ein anderes Vorgehen gewählt wurde. Bei der Bewertung dieses Kriteriums werden drei der vier Indikatoren pauschal nach dem Internbautyp des jeweiligen Salinars gleich bewertet; ein Indikator wird für sämtliche Salzstöcke in Norddeutschland, die nicht durch Ausschlusskriterien oder Mindestanforderungen ausgeschieden sind, identisch bewertet. Obwohl letzterer, der Indikator *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit*, als bedingt günstig bewertet wird, erfolgt die Gesamtbewertung als günstig.

Da die Indikatoren des Kriteriums seitens der BGE eben nicht individuell, sondern pauschal bearbeitet werden, sollte die Bewertung dieses Kriteriums entweder in den Referenzdatensatz

aufgenommen werden oder, analog zu den anderen individuell bewerteten Kriterien, nach der schlechtesten Einstufung eines der Indikatoren beurteilt werden. In diesem Fall wäre das Kriterium für alle identifizierten Gebiete mit dem potentiellen Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung als bedingt günstig zu kennzeichnen.

Von Kockel und Krull (1995) wird dargestellt, dass „ein stark deformiertes Innengefüge und damit möglicherweise das Fehlen ausreichender Steinsalzvolumina [...] möglicherweise auch für die Strukturen Wahn [...]“ zu befürchten sei. Das spricht für ein Ausmaß an tektonischer Überprägung im Salzstock Wahn (024), das möglicherweise auch zu einer Bewertung des betreffenden Indikators als ungünstig hätte führen können.

Die gebietsspezifischen Daten, die zur Bewertung der Kriterien 2 und 11 genutzt werden, sind die Tiefenlage der Salzstockoberfläche, die Mächtigkeit des Salzstocks und dessen Flächenausdehnung sowie Informationen zum Vorhandensein von Störungen. Sie werden aus der Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen übernommen. Wie in Abschnitt 4.3 dargestellt, stimmen die aus den 3D-Modellen des Untergrundes von Norddeutschland entnommenen Daten für die Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) nicht mit verfügbaren Literaturdaten überein. Entsprechend sollten auch die daraus abgeleiteten Angaben zur Konfiguration der Gesteinskörper einer Überprüfung unterzogen werden.

Das geowissenschaftliche Abwägungskriterium 4, *langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse*, wird für alle Indikatoren als günstig bewertet. Zur Begründung wird im Referenzdatensatz (BGE 2020j) ausgeführt: „Insgesamt sind für die Indikatoren Mächtigkeit, Ausdehnung und Gebirgsdurchlässigkeit seit dem Tertiär keine wesentlichen Änderungen anzunehmen. Das trifft besonders auf die Salzstrukturen zu, die bis zum Miozän den Höhepunkt des Diapirstadiums bzw. das Nachdiapirstadium erreicht hatten“. Nach der stratigraphischen Tabelle von Deutschland (Menning und Hendrich 2016) endete das Tertiär vor 2,6 Millionen Jahren, das Miozän vor etwa 5 Millionen Jahren. Demnach müsste, der Begründung im Referenzdatensatz folgend, das Kriterium nach Anlage 4 zu § 24 StandAG, als bedingt günstig für alle drei betrachteten Salzstöcke eingestuft werden. Im Referenzdatensatz (BGE 2020j) wird darüber hinaus festgestellt, dass „die nach dem unteren Tortonium (Miozän) potentiell erfolgten Änderungen der Mächtigkeit und Ausdehnung als nicht wesentlich einzustufen“ seien. In diesem Fall wäre die Einordnung des Kriteriums als günstig berechtigt. Der Referenzdatensatz zum Kriterium 4 sollte im Sinne einer klaren und nachvollziehbaren Bewertung überarbeitet werden.

Möglicherweise kann dazu die Entwicklung weiterer Indikatoren genutzt werden. Nach Anlage 4 zu § 24 StandAG sind Indikatoren zur Bewertung des Kriteriums „**insbesondere** die Zeitspannen, über die sich die Betrachtungsmerkmale „Mächtigkeit“, flächenhafte beziehungsweise räumliche „Ausdehnung“ und „Gebirgsdurchlässigkeit“ des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht wesentlich verändert haben“. Das lässt Spielraum zur Entwicklung eigener Indikatoren, um die Bewertung des Kriteriums auf stabilere Argumente stützen zu können.

Wie in Abschnitt 5.1.11 ausgeführt, erscheint schwer nachvollziehbar, warum bei der Bewertung des Kriteriums 11 *Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* das Vorhandensein von Scheitelstörungen nicht berücksichtigt wird. Durch das im Fachbericht (BGE 2020k) dargestellte Vorgehen werden die identifizierten Gebiete hinsichtlich der Überdeckung mit grundwasserhemmenden und erosionshemmenden Gesteinen ausschließlich aufgrund ihrer Tiefenlage bzw. der Mächtigkeit der Überdeckung bewertet. Die Salzstöcke Börger (030) und Wahn (024) werden dabei als günstig bewertet, obwohl beide, wie oben ausgeführt, Scheitelstörungen um Deckgebirge aufweisen. Demnach kann nur von einer flächenhaften, aber lückenhaften bzw.

unvollständigen Überdeckung (StandAG 2017) ausgegangen werden. In diesem Fall wären auch diese beiden Salzstöcke hinsichtlich der Indikatoren *Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge* und *Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* als bedingt günstig zu bewerten.

6 Prüfung von Daten und Literatur

Der Anwendung der Mindestanforderungen, die zur Ausweisung der identifizierten Gebiete 029 (Wahn), 040 (Lathen) und 048 (Börger) führte, liegen Daten, Studien etc. zugrunde, die von Seiten der BGE offengelegt wurden. Auch bei der Anwendung der geologischen Abwägungskriterien wurde auf Literatur zurückgegriffen, die im Einzelnen in der Anlage 2 A (BGE 2020d) zum Fachbericht von der BGE dokumentiert wurde. Im Rahmen der Aufgabenstellung wurden diese Daten und die Literatur durch die Autoren gesichtet und insbesondere dahingehend geprüft, inwiefern standortspezifische Informationen zu den drei Salzstöcken in deren Bewertung eingegangen sind bzw. welche Daten keine Berücksichtigung fanden.

Wie oben dargestellt erfolgte die Anwendung der Mindestanforderungen 2 (Mächtigkeit), 3 (minimale Tiefe) und 4 (Fläche) unter Einbeziehung gebietsspezifischer Informationen zur Tiefenlage des Strukturtops der Salzstöcke, deren flächenhafter Erstreckung sowie der Mächtigkeit des Gesteinskörpers. Nach der Darstellung des Vorgehens bei der Anwendung der Mindestanforderungen im entsprechenden Fachbericht (BGE 2020f, S. 21) wurden diese Informationen durch Auswertung von 3D-Modellen des Untergrunds gewonnen. Aus Teil 3 des Datenberichts zum Fachbericht Mindestanforderungen (BGE 2020i, Tabelle 2) geht hervor, dass entscheidungserhebliche 3D-Modelle für Niedersachsen, der Geotektonische Atlas 3D (Bombien et al. 2012) sowie die Ergebnisse des Forschungsvorhabens der BGR InSpEE⁶ (BGR 2016), als Quellen dienten. Soweit aus den veröffentlichten Abschlussberichten des Vorhabens InSpEE und der genannten Veröffentlichung zum Geotektonischen Atlas ersichtlich, sind die Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) darin nicht explizit behandelt. Eine Begutachtung der Modelle selbst erfolgte nicht.

Neben den Angaben zu 3D-Modellen sind in Teil 3 des Datenberichts Schichtenverzeichnisse aus Bohrungen enthalten. Die „Schichtenverzeichnisse der entscheidungserheblichen Bohrungen des Zechstein in Niedersachsen im endlagerrelevanten Tiefenbereich“ (BGE 2020i, Tabelle 15) enthalten keine Lokationen, die direkt mit der Umgebung der Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) korreliert werden können. Darüber hinaus sind die Informationen zu Stratigraphie, Petrologie, Tiefenlage und Koordinaten ausgegraut, mutmaßlich, weil sie zum Zeitpunkt der Erstellung des Datenberichts auf Grund von Rechten Dritter an diesen Daten nicht veröffentlicht werden durften.

Im Teil 1 des Datenberichts zum Fachbericht Mindestanforderungen werden in Tabelle 41 potentielle Wirtsgesteine in Niedersachsen aufgeführt. Die Quellenangabe zur Einheit „Zechstein, Werra, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation“ (BGE 2020h) besteht aus einem Weblink zu einer Seite des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) Niedersachsen, der jedoch zu einer Fehlermeldung führt. Daher konnte die Quellenangabe nicht nachvollzogen werden.

⁶ Vorhaben: „Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) (InSpEE)“, abrufbar unter https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Nutzung_tieferer_Untergrund_CO2Speicherung/Projekte/Nutzungspotenziale/Abgeschlossen/InSpEE_en.html

Die Literaturreferenzen zu den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sind in Anlage 2A zum Fachbericht Abwägungskriterien (BGE 2020d), sortiert nach Teilgebieten und weiter nach Kriterien und Indikatoren, aufgeführt. Für die Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) sind diese Angaben auf allen Ebenen identisch. Ein Großteil der verwendeten Quellen ist online zugänglich, die meisten davon kostenfrei. Einige der angegebenen Quellen sind Bücher oder Zeitschriftenveröffentlichungen, die nur über Bibliotheken oder antiquarisch verfügbar sind. Direkten Bezug zu den drei betrachteten Salzstöcken haben nur drei der Veröffentlichungen. Die Salzstudie der BGR (Kockel und Krull 1995) enthält Angaben zum Salzstock Wahn (024). Frisch und Kockel (2004) beschäftigen sich mit der Strukturgeologie Nordwest-Niedersachsens und Bremens und führen dabei Details zum tektonischen Element des Börger-Grabens sowie zu Erdöl-speichergesteinen des Oberjura und der Unterkreide im Feld Börger aus. Jaritz (1983) stellt in der BGR-Veröffentlichung „Eignung von Salzstöcken in Niedersachsen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle“ Informationen zu allen drei Salzstöcken zur Verfügung.

Bei der Anwendung von Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien werden die Gesteinseigenschaften von Steinsalz ausschließlich in generischer Weise berücksichtigt. Spezifische Informationen zu den Gesteinen der Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) gehen nicht in die Bewertung ein. Eine Prüfung der verwendeten Daten auf Konsistenz mit den Bedingungen in den drei Salzstöcken ist auf Grund der Datenlage nicht möglich.

Die Quellen, denen die Daten zur Raumlage entstammen, sind nicht spezifisch für die drei betrachteten Salzstöcke nachzuvollziehen. Aus der Darstellung des Vorgehens in der Arbeitshilfe zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (BGE 2020g) geht jedoch hervor, dass „auf prozessierte Daten bezüglich der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen [...] sowie auf die erstellten/bearbeiteten 3D-Modelle zu den Wirtsgesteinsformationen“ zurückgegriffen wird.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass aus der Sichtung der von der BGE im Rahmen des Zwischenberichts veröffentlichten Unterlagen nicht ersichtlich ist, inwieweit konkret im Bereich der Teilgebiete Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) erhobene Daten, bspw. aus der Erdöl-exploration und vorliegenden Studien, in die Kriterienanwendung eingegangen sind.

7 Zusammenfassende Bewertung

Die Methodik der Ausweisung der Salzstöcke Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) als Teilgebiete im Rahmen des Standortauswahlverfahrens für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle konnte anhand der von der BGE im Zwischenbericht Teilgebiete veröffentlichten Unterlagen nachvollzogen werden. Im Ergebnis wurden in der unmittelbaren Umgebung der drei Salzstöcke Gebiete aufgrund aktiver Störungszonen und von Bohrungen von der Standortsuche ausgeschlossen. Alle Mindestanforderungen wurden seitens der BGE als erfüllt angesehen. Bei der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien wurden im Wesentlichen pauschale Bewertungen in Form von Referenzdatensätzen vorgenommen, die für alle Gebiete mit dem Wirtsgestein Steinsalz identisch angewendet wurden.

Drei der elf geowissenschaftlichen Abwägungskriterien wurden individuell bewertet. Eines dieser Kriterien wurde ebenfalls hinsichtlich aller Indikatoren für die Teilgebiete Lathen (028), Börger (030) und Wahn (024) identisch bewertet. Auch diese Einschätzung ist ausschließlich auf pauschalen Informationen zu Salzstöcken abgestützt. Zur standortspezifischen Bewertung der verbleibenden beiden geowissenschaftlichen Abwägungskriterien wurden als individuelle, salzstockspezifische Informationen ausschließlich die Tiefenlage der Salzstockoberfläche, die Mächtigkeit, d. h. die vertikale Erstreckung des Salzstocks, und dessen Flächenausdehnung herangezogen.

Nach § 22 Abs. 1 StandAG ist ein Gebiet „nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn mindestens eines der Ausschlusskriterien [...] in diesem Gebiet erfüllt ist“. In der Anwendung durch die BGE führt die Ausweisung aktiver Störungszonen aufgrund von Scheitelstörungen im Gebirge oberhalb eines Salzstocks nicht zum Ausschluss des Salzstocks aus dem Verfahren. Dazu wird der Begriff des Teilgebiets von der Vorhabenträgerin nicht im Sinne einer durch geographische oder politische Grenzen bestimmten Fläche, sondern als Verbreitungsgebiet einer Gesteinseinheit genutzt. Nur so ist die Ausweisung ausgeschlossener Gebiete, die nicht alle potentiellen Wirtsgesteine im Untergrund der ausgeschlossenen Fläche umfassen, möglich.

Dieses Vorgehen führt dazu, dass jedes Teilgebiet nur aus einer Gesteinseinheit bzw. einem potentiellen Wirtsgestein aufgebaut ist. In einem Teilgebiet ist es entsprechend auch unmöglich, dass Wirtsgesteine einander überlagern. Die von der BGE verwendete Definition des Teilgebiets befindet sich damit möglicherweise im Widerspruch zur Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndLSiUntV 2020). Darin heißt es (§ 3 Abs. 2):

„Für jedes Teilgebiet, jede Standortregion und jeden Standort ist mindestens ein Untersuchungsraum auszuweisen. Überlagern sich in einem Teilgebiet, einer Standortregion oder an einem Standort mehrere potenzielle Wirtsgesteine, für die jeweils eigene vorläufige Sicherheitsuntersuchungen durchgeführt werden sollen, oder sollen für ein Wirtsgestein mehrere vorläufige Sicherheitskonzepte untersucht werden, so ist die Ausweisung mehrerer Untersuchungsräume erforderlich.“

Die Sonderstellung von Scheitelstörungen, die zwar im Deckgebirge von Salzstöcken zum Ausschluss nach § 22 Abs. 2 Nr. 2 führen, nicht aber für den Salzstock selbst, wird mit dem duktilen Verhalten von Steinsalz begründet, dass eine Fortsetzung der Störungen in den Salzstock hinein verhindere. Wie in Abschnitt 3.1.2 ausgeführt, bedarf dieses Vorgehen einer vertieften Betrachtung und möglicherweise Revision. Insbesondere der mögliche Zusammenhang zwischen Sockelstörungen, also Störungen unter dem Salzstock, und der Entstehung von Scheitelstörungen sollte dabei vertieft betrachtet werden.

Scheitelstörungen führen im Deckgebirge der Salzstöcke Lathen (028) und Börger (030) als aktive Störungszonen zum Ausschluss der überlagernden Schichten. Wie in Abschnitt 3.3 dargestellt, sind auch für den Salzstock Wahn (024) in der Literatur Scheitelstörungen ausgewiesen. Es sollte geprüft werden, ob dadurch auch im Deckgebirge des Salzstocks Wahn (024) der Ausschluss aktiver Störungszonen erfolgen muss.

Darüber hinaus wurden existierende standortspezifische Daten aus zehn Erdölschürfbohrungen im Bereich des Salzstocks Wahn (024) (siehe Kockel und Krull 1995) nicht erkennbar zur Bewertung herangezogen. Von diesen Bohrungen erreichten demnach acht das Hutgestein des Salzstocks, eine Bohrung wurde bis in die Aller-Folge des Zechsteins (z4) abgeteuft. Im weiteren Verfahren sollten diese Informationen zur standortspezifischen Bewertung des Salzstocks genutzt werden. Auch die Angaben zur Tiefenlage der Salzstöcke nach Jaritz (1983) (siehe Abschnitt 4.3) sollten überprüft und, wenn verifiziert, angewandt werden.

Der Flächenbedarf für ein Endlager ist Gegenstand der Mindestanforderung 4 nach § 23 Abs. 5 StandAG. Die BGE stützt sich bei der Anwendung auf die in der Begründung zum Gesetzesentwurf (Fraktionen CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 2017) genannten Werte von 3 km² für Steinsalz, 6 km² für Kristallingestein und 10 km² für Tonstein. Diese Werte decken sich in Teilen mit dem Abschlussbericht des Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte (Appel et al. 2002), der für Salz 3 km², für Granit und Ton 10 km² nennt. Es sollte im weiteren Verfahren geprüft werden, ob die wissenschaftliche Grundlage zur Abschätzung dieses Flächenbedarfs dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht, und ob der angenommene Flächenbedarf auch vor dem Hintergrund der Anforderung zur Rückholbarkeit der Abfälle während der Betriebsphase nach § 1 Abs. 4 StandAG ausreichend ist.

Zur Prüfung der Konsistenz der Kriterienanwendung wurde das Teilgebiet Lathen (028) mit dem identifizierten Gebiet 005_00IG_S_s_z (Salzstruktur Viesen) verglichen, das durch Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien aus dem Standortauswahlverfahren ausgeschlossen wurde. Hinsichtlich der acht mittels Referenzdaten bewerteten Abwägungskriterien wurden beide Gebiete identisch bewertet. Das gilt darüber hinaus für das individuell auf Literaturbasis bewertete Abwägungskriterium zur *Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit*.

Das Abwägungskriterium *Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper* wurde gebietsspezifisch beurteilt. Dabei erhielten alle Indikatoren in beiden Gebieten identische Bewertungen. Drei Indikatoren wurden als günstig bewertet, lediglich der Indikator *Flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit* wurde in beiden Gebieten als bedingt günstig eingeschätzt. Dabei wird die Fläche des Salzstocks Lathen (028) mit 8,3 km² angegeben, die des Salzstocks Viesen mit 8,5 km². Der Salzstock Viesen verfügt also über ein geringfügig höheres Flächenangebot.

Die Indikatoren des zweiten gebietsspezifisch bewerteten Abwägungskriteriums, *Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge*, werden für den Salzstock Lathen (028) alle als bedingt günstig eingestuft, während für den Salzstock Viesen zwei Indikatoren mit günstig bewertet werden. Lediglich der Indikator *Keine Ausprägung struktureller Komplikationen* wird als bedingt günstig eingestuft.

Zusammenfassend werden also für beide Gebiete alle Kriterien identisch bewertet; bei beiden gebietsspezifisch bewerteten Kriterien, denen im jetzigen Verfahrensschritt besondere Bedeutung zukommen soll (BGE 2020k), schneidet der Salzstock Lathen (028) schlechter ab als der Salzstock Viesen. Dennoch wird der Salzstock Viesen im Rahmen der Abwägung ausgeschlossen, der Salzstock Lathen verbleibt im Verfahren.

Begründet wird der Ausschluss damit, dass „aufgrund der großen Länge und geringen Breite des identifizierten Gebiets die bedingt günstige Bewertung des Flächenbedarfs stärker gewichtet“ (BGE 2020c) werde. Dieses Argument ist aus geologischer Sicht stichhaltig und der Ausschluss nachvollziehbar. Nicht ohne detaillierte Begründung nachzuvollziehen ist dagegen, warum der Salzstock Lathen (028), obwohl alle geowissenschaftlichen Abwägungskriterien identisch zum Salzstock Viesen bewertet wurden und darüber hinaus zwei gebietsspezifische Indikatoren schlechter bewertet, nicht auch aus dem Verfahren ausgeschieden ist.

Literaturverzeichnis

- Appel, D.; Baltes, B.; Bräuer, V.; Brewitz, W.; Duphorn, K.; Gömmel, R.; Haury, H.-J.; Ipsen, D.; Jentzsch, G.; Kreusch, J.; Kühn, K.; Lux, K.-H.; Sailer, M. et al. (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte, Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte, Dezember 2002.
- Baldschuhn, R. (2001): Paläogeographie, Paläotektonik, Palaeogeography, Palaeotectonics. Unter Mitarbeit von Baldschuhn, R., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Geologisches Jahrbuch Reihe A, Allgemeine und regionale Geologie Bundesrepublik Deutschland und Nachbargebiete, Tektonik, Stratigraphie, Paläontologie, 153). Stuttgart: Schweizerbart.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2018a): Arbeitshilfe „Ausschlusskriterien“. Peine, 06.02.2018.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2018b): Arbeitshilfen zur Datenabfrage Mindestanforderungen. Peine, 19.03.2018.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020a): Anlage (zu „Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG“) IG-Steckbriefe. Peine, 23.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020b): Anlage 1A (zum Fachbericht Teilgebiete und Anwendung Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG), Ergebnisse der Bewertung: Teil A (Teilgebiete). Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020c): Anlage 1B (zum Fachbericht Teilgebiete und Anwendung Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG), Ergebnisse der Bewertung: Teil B (Keine Teilgebiete). Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020d): Anlage 2A (zum Fachbericht Teilgebiete und Anwendung Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG), Literaturreferenzen: Teil A (Teilgebiete). Peine, 22.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020e): Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG. Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020f): Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG. Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020g): Arbeitshilfe zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG. Peine, 03.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020h): Datenbericht Teil 1 von 4, Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020i): Datenbericht Teil 3 von 4, Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020j): Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG, Grundlagen. Peine, 01.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020k): Teilgebiete und Anwendung Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Peine, 28.09.2020.
- BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2016): Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von

Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft), Sachbericht 03ESP323B, 21.03.2016.

- Bombien, H.; Hoffers, B.; Breuckmann, S.; Helms, M.; Lademann, K.; Lange, M.; Oelrich, A.; Reimann, R.; Rienäcker, J.; Schmidt, C.; Slaby, M.-F.; Ziesch, J. (2012): Der Geotektonische Atlas von Niedersachsen und dem deutschen Nordseesektor als geologisches 3D-Modell Einleitung. In: *Gmit Geowissenschaftliche Mitteilungen*.
- Chaudry, S.; Neles, J. (2020): Kurzgutachten zur Umsetzung der Kriterien nach den §§ 22-24 StandAG in Methoden zur Kriterienanwendung durch die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. Öko-Institut e. V. Darmstadt, 24.09.2020.
- Deutscher Bundestag: Verordnung über Anforderungen an die Durchführung der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen im Standortauswahlverfahren für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung - EndLSiUntV), EndLSiUntV. In: BGBl. I S. 2094, 2103.
- Fleig, S.; Röhling, S. (2020): Informationssystem Salz: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft), Doppelsalinare und flach lagernde Salzsichten (Sachbericht 03ET6062B). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover, 30.06.2020.
- Fraktionen CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2017): Entwurf eines Gesetzes zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetze, 07.03.2017.
- Frisch, U.; Kockel, F. (2004): Der Bremen-Knoten im Strukturnetz Nordwest-Deutschlands. Stratigraphie, Paläogeographie, Strukturgeologie. In: *Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen*.
- Jähne-Klingberg, F.; Stück, H.; Bebiolka, A.; Bense, F.; Stark, L. (2019): Prognosemöglichkeiten von großräumigen Vertikalbewegungen in Deutschland (9S2018100000). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover, Oktober 2019. Online verfügbar unter https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Geowissenschaftlich_%20Kriterien/2019_10_28_prognosemoeglichkeiten_vertikalbewegungen_abschlussbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=5, zuletzt geprüft am 15.09.2020.
- Jaritz, W. (1983): Eignung von Salzstöcken in Niedersachsen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. Hannover, 19.05.1983.
- Kockel, F.; Krull, P. (1995): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands, Untersuchung und Bewertung von Salzformationen. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover, August 1995.
- Lux, K.-H.; Eberth, S. (2002a): Entwicklung und Fundierung der Anforderung „Geringe Neigung zur Bildung von Wegsamkeiten“. Clausthal-Zellerfeld, 2002.
- Lux, K.-H.; Eberth, S. (2002b): Entwicklung und Fundierung der Anforderung „Günstige gebirgsmechanische Voraussetzungen“, Teil B: Weiterführende laborative und rechnerische Untersuchungen. Clausthal-Zellerfeld, 2002.
- May, F. (2019): Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland (9S2018090000). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover, Juni 2019.
- Menning, M.; Hendrich, A. (2016): Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2016, Std 2016 = Stratigraphic table of Germany 2016 ; STG 2016. Potsdam: GeoForschungszentrum. 1 Blatt.

StandAG (2017): Deutscher Bundestag. Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 16 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist, StandAG.