

Fachliche Beratung des Landkreises Rotenburg (Wümme) zu den Ergeb- nissen des Zwischenberichts Teil- gebiete im Standortauswahlverfah- ren für ein Endlager

Plausibilitätsbewertung der Teilgebiete:

Darmstadt, 23.07.2021

032_00TG_051_00IG_S_s_z (Salzstock Brümmerhof)

033_00TG_052_00IG_S_s_z (Salzstock Taaken/Scheeßel/Ostervesede)

034_00TG_054_00IG_S_s_z (Salzstock Stemmen/Otter-Todtshorn)

063_00TG_149_00IG_S_s_z-ro (Salzstock Bevern/Hamelwörde/Krempe/Lägerdorf)

068_00TG_163_00IG_S_s_z-ro (Salzstock Basdahl/Armstorf/Odisheim/Oster-
bruch/Belmhusen/Süderhastedt/Tellingstedt/Pahlhude/Grevenhorst)

Autorinnen und Autoren

Dr. Saleem Chaudry
Öko-Institut e.V.

Judith Krohn
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 Teilgebiete im Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme)	8
3 Anwendung von Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien	13
4 Ausschlusskriterien	15
4.1 Anwendung der Ausschlusskriterien durch die BGE im Bereich der Teilgebiete im Landkreis Rotenburg (Wümme)	18
4.1.1 Großräumige Vertikalbewegungen	18
4.1.2 Aktive Störungszonen im Bereich der betrachteten Salzstöcke	19
4.1.3 Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit	20
4.1.4 Seismische Aktivität	21
4.1.5 Vulkanische Aktivität	22
4.1.6 Grundwasseralter	22
4.2 Schlussfolgerungen und Bewertung zur Anwendung der Ausschlusskriterien	22
4.2.1 Großräumige Vertikalbewegungen	22
4.2.2 Aktive Störungszonen im Bereich der betrachteten Salzstöcke	22
4.2.3 Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit	24
4.2.4 Seismische Aktivität	24
4.2.5 Vulkanische Aktivität	25
4.2.6 Grundwasseralter	25
4.3 Zusammenfassende Bewertung für die Teilgebiete und Teilgebietssegmente im Landkreis Rotenburg (Wümme)	26
5 Wirtsgesteine und Mindestanforderungen	27
5.1 Anwendung der Mindestanforderungen im Bereich der Teilgebiete im LK Rotenburg (Wümme)	29
5.2 Schlussfolgerungen und Bewertung zur Anwendung der Mindestanforderungen	32
6 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien	37
6.1 Abwägungskriterien und deren Anwendung	38
6.1.1 Kriterium 1 zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich	38

6.1.2	Kriterium 2 zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper	39
6.1.3	Kriterium 3 zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit	40
6.1.4	Kriterium 4 zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse	41
6.1.5	Kriterium 5 zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften	42
6.1.6	Kriterium 6 zur Bewertung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten	43
6.1.7	Kriterium 7 zur Bewertung der Gasbildung	44
6.1.8	Kriterium 8 zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit	44
6.1.9	Kriterium 9 zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich	45
6.1.10	Kriterium 10 zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse	46
6.1.11	Kriterium 11 zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge	46
6.2	Anwendung der Abwägungskriterien durch die BGE für die Teilgebiete im Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme)	47
6.2.1	Teilgebiet Brümmerhof (032_00TG_051_00IG_S_s_z)	47
6.2.2	Teilgebiet Taaken/Scheeßel/Ostervesede (033_00TG_052_00IG_S_s_z)	50
6.2.3	Teilgebiet Stemmen/Otter-Todtshorn (034_00TG_054_00IG_S_s_z)	53
6.2.4	Teilgebiet Bevern/Hamelwörde/Krempe/Lägerdorf (063_00TG_149_00IG_S_s_z-ro)	55
6.2.5	Teilgebiet Odisheim/Osterbruch/Belmhusen/Süderhastedt/Tellingstedt /Pahlhude/Grevenhorst Basdahl/Armstorf (068_00TG_163_00IG_S_s_z-ro)	59
6.3	Schlussfolgerungen und Bewertung zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien	62
7	Bewertung des Überlagerungsbereichs der beiden Tongestein-Teilgebiete 004 und 007 mit dem Teilgebiet Taaken/Scheeßel/Ostervesede (033)	64
8	Prüfung von Daten und Literatur	68
9	Zusammenfassende Bewertung	72
	Literaturverzeichnis	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Geographische Lage der Teilgebiete innerhalb der Gemarkung des Landkreises Rotenburg (Wümme)	9
Abbildung 2-2: Geographische Lage des Teilgebiets Bevern/Hamelwörde/Krempe/Lägerdorf (063)	10
Abbildung 2-3: Geographische Lage des Teilgebiets Basdahl/Amstorf/Odisheim/Osterbruch/Belmhusen/Süderhastedt/Tellingstedt/Pahlhude/Grevenhorst (068)	11
Abbildung 2-4: Profilschnitt des Salzstocks Bevern (063)	12
Abbildung 4-1: Aktive Störungszonen im Bereich des Salzstocks Taaken/Scheeßel/Ostervesede (033)	19
Abbildung 6-1: Doppelsalinar vom Internbautyp 2	41
Abbildung 6-2: Überlagerung der TG 032 und 004 sowie ausgeschlossenes Gebiet innerhalb des TG 032	48
Abbildung 6-3: Überlagerung der TG 033, 004 und 007	51
Abbildung 6-4: Teilgebietssegment Bevern (063) sowie ausgeschlossenes Gebiet innerhalb des Segments	56
Abbildung 6-5: Teilgebietssegmente Basdahl und Armstorf (beide 068) sowie ausgeschlossene Gebiete innerhalb der Segmente	59
Abbildung 7-1: Verbreitung des Teilgebiets 007 in Norddeutschland	64
Abbildung 7-2: Aktive Störungszonen oberhalb des Teilgebiets 033	65
Abbildung 7-3: Überlagerung des Teilgebiets 033 mit Unterkreidetonstein des Teilgebiets 007	65
Abbildung 7-4: Überlagerung des Teilgebiets 033 mit tertiären Tonsteinen des Teilgebiets 004	66
Abbildung 7-5: Verbreitung des Teilgebiets 004 in Norddeutschland	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Teilgebiete im Landkreis Rotenburg (Wümme)	8
Tabelle 4-1:	Aktive Störungszonen im Bereich der einzelnen Salzstöcke innerhalb der Gemarkung des Landkreises Rotenburg (Wümme)	20
Tabelle 4-2:	Bohrungen im Gebiet der Salzstöcke des Landkreises Rotenburg (Wümme)	21
Tabelle 5-1:	Zuordnung identifizierter Gebiete innerhalb der Teilgebiete	29
Tabelle 5-2:	Charakteristika der betrachteten Salzstöcke zur Anwendung der Mindestanforderungen	30
Tabelle 5-3:	Strukturinformationen zu den einzelnen Teilgebietssegmenten im LK Rotenburg (Wümme)	31
Tabelle 5-4:	Ausgeschlossene Bohrungen gemäß Ausschusskriterium 3 und zugehörige Informationen aus den Schichtenverzeichnissen	33
Tabelle 5-5:	Höchster Punkt der Salzstockoberfläche (Angaben verschiedener Datenquellen)	36

1 Einleitung

Im Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG) ist 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, die jeweils mit einem Bundesgesetz abgeschlossen werden. 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 wurden in der Phase 1 des Standortauswahlgesetzes ein Zwischenschritt und wichtiger Meilenstein erreicht.

Der Zwischenbericht Teilgebiete¹ benennt die Teilgebiete, die nicht auf Basis der im StandAG festgelegten Ausschlusskriterien ausgeschlossen wurden, die alle Mindestanforderungen erfüllen und die nach Anwendung der geowissenschaftlichen 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.

Mit Schreiben vom 12. Mai 2021 beauftragte der Landkreis Rotenburg (Wümme) das Öko-Institut e. V., die Ergebnisse der BGE gemäß Zwischenbericht Teilgebiete und unterfütternder Unterlagen hinsichtlich der Teilgebiete im Landkreis fachlich zu beraten. Hierfür sollen in erster Linie die Teilgebiete

- 032_00TG_051_00IG_S_s_z (Salzstock Brümmerhof),
- 033_00TG_052_00IG_S_s_z (Salzstock Taaken/Scheeßel/Ostervesede),
- 034_00TG_054_00IG_S_s_z (Salzstock Stemmen/Otter-Todtshorn),
- 063_00TG_149_00IG_S_s_z-ro (Salzstock Bevern/Hamelwörde/Krempe/Lägerdorf)
- 068_00TG_163_00IG_S_s_z-ro (Salzstock Basdahl/Armstorf/Odisheim/Osterbruch/Belmhusen /Süderhastedt/Tellingstedt/Pahlhude/Grevenhorst)

betrachtet werden. Zusätzlich sollen die Überlagerungsbereiche der beiden Tongestein-Teilgebiete 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg (Tongesteine des Tertiär) und 007_00TG_202_02IG_T_f_kru (Tongesteine der Unterkreide) mit dem Teilgebiet 033_00TG_052_00IG_S_s_z bewertet und fachlich eingeordnet werden.

Im vorliegenden Kurz-Gutachten wurde die Plausibilität der Vorgehensweise und der Bewertung anhand der verfügbaren Unterlagen geprüft und mit den Vorgaben des Standortauswahlgesetzes abgeglichen. In den folgenden Kapiteln werden zunächst die Anwendung der Ausschlusskriterien diskutiert, weiter der Mindestanforderungen und anschließend der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien. Es wird jeweils auf die Anwendung der Kriterien auf die genannten Salzstöcke und die Ergebnisse der BGE eingegangen sowie eine Bewertung der Kriterienanwendung vorgenommen.

Die Relevanz der zugrunde liegenden standortbezogenen Daten und Literatur für die Ausweisung der Teilgebiete wird eingeschätzt, soweit die Quellen verfügbar sind. Ergänzend wird eine

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

kursorische Literaturrecherche zur Geologie des Landkreises Rotenburg (Wümme) und insbesondere zu einschlägigen Veröffentlichungen im Zusammenhang mit den fünf als Teilgebiete ausgewiesenen Salzstöcken sowie zu aktuellen Veröffentlichungen zur rezenten Bewegung von Salinaren in Norddeutschland durchgeführt und die Berücksichtigung möglicher Ergebnisse im Zwischenbericht Teilgebiete dargestellt.

Die Bewertung im Hinblick auf die Überlagerung des Salzstocks Taaken/Scheeßel/Ostervesede durch die beiden Tongesteins-Teilgebiete 004 und 007 wird in einem eigenen Abschnitt (siehe Kapitel 7) dieses Berichtes erläutert. Abschließend erfolgt eine zusammenfassende Bewertung.

2 Teilgebiete im Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme)

Im Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme) wurden insgesamt sieben Teilgebiete ausgewiesen, die in der nachfolgenden Tabelle 2-1 zusammengestellt sind. Neben Teilgebieten im Tongestein sind die fünf Salzstöcke Brümmerhof (032), Taaken/Scheeßel/Ostervesede (033), Stemmen/Otter-Todtshorn (034), Bevern/Hamelwörde/Krempe/Lägerdorf (063) und Basdahl/Armstorf/Odisheim/Osterbruch/Belmhusen/Süderhastedt/Tellingstedt/Pahlhude/Grevenhorst (068) als Teilgebiete benannt. Im Folgenden werden zur besseren Lesbarkeit nur die Teilgebietsnummer oder die jeweils erste Ortsbezeichnung verwendet. Abbildung 2-1 zeigt das Gebiet innerhalb der Gemarkung des Landkreises Rotenburg (Wümme), in dessen Untergrund sich die beiden Tongesteinsvorkommen sowie die fünf Salzstöcke befinden. Dabei ist anzumerken, dass Teilgebiete aus mehreren Segmenten bestehen können, die in der Kartendarstellung als separierte Flächen erscheinen, von der BGE im Zwischenbericht aber als ein Teilgebiet ausgewiesen werden.

Tabelle 2-1: Teilgebiete im Landkreis Rotenburg (Wümme)

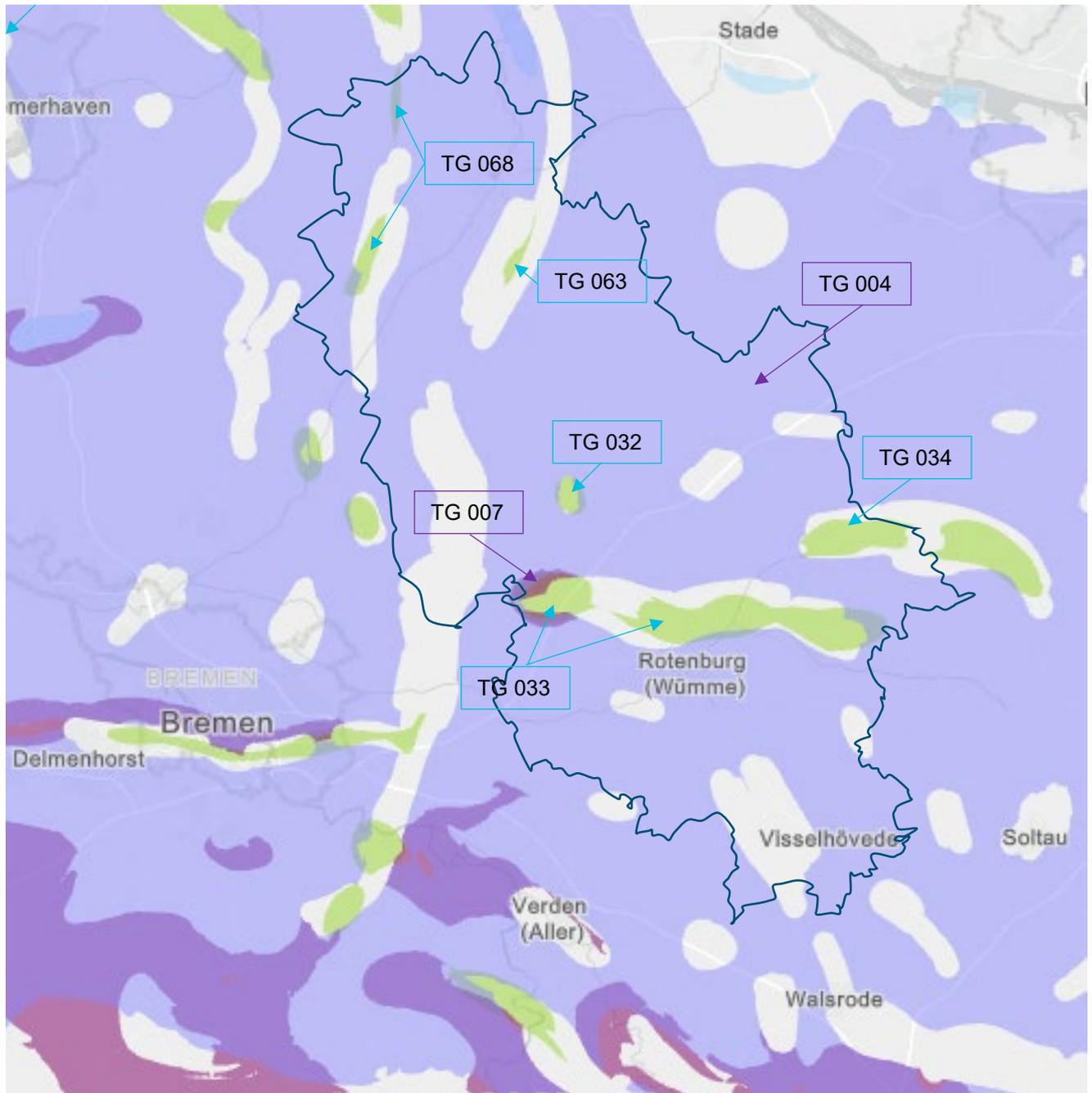
Teilgebiet / ggf. Name	Wirtsgestein	Stratigraphie/Erdzeitalter
004_00TG_053_00IG_T_f_tpg	Tongestein	Tertiär (Unteres Paläogen)
007_00TG_202_02IG_T_f_kru	Tongestein	Unterkreide
032_00TG_051_00IG_S_s_z	Steinsalz in steiler Lagerung	Zechstein
033_00TG_052_00IG_S_s_z	Steinsalz in steiler Lagerung	Zechstein
034_00TG_054_00IG_S_s_z	Steinsalz in steiler Lagerung	Zechstein
063_00TG_149_00IG_S_s_z-ro	Steinsalz in steiler Lagerung	Oberrotliegend und Zechstein
068_00TG_163_00IG_S_s_z-ro	Steinsalz in steiler Lagerung	Oberrotliegend und Zechstein

Quelle: Eigene Darstellung

Am Beispiel des Teilgebietes 034 kann dies verdeutlicht werden. Es liegt nur mit einem Segment (Stemmen), innerhalb der Kreisgrenze (siehe Abbildung 2-1). Ebenso verhält es sich beim Teilgebiete 063, dessen Hauptsegment bei Glückstadt (Bevern) verortet ist (siehe Abbildung 2-2), sowie dem Teilgebiet 068. Letzteres besteht aus vier Segmenten, von denen nur die beiden mit Abstand kleinsten (Basdahl und Armstorf) im Landkreis Rotenburg (Wümme) (siehe Abbildung 2-3) liegen. Diese in der Kartendarstellung separiert voneinander erscheinenden Salzformationen sind im tieferen Untergrund miteinander verbunden und werden deshalb auch in Teilen der Fachliteratur als eine

zusammenhängende Salzstruktur behandelt. Die Bewertung durch die BGE erfolgte immer auf das gesamte Teilgebiet bezogen; Eigenschaften, die zur Ausweisung als Teilgebiet geführt haben, treffen also nicht zwingend auf jedes der Teilgebietssegmente zu.

Abbildung 2-1: Geographische Lage der Teilgebiete innerhalb der Gemarkung des Landkreises Rotenburg (Wümme)



Legende:

 Tertiäres Tongestein	 Prätertiäres Tongestein
 Steinsalz in steiler Lagerung	 Gemarkungsgrenze

Quelle: Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020i)

Abbildung 2-2: Geographische Lage des Teilgebiets Bevern/Hamelwörde/Krempe/Lägerdorf (063)



Quelle: Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020i)

Abbildung 2-3: Geographische Lage des Teilgebiets Basdahl/Amstorf/Odisheim/Osterbruch/Belmlhusen/Süderhastedt/Tellingstedt/Pahlhude/Grevenhorst (068)



Quelle: Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020i)

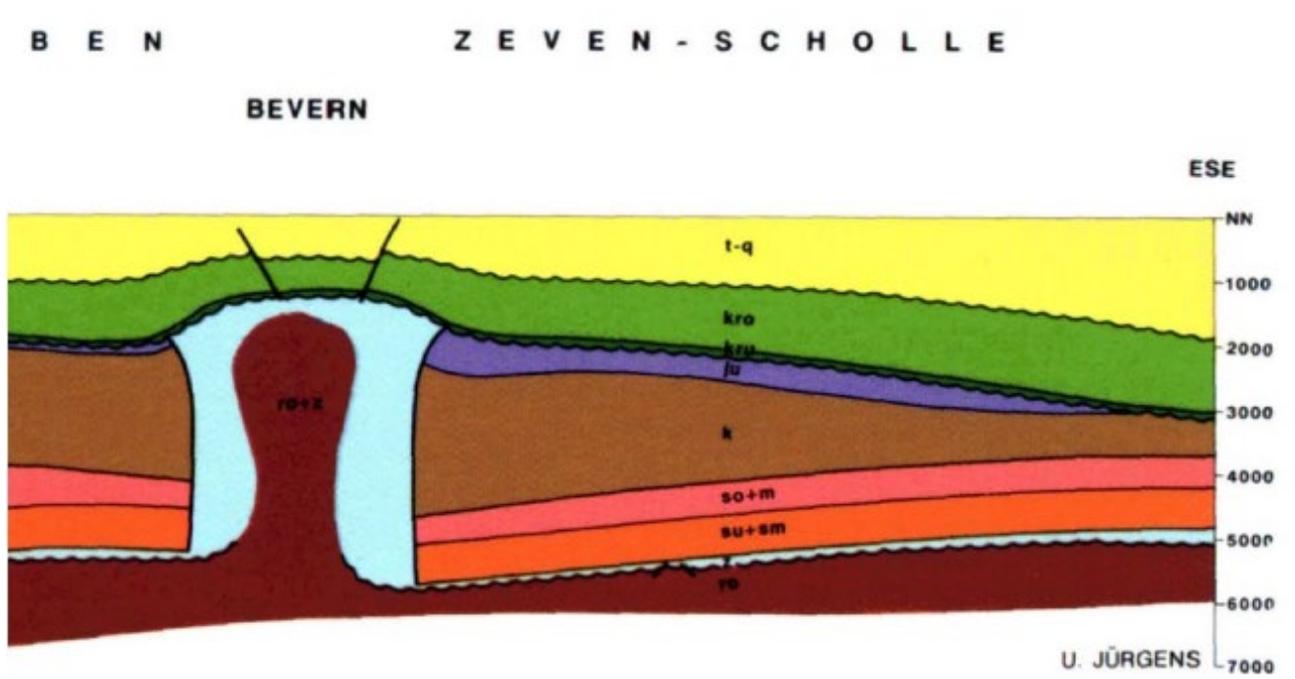
Darüber hinaus wurden weitere drei Gebiete – Breddorf, Söhlingen, Wedehof – im Landkreis Rotenburg (Wümme) von der BGE identifiziert, die jedoch nicht als Teilgebiet ausgewiesen wurden. Identifizierte Gebiete genügen den Mindestanforderungen, wurden aber auf Basis der geologischen Abwägungskriterien als „nicht günstig mit Blick auf die geologische Gesamtsituation“ (BGE 2020i) bewertet (siehe auch Kapitel 3).

Bei den Teilgebieten Brümmerhof (032), Taaken (033) und Stemmen (034) handelt es sich um Zechsteinsalinare. Als Salinare werden Vorkommen von Salzgestein bezeichnet, die im Laufe der Erdgeschichte durch Evaporation, d. h. Eindunstung von Meerwasser², entstanden. In Europa wurden die mächtigsten und am weitesten verbreiteten Salinare im Erdzeitalter des Zechstein (vor etwa 257 bis 252 Millionen Jahren) gebildet.

Salz ist unter Druck plastisch verformbar und kann sich im Laufe von Jahrmillionen unter der Auflast überlagernder jüngerer Gesteine in der Erdkruste aufwärts bewegen und zu Domen, sogenannten Salzstöcken, aufwölben. Diese Bewegung von Salzgestein in der Erdkruste wird als Halokinese oder auch Salzdiapirismus³ bezeichnet. Im Zwischenbericht Teilgebiete werden diese potentiellen Wirtsgesteine als Steinsalz in steiler Lagerung bezeichnet.

Bei den Teilgebieten Bevern (063) und Basdahl (068) handelt es sich um sogenannte Doppelsalinare. In ihnen sind Salzgesteine des Zechsteins mit älteren, ursprünglich an der Basis der Zechstein-Salze lagernden Salinargesteinen aus dem Zeitalter des Oberrotliegenden (vor etwa 285 bis 257 Millionen Jahren) verschaltet. Einen Profilschnitt durch den Salzstock Bevern (063), bei dem die Salzgesteine des Zechsteins hellblau, die des Oberrotliegenden rotbraun dargestellt sind, zeigt Abbildung 2-4.

Abbildung 2-4: Profilschnitt des Salzstocks Bevern (063)



Quelle: (Baldschuhn 2001)

² Gesteinsverbände, die durch die Eindunstung von Meerwasser über lange Zeiträume entstehen, werden als marine Evaporite bezeichnet. Terrestrische Evaporite, also bei der Eindunstung kontinentaler Gewässer durch Ausfällung entstandene Gesteine, spielen im Zusammenhang mit der Suche nach einem Endlagerstandort in Deutschland keine Rolle.

³ Als Diapirismus wird der verformbare Aufstieg von Gesteinsmaterial aus tieferen in höher gelegene Bereiche der Erdkruste bezeichnet, deren Lagen dabei durchdrungen, verbogen und durchbrochen werden.

3 Anwendung von Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

Zur Ermittlung von Teilgebieten gem. § 13 StandAG wurden durch die Vorhabenträgerin BGE zunächst Geodaten der staatlichen geologischen Dienste für das gesamte Gebiet der Bundesrepublik Deutschland abgerufen. Auf diese Daten wurden in einem ersten Schritt die in § 22 StandAG festgelegten Ausschlusskriterien angewendet. Die Bereiche des Staatsgebiets, in denen ein Ausschlusskriterium erfüllt ist, wurden aus dem Verfahren ausgeschlossen.

Im verbleibenden Gebiet wurden Gesteinseinheiten identifiziert, die grundsätzlich als Wirtsgesteine für die Errichtung eines Endlagers in Frage kommen. Nach § 23 StandAG sind das Steinsalz, Tongestein oder Kristallingestein. Anschließend wurden auf diese Gesteinsvorkommen die Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG angewendet. Ist eine Mindestanforderung nicht erfüllt, muss das betroffene Gebiet aus dem Verfahren ausscheiden.

Auf die so identifizierten Gebiete, die kein Ausschlusskriterium, aber alle Mindestanforderungen erfüllen, und die über ein geeignetes Wirtsgestein verfügen, wurden die in § 24 StandAG und den Anlagen 1 bis 11 ausgeführten geowissenschaftlichen Abwägungskriterien angewendet. Die nach der geowissenschaftlichen Abwägung als günstig bewerteten Gebiete wurden als Teilgebiete benannt und im Zwischenbericht Teilgebiete dargestellt.

Wesentliche Grundlage für die Darstellung der Anwendung der Ausschlusskriterien durch die BGE und deren Ergebnisse ist der Bericht „Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG“ (BGE 2020d). Darin werden die kriterienspezifischen Anwendungsmethoden als methodische Grundlage zum Umgang mit den Ausschlusskriterien gemäß 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, werden ausgeschlossene Gebiete nur in einer Deutschlandkarte dargestellt. Die Identifikation ausgeschlossener Gebiete im Umfeld der Salzstöcke innerhalb der Gemarkung des Landkreises Rotenburg (Wümme) ist nur mit Hilfe der interaktiven Kartendarstellung⁴ 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 aktive 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“ (BGE 2020e) dargestellt. In der Unterlage werden die Methoden zur Anwendung der Mindestanforderungen erläutert. Außerdem wurden alle stratigraphischen Einheiten in Deutschland hinsichtlich ihrer potentiellen Eignung dahingehend bewertet, ob „aufgrund der Literaturangaben zu Lithologie⁵ und Mächtigkeit eine Eignung erwartet werden kann“ (BGE 2020e). Gebiete, die alle Mindestanforderungen erfüllen, werden von der BGE in Anlehnung an § 13 Abs. 2 StandAG als identifizierte Gebiete bezeichnet.

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

⁴ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>

⁵ Als Lithologie wird die genaue Zusammensetzung eines Gesteins hinsichtlich Mineralbestand, Struktur etc. bezeichnet.

sind, herangezogen. Wie oben dargestellt, sind die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien in § 24 StandAG sowie den Anlagen 1 bis 11 dargestellt. Der Vorgehensweise der BGE liegt die Unterlage „Arbeitshilfe zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG“ (BGE 2020f) zugrunde.

Zur Anwendung wird von der BGE bei der Mehrzahl der Kriterien auf wirtsgesteinsspezifische Referenzdaten zurückgegriffen. Die Vorhabenträgerin hat zu diesem Zweck einen Referenzdatensatz (BGE 2020j) veröffentlicht. Für die Indikatoren der Kriterien, die für die Bewertung herangezogen werden, werden darin jeweils Referenzwerte oder Argumente aus der Literatur genutzt. 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 Deutschlands gleichermaßen. Auf dieser Grundlage werden die Abwägungskriterien jeweils so angewendet, dass ein Ausschluss potentiell geeigneter Gebiete vermieden wird.

Einzelne geowissenschaftliche Abwägungskriterien wurden individuell anhand standortspezifischer Daten bewertet. Für Salzstöcke sind dies die Abwägungskriterien *Konfiguration der Gesteinskörper*, *räumliche Charakterisierbarkeit* und *Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge*.

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

4 Ausschlusskriterien

In diesem Kapitel sind die sechs Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG sowie der Umgang der BGE damit dargestellt. Anschließend werden die Ergebnisse, die sich daraus für den Landkreis Rotenburg (Wümme) ergeben, für jedes Ausschlusskriterium einzeln erläutert (Kap. 4.1) und die Schlussfolgerungen daraus diskutiert (Kap. 4.2).

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 der kommenden 1 Million Jahre Hebungen zu erwarten sind. Konkret sollten Hebungsbeträge und zugehörige Zeiträume, Flächenbezeichnungen der Hebungsbereiche, 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. Weiter 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“ erfordern. Im Ergebnis geht die BGE davon aus, dass im Nachweiszeitraum Hebungsraten von 1000 m nicht erreicht werden.

Aktive Störungszonen

Grundlage zur Anwendung des Ausschlusskriteriums *aktive Störungszonen* waren zum einen die Angabe der Koordinaten von Linien- oder Flächenelementen, die die Lage von tektonischen oder atektonischen Störungszonen beschreiben, zum anderen Angaben zur stratigraphischen oder zeitlichen Einordnung deren Aktivität sowie Angaben zur Raumlage von Störungen und zugehörigen Versatzbeträgen.

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“.

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 2020d). Im Fall von Scheitelstörungen, „die im Deckgebirge von Salzstrukturen (z. B. Salzwälle und Salzdiapire) auftreten“ (BGE 2020d), 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 2020d) unter der Geländeoberkante (GOK)⁶ liegt. Das entspricht der Mindesttiefe⁷ der Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs⁸ (ewG) gemäß § 23 Abs. Nr. 3 StandAG. Begründet wird dieses Vorgehen durch die Annahme eines grundsätzlich duktilen Verformungsverhalten von Steinsalz, durch das auch hohe Spannungen „in der Regel nicht zu spröder Deformation“ (BGE 2020d) führten und sich Störungszonen im Deckgebirge von Salzstöcken nicht innerhalb der Salinarstruktur fortsetzten.

Atektionische Vorgänge, d. h. Phänomene, die nicht durch tektonische Prozesse, sondern beispielsweise durch Verkarstung entstehen, aber für die Sicherheit eines Endlagers ähnliche Konsequenzen wie tektonische Störungen nach sich ziehen können, sind nach § 22 Abs. 2. Nr. 2 StandAG wie tektonische Störungen zu behandeln. Im Bericht „Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 Stand AG“ (BGE 2020d) werden folgende mögliche atektonische Vorgänge genannt: Deformationen durch Diagenese (nachträgliche Verfestigung eines Sediments unter dem Einfluss von Druck, Temperatur und weiteren Einflüssen), Senkungen und Einstürze über Lösungshohlräumen, subaerische und subaquatische Rutschungen (Rutschungsvorgänge an Land und unter Wasser, bspw. Muren oder durch Seebeben ausgelöste Rutschungen von Sedimenten an Kontinentalabhängungen), Glazialtektonik, Kryoturbation (Bodenbewegungen aufgrund des Wechsels von Frost- und Tauperioden während Kaltzeiten) und Impaktereignisse (Meteoriteneinschläge). Von diesen wird Impaktereignissen und Einstürzen über Lösungshohlräumen 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 2020d).

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 2020d) erreichen, wurden mit einem Sicherheitsradius von 25 m um den Bohrlochverlauf ausgeschlossen. Vertikale Bohrungen bzw. Bohrungen, deren Verlauf

⁶ Die Geländeoberkante (GOK) ist in den Geowissenschaften und in der Geotechnik die Bezeichnung für die natürliche oder anthropogene Erdoberfläche auf dem trockenen Land

⁷ Die Teufe ist ein bergmännischer Ausdruck, mit dem die Tiefe unter der Geländeoberfläche beschrieben wird

⁸ Nach § 2 Nr. 9. StandAG ist der einschlusswirksame Gebirgsbereich „der Teil eines Gebirges, der bei Endlagersystemen, die wesentlich auf geologischen Barrieren beruhen, im Zusammenwirken mit den technischen und geotechnischen Verschlüssen den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle in einem Endlager gewährleistet“.

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 2020d) 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 2020d) wurden von der BGE in mehreren Datenabfragen von den zuständigen Landes- und Bundesbehörden angefordert; dabei wurde zwischenzeitlich die Methodik zur Kriterienanwendung weiterentwickelt. Vom weiteren Verfahren ausgeschlossen wurden die Bereiche mit Bergwerken, deren Hohlräume im endlagerrelevanten Tiefenbereich von 300 bis 1500 m unter GOK liegen.

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 horizontalen Ausdehnung des Grubengebäudes, der maximalen Teufe und eines Grenzwinkels bestimmt. Auf diese Weise wurden bundesweit „686 Bergwerke und Kavernen als ausgeschlossene Gebiete ermittelt“ (BGE 2020d).

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. Die Datenlieferungen für diese Zweck waren „sehr heterogen und enthielten [...] meist thematisch verwandte aber nur in wenigen Fällen die konkret erfragten Informationen“ (BGE 2020d). 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. 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“ (BGE 2020d).

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 quartärer⁹ Vulkanismus stattgefunden hat oder innerhalb der nächsten Million Jahre Vulkanismus erwartet wird. Im Bericht zur Anwendung der Ausschlusskriterien (BGE 2020d) 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 2020d). Um die Eruptionszentren wurde ein Sicherheitsabstand von 10 km gelegt. Im Ergebnis wurden 352 quartäre Eruptionspunkte

⁹ Das Quartär ist die jüngste Epoche der Erdgeschichte. Sie begann vor 2,6 Millionen Jahren und dauert bis in die Gegenwart an.

identifiziert und für die Ausweisung ausgeschlossener Gebiete berücksichtigt. Dadurch wurden 4446 km² in der Eifel und 222 km² im Egergraben ausgeschlossen (BGE 2020d).

Grundwasseralter

Durch das Ausschlusskriterium *Grundwasseralter* soll sichergestellt werden, dass keine Grundwässer existieren, die „am aktuellen hydrologischen Kreislauf teilnehmen“ (Fraktionen CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 2017) und damit einen Schadstofftransport aus dem Endlager in den Lebensraum von Menschen ermöglichen. Diese Formulierung ist wenig konkret. In der Begründung zum Entwurf des Standortauswahlgesetzes wird darauf hingewiesen, dass „die Konzentration der Isotope Tritium [³H] und Kohlenstoff-14 [¹⁴C] im Grundwasser des vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereiches oder Einlagerungsbereiches“ (Fraktionen CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 2017) als Bewertungsgrundlage herangezogen werden können.

Die BGE orientiert sich bei der ersten Anwendung der Ausschlusskriterien am Arbeitskreis 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 2020d). Stattdessen „erfolgt eine punktuelle Ermittlung ausgeschlossener Gebiete“ (BGE 2020d).

In zwei Datenabfragen wurden Informationen zum Grundwasseralter, ³H- und ¹⁴C-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 „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“ erfasst sind. Es werden „insgesamt 58 Datenpunkte und 96 Linien“ ausgewiesen, durch die jedoch „kein zusätzlicher Ausschluss“ erfolgt (BGE 2020d).

4.1 Anwendung der Ausschlusskriterien durch die BGE im Bereich der Teilgebiete im Landkreis Rotenburg (Wümme)

Im Folgenden wird die Anwendung der Ausschlusskriterien durch die BGE innerhalb der Gemarkung des Landkreises Rotenburg (Wümme) dargestellt. Schlussfolgerungen daraus für die Teilgebiete bzw. deren Segmente im Landkreis Rotenburg (Wümme) sind in Kap. 4.2 zusammengestellt.

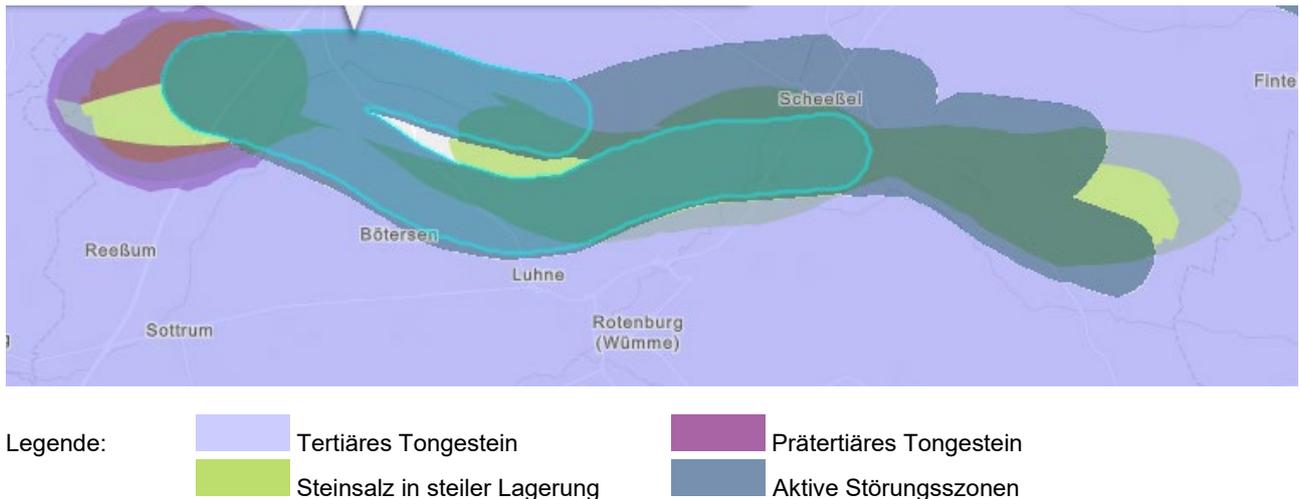
4.1.1 Großräumige Vertikalbewegungen

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

4.1.2 Aktive Störungszonen im Bereich der betrachteten Salzstöcke

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 Taaken (033), Stemmen (034), Bevern (063) und Basdahl (068) werden aktive Störungszonen ausgewiesen, dagegen nicht für den Salzstock Brümmerhof (032).

Abbildung 4-1: Aktive Störungszonen im Bereich des Salzstocks Taaken/Scheeßel/Ostervesede (033)



Quelle Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete. Legende ergänzt.

Abbildung 4-1 zeigt beispielhaft die Darstellung des Salzstocks Taaken (033) in der interaktiven Karte. Ausgewählt und türkis umrandet dargestellt ist das ausgeschlossene Gebiet 0002263AG(2.1); in grün ist die Ausdehnung des Salzstocks zu sehen, tertiäre Tongesteine sind veilchenblau gekennzeichnet, Unterkreide-Tonsteine in Weinrot (in der Legende mit anderen stratigraphischen Formationen als prätertiäres Tongestein zusammengefasst). Die Teilgebiete sowie die Störungszonen sind farblich so dargestellt, dass sich die Farben überlagern. Am linken Rand des Kartenausschnitts überlagern sich beispielsweise die Tongesteine der Kreide (Teilgebiet 007) und des Tertiär (Teilgebiet 004) (siehe dazu auch Kapitel 7). Durch die Überlagerung der Farbsignaturen erscheint dieser Bereich lila.

In der interaktiven Karte des Zwischenberichts Teilgebiete (BGE 2020i) sind die Störungszonen mit Ident-Nummern versehen, die sich von der Nummerierung in der Anlage 1 zum „Datenbericht Ausschlusskriterium gemäß § 22 StandAG“ (BGE 2020m) unterscheiden. Diese enthält „alle entscheidungserheblichen Daten für die Anwendung des Ausschlusskriteriums „aktive Störungszonen“, die mit Stand 07.09.2020 gemäß den Regelungen und Verfahren nach dem Geologiedatengesetz veröffentlicht werden können“ (BGE 2020m). Aufgrund der unterschiedlichen Nummerierung ist die Zuordnung der Datensätze zu den in der interaktiven Karte dargestellten Störungszonen zum jetzigen Zeitpunkt nur der BGE möglich.

Mit Hilfe der Darstellung in der interaktiven Karte (BGE 2020i) wurden im Bereich der Salzstöcke innerhalb der Gemarkung des Landkreises die folgenden aktiven Störungszonen, die nach der Vorgehensweise der BGE als ausgeschlossene Gebiete gekennzeichnet sind, identifiziert (siehe Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Aktive Störungszonen im Bereich der einzelnen Salzstöcke innerhalb der Gemarkung des Landkreises Rotenburg (Wümme)

Salzstock/Teilgebiet	Ident-Nr. der aktiven Störungszonen		
TG 032: Brümmerhof	keine		
TG 033: Taaken/Scheeßel/Ostervesede	0002163AG(2.1)	0002164AG(2.1)	0002165AG(2.1)
	0002169AG(2.1)	0002263AG(2.1)	0002264AG(2.1)
	0002265AG(2.1)	0002633AG(2.1)	0002634AG(2.1)
	0002635AG(2.1)	0002636AG(2.1)	0002637AG(2.1)
	0002649AG(2.1)	0002650AG(2.1)	0003675AG(2.1)
	0003676AG(2.1)	0003677AG(2.1)	0003679AG(2.1)
	0004091AG(2.1)	0004092AG(2.1)	0004093AG(2.1)
	0004096AG(2.1)	0004097AG(2.1)	0004099AG(2.1)
TG 034: Stemmen/Otter-Todts-horn	0002159AG(2.1)	0002162AG(2.1)	0002259AG(2.1)
	0002261AG(2.1)	0002262AG(2.1)	0002656AG(2.1)
	0002657AG(2.1)	0002658AG(2.1)	0002659AG(2.1)
	0002741AG(2.1)	0003680AG(2.1)	0003681AG(2.1)
	0003683AG(2.1)	0003684AG(2.1)	0003685AG(2.1)
	0003686AG(2.1)	0004090AG(2.1)	0004098AG(2.1)
	0004100AG(2.1)	0004101AG(2.1)	0004102AG(2.1)
	0004103AG(2.1)		
TG 063: Bevern/Hamelwörde/Krempe/Lägerdorf	0002153AG(2.1)	0002371AG(2.1)	0002688AG(2.1)
	0002689AG(2.1)	0003075AG(2.1)	0003079AG(2.1)
	0003601AG(2.1)	0004053AG(2.1)	
TG 068: Basdahl/Armstorf/Odisheim/Osterbruch/Belmhusen/Süderhastedt/Teilungstedt/Pahlhude/Grevenhorst	0002351AG(2.1)	0002353AG(2.1)	0002836AG(2.1)
	0003602AG(2.1)		

Quelle: Eigene Darstellung

4.1.3 Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit

Durch die Anwendung des Ausschlusskriteriums *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit* wurden im Bereich der Salzstöcke innerhalb der Gemarkung des Landkreises mehrere kleinräumige Bereiche ausgeschlossen. Diese Ausschlussgebiete lassen sich lediglich anhand der interaktiven Karte identifizieren. In Tabelle 4-2 sind die Kennnummern der in der interaktiven Karte der BGE (BGE 2020i) dargestellten Bohrungen, die sich auf der Fläche eines der fünf betrachteten Teilgebiete befinden, aufgeführt:

Tabelle 4-2: Bohrungen im Gebiet der Salzstöcke des Landkreises Rotenburg (Wümme)

Salzstock/Teilgebiet	Identifikations-Nr. der Bohrungen im Bereich des Salzstocks		
TG 032: Brümmerhof	0027282AG(3.2)		
TG 033: Taaken/Scheeßel/Ostervesede	0023291AG(3.2)	0027286AG(3.2)	0027287AG(3.2)
	0027288AG(3.2)	0027289AG(3.2)	0027292AG(3.2)
	0027293AG(3.2)	0027300AG(3.2)	0027301AG(3.2)
	0027307AG(3.2)	0027317AG(3.2)	0027320AG(3.2)
	0027329AG(3.2)	0027419AG(3.2)	0027420AG(3.2)
	0027421AG(3.2)	0033809AG(3.2)	
TG 034: Stemmen/Otter-Todts-horn	0033800AG(3.2)	0033799AG(3.2)	0035482AG(3.2)
TG 063: Bevern/Hamelwörde/Krempe/Lägerdorf	0027063AG(3.2)		
TG 068: Basdahl/Armstorf/Odisheim/Osterbruch/Belmhusen/Süderhastedt/Teilingstedt/Pahlhude/Grevenhorst	0035413AG(3.2)		

Quelle: Eigene Darstellung

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

Am 10. Juni 2021 wurde seitens der BGE der Funktionsumfang der interaktiven Kartendarstellung erneut erweitert. Die „für die Anwendung der Mindestanforderungen in § 13 StandAG entscheidungserheblichen Schichtenverzeichnisse“¹⁰ wurden bereitgestellt. Keine der oben aufgeführten Bohrungen wurde als für die Anwendung der Mindestanforderungen entscheidungserheblich gekennzeichnet. Entsprechend wurden seitens der BGE keine weiteren Informationen zur Verfügung gestellt. Alle Bohrungen konnten jedoch mit Hilfe der Bohrpunktkarte der BGR¹¹ zugeordnet werden. Die Bezeichnungen der Bohrungen und die wesentlichen Informationen sind in Tabelle 5-4 zusammengestellt.

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

4.1.4 Seismische Aktivität

Auf Grund des Kriteriums *Seismische Aktivität* wurde im Bereich des Landkreises Rotenburg (Wümme) und entsprechend auch im Gebiet der fünf betrachteten Teilgebiete kein Ausschluss vorgenommen. Seismisch aktive Gebiete befinden sich im Wesentlichen im Westen und Südwesten des Bundesgebiets. Da im Gebiet und in der Umgebung des Landkreises Rotenburg (Wümme) in

¹⁰ siehe <https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>

¹¹ <https://boreholemap.bgr.de/mapapps/resources/apps/boreholemap/index.html?lang=de>

der Vergangenheit verschiedentlich Erdbeben auftraten, wurde seitens des Auftraggebers eine ausführliche Bewertung dieser Thematik gewünscht, die in Kapitel 4.2.4 erfolgt.

4.1.5 Vulkanische Aktivität

Das Ausschlusskriterium *vulkanische Aktivität* führte im Bereich der betrachteten Teilgebiete zu keinem Ausschluss. Die Gebiete, die aufgrund quartären Vulkanismus¹ ausgeschlossen wurden, befinden sich ausschließlich in der Eifel bzw. im Bereich des Egergrabens.

4.1.6 Grundwasseralter

Im Bereich der Salzstöcke im Landkreis Rotenburg (Wümme) wurden keine Gebiete durch das Kriterium *Grundwasseralter* ausgeschlossen. Da nur in Bohrungen und Bergwerken Grundwasseralter bestimmt wurden, wurden mit diesem Kriterium im Landkreis Rotenburg (Wümme) wie im gesamten Bundesgebiet keine zusätzlichen Flächen ausgeschlossen.

4.2 Schlussfolgerungen und Bewertung zur Anwendung der Ausschlusskriterien

In diesem Kapitel werden die Schlussfolgerungen zur Anwendung der Ausschlusskriterien, insbesondere in Bezug auf die Teilgebiete innerhalb der Gemarkung Rotenburg (Wümme), dargestellt.

4.2.1 Großräumige Vertikalbewegungen

Die Schlussfolgerung der BGE, dass Hebungsraten von 1000 m im Nachweiszeitraum nicht erreicht werden, 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 einer auf Langzeitsicherheit gerichteten Berücksichtigung von Hebungsbewegungen der Erdkruste und müsste ggf. präzisiert werden. Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangte auch Prof. Dr. Christian Hübscher in seinem Vortrag „Auswirkungen zukünftiger Vereisungen“ (2021) während des ersten Beratungstermins der Fachkonferenz Teilgebiete am 6. Februar 2021. Darin wird auf die Wirkungen eiszeitlicher Vergletscherungen, unter anderem als Auslöser großräumiger Vertikalbewegungen, eingegangen. Prof. Hübscher hält fest, „die grundsätzliche Eignung aller ehemals von eiszeitlichen Gletschern bedeckten Regionen und deren Randbereiche“ seien „für die Errichtung von atomaren Endlagern [...] verstärkt zu beforschen“. Dabei müsse „die Forschung [...] auf die Quantifizierung aller wirkenden Prozesse, und deren Auswirkungen auf ein mögliches Endlager, zielen“ (Hübscher 2021).

4.2.2 Aktive Störungzonen im Bereich der betrachteten Salzstöcke

Das Vorgehen der BGE zum Ausschluss aktiver Störungzonen erscheint grundsätzlich nachvollziehbar und trägt dem von der BGE formulierten Verfahrensgrundsatz Rechnung, „ausgeschlossene Gebiete im Zweifel flächenhaft eher zu unter- als zu überschätzen“ (BGE 2020d).

Dass Teilgebiete und ausgeschlossene Gebiete einander überlagern, legt nahe, dass es sich dort um Scheitelstörungen der Salzdiapire¹² handelt. (siehe hierzu Kapitel 4). Damit werden die im

¹² Die Begriffe Salzdiapir und Salzstock werden im Rahmen dieses Berichts synonym verwendet

Hangenden¹³ der Salzstöcke Taaken (033), Stemmen (034), Bevern (063) und Basdahl (068) anstehenden Tongesteinsvorkommen des Tertiär sowie im Fall des Salzstocks Taaken (033) auch ein Tongesteinsvorkommen der Unterkreide im Bereich der jeweiligen Störungszonen vom weiteren Standortauswahlverfahren ausgeschlossen. Wie in Kapitel 4 dargestellt, werden Scheitelstörungen nur dann als ausgeschlossene Gebiete aufgeführt, wenn „der höchste Punkt der Salzstruktur unterhalb von 300 m“ (BGE 2020d) unter GOK liegt. Der Strukturtop des Salzstocks Taaken liegt in einer Tiefe von 236 m (siehe Tabelle 5-3), dennoch wurden offensichtlich Scheitelstörungen oberhalb des Salzstocks als aktive Störungszonen ausgewiesen.

In der Salzstudie der BGR (Kockel und Krull 1995) werden in Kap. 8.2 (S. 39) der Salzstock Taaken sowie der Salzstock Stemmen als „Strukturen mit möglicherweise stark gestörtem oder komplizierten Innenbau und vermutlich ohne ausreichende Steinsalz-Volumina“ charakterisiert. Beide Salzstöcke sind außerdem in Kap. 8.5 (Kockel und Krull 1995) als „Strukturen mit strukturellen Komplikationen im Dachbereich“ (Scheitelgräben bzw. -störungen) aufgeführt.

Grundsätzlich wird im Zwischenbericht (BGE 2020I) hinsichtlich Scheitelstörungen an Salzstöcken unter Verweis auf Stück et al. (2020) davon ausgegangen, dass „sich Scheitelstörungen auf das Deckgebirge von Salzstrukturen beschränken“ und „die Barrierewirksamkeit einer Salzstruktur damit erhalten“ bleibe (BGE 2020I). Stück et al. (2020) stellen in ihrem Bericht allerdings dar, dass „im Salinar ggf. existierende Störungszonen nicht zwangsläufig als Propagation von Störungen in der Deckschichtstruktur auftreten müssen, sondern auch lateral dazu versetzt vorkommen können“. Weiterhin wird ausgeführt, dass für das Vordringen von Scheitelgrabenstörungen [...] bis in die Salinarstruktur hinein [...] bislang keine direkten Nachweise“ (Stück et al. 2020) erbracht werden konnten, dies für Einzelfälle aber durchaus diskutiert wird.

Auch Frisch und Kockel (2004) weisen darauf hin, dass Scheitelstörungen oder Scheitelgräben zwar „meist im Caprock¹⁴ 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, also Bewegungen von Salzgestein, sondern oft durch eine Reaktivierung unter dem Salzstock liegender Sockelstörungen verursacht (Frisch und Kockel 2004).

Das Vorgehen der BGE hinsichtlich der Behandlung von Scheitelstörungen oberhalb von Salzstrukturen, ausgehend von der Annahme, ein genetischer Zusammenhang zwischen Scheitelstörungen und Störungen im Salinar sei ausgeschlossen, bedarf aus Sicht der Autoren einer detaillierteren Begründung und wissenschaftlichen Abstützung als im Zwischenbericht dargestellt und sollte im weiteren Verfahren in jedem Einzelfall überprüft werden. Da der Fernerkundung salinärer Gesteine mittels geophysikalischer Methoden enge Grenzen gesetzt sind, wird dies mutmaßlich nur durch Bohrungen oder im Rahmen der Erkundung aus einem Bergwerk heraus möglich sein.

Im Rahmen der Befassung mit atektonischen Vorgängen sind die möglichen Konsequenzen eines Wasserzutritts zu Anhydritvorkommen¹⁵ im Untergrund als Ursache für Störungen nicht

¹³ Als Hangendes werden die eine Gesteinseinheit überlagernden Gesteine bezeichnet, als Liegendes die unterlagernden Einheiten

¹⁴ Als Caprock wird in diesem Fall das den Salzstock direkt überlagernde Gestein bezeichnet.

¹⁵ Anhydrit ist ein gesteinsbildendes Mineral aus Calciumsulfat (CaSO₄) und entsteht u. a. als Verdunstungsprodukt von Meerwasser oder bei der Entwässerung von Gipsgestein durch den Druck aufliegender Sedimente. Der Name Anhydrit wird aus dem Griechischen mit Stein ohne Wasser übersetzt - bezugnehmend darauf, dass das Mineral kein Wasser

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

4.2.3 Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit

Das Vorgehen der BGE zur Berücksichtigung von Einflüssen aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit erscheint aufgrund der in Kap. 4.1.3 dargestellten Datengrundlage angemessen zur Ausweisung von Teilgebieten. In zukünftigen Verfahrensschritten wird es notwendig sein, insbesondere bezogen auf den Ausschluss von Bohrungen, in den ausgewählten Standortregionen weitere Daten zur Raumlage bestehender Bohrungen und der Schädigungsbereiche in der Umgebung der Bohrpfade zu erheben und auszuwerten.

4.2.4 Seismische Aktivität

Das rein graphische Vorgehen durch die digitale Übertragung einer kleinmaßstäblichen Kartendarstellung führt zwangsläufig zu einer sehr ungenauen Begrenzung der Erdbebenzonen bei der Kriterienanwendung. Begründet wird das seitens der BGE mit der Qualität der erhaltenen Daten. Da auch dieses Kriterium dem Grundsatz folgt, „ausgeschlossene Gebiete im Zweifel flächenhaft eher zu unter- als zu überschätzen“ (BGE 2020d), kann die Anwendung des Ausschlusskriteriums *seismische Aktivität* in diesem ersten Verfahrensschritt trotzdem angesichts der dargestellten Datenlage als plausibel angesehen werden.

Im Auftrag der BGE hat die BGR unter anderem Vorschläge zur Anwendung des Ausschlusskriteriums *Seismische Aktivität* unter Berücksichtigung des neuen nationalen Anhangs zur DIN EN 1998-1 formuliert. Kaiser und Spies (2020) stellen in ihrem Abschlussbericht verschiedene mögliche Vorgehensweisen vor, geben eine Empfehlung zum Vorgehen nach erfolgter Aktualisierung des nationalen Anhangs und weisen auf „ungeklärte Fragen zur Relevanz des Ausschlusskriteriums „Seismische Aktivität“ für die Ermittlung der Erdbebengefährdung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle“ hin.

Der neue nationale Anhang zur DIN EN 1998-1 weist an Stelle von Erdbebenzonen makroseismische Intensitäten aus. Eine detaillierte Erläuterung des Konzepts der makroseismischen Intensität bietet der „Kernteil der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS-98) in deutscher Übersetzung“ (Grünthal 2020). Eine Übertragung des Ausschlusskriteriums gemäß StandAG auf den neuen nationalen Anhang würde zu einem Ausschluss von Gebieten mit einer makroseismischen Intensität von VII und darüber führen. Diese Intensitäten werden im Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme) nach aktuellem Stand nicht erreicht¹⁶.

Die in der Umgebung des Landkreises Rotenburg (Wümme) aufgetretenen Erdbeben werden nach Auswertung des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie des Landes Niedersachsen (LBEG) und der BGR nicht auf tektonische Ursachen, sondern auf Druckabsenkung bzw. Spannungsänderungen im Gebirge aufgrund früherer bergbaulicher Aktivität zurückgeführt (siehe bspw.

enthält und sich damit vom chemisch verwandten und wasserhaltigen Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) unterscheidet. Anhydrit kann durch Kontakt mit Wasser zu Gips umgewandelt werden- einhergehend mit einer Volumenzunahme um bis zu 60 %.

¹⁶ siehe dazu auch: <http://www-app5.gfz-potsdam.de/d-eqhaz16/>

Bischoff et al. (2020), Bischoff et al. (2019)). In den Erdbebenkatalogen, die dem nationalen Anhang zur DIN EN 1998-1 bzw. Entwürfen zu einer Neufassung zugrunde liegen, fanden „seismische Ereignisse, welche durch menschliche Aktivitäten induziert sind“ (Kaiser und Spies 2020), jedoch keine Berücksichtigung. Entsprechend werden sie auch bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums *Seismische Aktivität* nicht berücksichtigt. Darüber hinaus überschreiten die in der Umgebung des Landkreises Rotenburg (Wümme) beobachteten Erdbeben jedoch auch nicht die Intensität V (siehe bspw. Bischoff et al. (2020)).

Der aktualisierte nationale Anhang zur DIN EN 1998-1 wurde im Juli 2021 unter der Bezeichnung DIN EN 1998-1/NA:2021-07 veröffentlicht, ist jedoch nicht frei zugänglich und liegt den Autoren nicht vor. Es ist aber nicht davon auszugehen, dass mögliche Änderungen gegenüber dem von Kaiser und Spies (2020) diskutierten Entwurf aus dem Jahr 2018 zu einer geänderten Bewertung im Landkreis Rotenburg (Wümme) führen werden.

Die Aussage der BGE, der aktualisierte Anhang zur DIN EN 1998-1 solle im Standortauswahlverfahren berücksichtigt werden, sobald er gilt und „alle erforderlichen Voraussetzungen gegeben sind“ (BGE 2020d), lässt Fragen offen. Welche erforderlichen Voraussetzungen die BGE zusätzlich zur Veröffentlichung der neuen Gefährdungskarte zur Anwendung des Kriteriums benötigt, sollte präzisiert werden. Darüber hinaus sollten die von Kaiser und Spies (2020) formulierten Fragen hinsichtlich der Eignung der Baunorm DIN EN 1998-1/NA für die Bewertung der Gefährdung eines Endlagers durch seismische Aktivität eingehend diskutiert und die Ergebnisse bei der weiteren Anwendung des Kriteriums berücksichtigt werden.

4.2.5 Vulkanische Aktivität

Unter der Maßgabe, im ersten Schritt des Standortauswahlverfahrens den ungerechtfertigten Ausschluss möglicherweise geeigneter Gebiete zu vermeiden, kann die Anwendung des Ausschlusskriteriums *Vulkanische Aktivität* als nachvollziehbar angesehen werden (siehe auch Chaudry und Neles (2020)). Allerdings wurden durch diese Anwendung große Gebiete, für die in der Zukunft unter Umständen Vulkanismus erwartet werden kann, außer Acht gelassen. Dies betrifft beispielsweise die Gebiete, in denen tertiärer Vulkanismus nachgewiesen ist. So wies auch die BGR in ihrem Vortrag zum Ausschlusskriterium *Vulkanische Aktivität* während des ersten Beratungstermins der Fachkonferenz Teilgebiete darauf hin, dass sowohl Gebiete mit zukünftigem Vulkanismus bisher nicht ausgeschlossen wurden als auch das Neuauftreten oder das Wiederaufleben älterer Vulkane. Auch die Verlagerung vulkanischer Aktivität wurde demnach bisher außer Acht gelassen (May 2021). Das Ausschlusskriterium *Vulkanische Aktivität* wurde somit im vorliegenden Schritt des Standortauswahlverfahrens nur unvollständig angewendet. 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)). Auch unter Einbeziehung tertiären Vulkanismus ist jedoch im Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme) nicht mit einem Ausschluss zu rechnen.

4.2.6 Grundwasseralter

Für Phase 1 des Standortauswahlverfahrens kann das gewählte Vorgehen der BGE 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 isotopehydrologischen

Grundwasserverhältnisse an einem Standort (in einer Region)“ (Appel et al. 2002) ermöglicht, ohne die das Ausschlusskriterium *Grundwasseralter* im Standortauswahlverfahren keine Wirkung entfalten kann.

4.3 Zusammenfassende Bewertung für die Teilgebiete und Teilgebietssegmente im Landkreis Rotenburg (Wümme)

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. Alle hier betrachteten Teilgebiete werden zumindest kleinräumig von Ausschlussgebieten aufgrund von Bohrungen überlagert. Ebenfalls fallen alle Teilgebiete bis auf das Teilgebiet Brümmerhof (032) sowie das Teilgebietssegment Armstorf (068) mit Ausschlussgebieten aufgrund aktiver Störungszonen zusammen.

Die Ausschlussgebiete aufgrund aktiver Störungszonen basieren, wie in Kap. 4.2.2 dargestellt, mutmaßlich auf Scheitelstörungen. Die Einschätzung, dass der Salzstock aufgrund seiner Selbstheilungseigenschaften durch Scheitelstörungen in seiner Integrität nicht beeinträchtigt ist, ist prinzipiell nachvollziehbar, sollte aber mit zunehmendem Kenntniserwerb verifiziert werden.

Hinsichtlich der Bohrungen werden seitens der BGE keine weiteren Informationen zur Verfügung gestellt, so dass auf Grundlage der veröffentlichten Daten nicht bewertet werden kann, ob diese oberhalb des jeweiligen Salzstockes enden oder auch der Salzstock von Bohrungen erschlossen wurde und welche Konsequenzen dies für die Integrität für einen bestimmten Bereich des Salzstocks hat. Die Daten, insbesondere die Schichtenverzeichnisse der Bohrungen, sollten im Sinne eines transparenten Verfahrens gemäß § 1 StandAG so bald möglich durch die BGE verfügbar gemacht werden. Durch eigene Recherche konnten die Fachinformationen zu den Bohrungen jedoch ermittelt werden. Sie sind in Tabelle 5-4 zusammengestellt.

Die Anwendung der Ausschlusskriterien erfolgte im ersten Schritt des Standortauswahlverfahrens auf einer bislang geringen Datenbasis. Mit fortschreitendem Verfahren wird diese Datenbasis für die verbleibenden Teilgebiete erweitert und bei erneuter Anwendung der Ausschlusskriterien gemäß § 16 Abs. 2 und § 18 Abs. 2 StandAG berücksichtigt werden.

5 Wirtsgesteine und Mindestanforderungen

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, der Wirtsgesteinstyp, der auch die hier betrachteten Teilgebiete aufbaut, werden demnach Salzstrukturen bezeichnet, „bei denen die Deckgebirgsschichten infolge eines zunehmenden Salzaufstiegs durchbrochen wurden“ (BGE 2020e).

Salinargesteine bestehen neben Steinsalz aus einer Abfolge weiterer gesteinsbildender Minerale, die im Verlauf der Verdunstung von Meerwasser ausgefällt¹⁷ werden und kristallisieren, 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 Abfolge gesteinsbildender Minerale, die während der Entstehung von Salinargesteinen aus Meerwasser in Form einander überlagernder Gesteinsschichten abgebildet wird, wird durch den Aufstieg eines Salinars und die damit einhergehende bruchhafte und plastische Deformation verändert.

Da der komplexe innere Aufbau eines Salzstocks „ohne detaillierte Kenntnisse der jeweiligen Salzstruktur nicht beschrieben werden“ (BGE 2020e) kann, wird von der BGE zunächst die gesamte Salzstruktur als Wirtsgestein betrachtet. Wichtig ist dabei, „dass Halit der gesteinsbildende Hauptbestandteil“ (BGE 2020e) ist. Das wird seitens der BGE immer dann als gegeben angesehen, wenn die im Schichtenverzeichnis von Bohrungen verwendeten Gesteinsnamen auf Steinsalz als Hauptkomponente hinweisen (BGE 2020e). Gleichzeitig werden die Schichtenverzeichnisse von Bohrungen, die in als Teilgebiete ausgewiesene Salzstöcke abgeteuft wurden, nicht als entscheidungserhebliche Daten eingestuft und entsprechend seitens der BGE nicht veröffentlicht.

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. 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 (BGE 2018b) formuliert. Auf Grundlage der erhaltenen Daten wurde die Erfüllung der Mindestanforderungen für Gebiete, die nicht durch ein Ausschlusskriterium aus dem Verfahren ausgeschieden sind, von der BGE überprüft.

Für die Anwendung der Mindestanforderungen wurde jedes spätere Teilgebiet in seiner Gesamtheit betrachtet. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass dabei jedes Segment des jeweiligen Teilgebiets die Mindestanforderungen erfüllt (Erläuterungen hierzu siehe Kap. 2). Entsprechend lässt das Ergebnis der Anwendung der Mindestanforderungen durch die BGE zunächst keine abschließende Aussage darüber zu, inwieweit alle Teilgebietssegmente, die im Landkreis Rotenburg (Wümme) liegen, den Mindestanforderungen entsprechen.

Im Folgenden wird die Anwendung der einzelnen Mindestanforderungen für Steinsalz in steiler Lagerung, wie im Fachbericht zur Anwendung der Mindestanforderungen (BGE 2020e) ausgeführt, dargestellt und auf Plausibilität hin überprüft. Anschließend werden die Ergebnisse, die sich daraus für die Teilgebiete bzw. Teilgebietssegmente im Landkreis Rotenburg (Wümme) ergeben, erläutert (Kapitel 5.1) und die Schlussfolgerungen daraus (Kapitel 5.2) diskutiert.

¹⁷ Als „ausfällen“ bezeichnet man den chemischen Vorgang, bei dem gelöste Stoffe durch Änderungen von Parametern, wie z.B. Druck oder Temperatur in Form von Kristallen, Flocken oder Tröpfchen ausgeschieden werden

Gebirgsdurchlässigkeit

Für Steinsalz wird grundsätzlich angenommen, dass aufgrund dessen bekannter Eigenschaften die Gebirgsdurchlässigkeit ausreichend gering ist (BGE 2020e). Im Fachbericht zu den Mindestanforderungen (BGE 2020e) wird dies nicht weiter ausgeführt. Widersprechende Erkenntnisse liegen bisher nicht vor.

Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Die Mindestanforderung wird als erfüllt angesehen, wenn das betrachtete Salinar eine Mächtigkeit¹⁸ 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.

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 Salzschwebe von mindestens 300 m Mächtigkeit, d. h. eines Bereiches von mindestens 300 m Salz, der oberhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs zum Schutz gegen Erosion und Wasserzutritt stehen bleiben soll. Für die Ausweisung von Teilgebieten betrachtet die BGE mit Vorhandensein einer 300 m mächtigen Salzschwebe auch die Mindestanforderung von 300 m Abstand zur Geländeoberkante als erfüllt. Dabei wird lediglich die Mächtigkeit des Salzstocks zur Bewertung herangezogen; lässt sich aus den genutzten 3D-Modellen oder anderen Informationen der Schluss ableiten, dass innerhalb einer Salzstruktur 400 m Mächtigkeit erreicht werden – 300 m Salzschwebe + 100 m Mindestmächtigkeit – wird die Anforderung als erfüllt angesehen.

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.

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,

¹⁸ Die Mächtigkeit ist in der Geologie die Bezeichnung für die Dicke eines Gesteinspakets. Die Mächtigkeit wird unabhängig von der räumlichen Orientierung einer Schicht senkrecht zu den Schichtflächen gemessen. Weil bei der Bildung von Salzstöcken oder anderen steilstehenden Salzvorkommen der ursprüngliche Schichtverband meist zerstört wird, wird abweichend von dieser Definition als Mächtigkeit einer Salzstruktur oder Mächtigkeit eines Salinars häufig eine Sekundärmächtigkeit angegeben, die die Stärke des Gesteinspakets senkrecht zur Erdoberfläche bezeichnet.

wenn „klare Erkenntnisse oder Daten vorliegen, dass der Erhalt der Barrierewirkung zweifelhaft erscheint“ (BGE 2020e). 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.

5.1 Anwendung der Mindestanforderungen im Bereich der Teilgebiete im LK Rotenburg (Wümme)

Auf dem Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme) erfüllen die Salzstöcke Brümmerhof, Taaken, Stemmen, Bevern und Basdahl (Tabelle 5-1) alle Mindestanforderungen und werden als identifizierte Gebiete ausgewiesen (siehe dazu auch Kapitel 3). Gleiches gilt für die Salzstöcke Breddorf, Söhlingen und Wedehof, die aber im weiteren Verfahren durch die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ausgeschlossen wurden.

Tabelle 5-1: Zuordnung identifizierter Gebiete innerhalb der Teilgebiete

Regionalgeologische Einheit / Strukturname	Teilgebiets-Nr.	Identifiziertes Gebiet
Brümmerhof	032	051_00IG_S_s_z
Taaken/Scheeßel/ Ostervesede	033	052_00IG_S_s_z
Stemmen/ Otter-Todtshorn	034	054_00IG_S_s_z
Bevern/Hamelwörde/ Krempe/ Lägerdorf	063	149_00IG_S_s_z-ro
Basdahl/ Armstorf/Odisheim/ Osterbruch/Belmhusen/ Süderhastedt/ Tellingstedt/ Pahlhude/ Grevenhorst	068	163_00IG_S_s_z-ro

Quelle: Eigene Darstellung

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) 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. Im Fachbericht zu den Mindestanforderungen (BGE 2020e) wird ausgeführt, dass „die Grundlage der Bearbeitung in Arbeitsschritt 1“ durch „die in den geologischen 3D-Modellen der Länder ausgewiesenen Salzdiapire“ gebildet wird, welche nur im Falle des Fehlens von Daten durch Informationen aus dem InSpEE-Bericht (BGR 2016)¹⁹ ergänzt wurden. Die im tabellarischen Teil wiedergegebenen Informationen zur Bewertung der Mindestanforderungen sind in Tabelle 5-2 zusammengestellt.

¹⁹ Vorhaben: „Informationssystem Salz: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzungen für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) (InSpEE)“, abrufbar unter https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Nutzung_tieferer_Untergrund_CO2Speicherung/Downloads/InSpEE_Abschlussbericht.html

Tabelle 5-2: Charakteristika der betrachteten Salzstöcke zur Anwendung der Mindestanforderungen

	Brümmerhof (032)	Taaken/Scheeßel/ Ostervesede (033)	Stemmen/Otter- Todtshorn (034)
Wirtsgesteinstyp	Steinsalz in steiler Lagerung		
Stratigraphie	Zechstein		
Bundesländer	Niedersachsen		
Gebirgsdurchlässigkeit	10 ⁻¹² m/s		
Mächtigkeit	890 m	970 m	810 m
Teufenlage der Struktur	600-1500 m u. GOK	530-1500 m u. GOK	690-1500 m u. GOK
Gesamtfläche	6 km ²	85 km ²	52 km ²
Barriereintegrität	erfüllt		

	Bevern/Hamelwörden/ Krempe/Lägerdorf (063)	Basdahl/Arnstorf/Odisheim/ Osterbruch/Belmhusen/... (068)
Wirtsgesteinstyp	Steinsalz in steiler Lagerung	
Stratigraphie	Zechstein/ Rotliegend	
Bundesländer	Niedersachsen /Schleswig-Holstein	
Gebirgsdurchlässigkeit	10 ⁻¹² m/s	
Mächtigkeit	1090 m	700 m
Teufenlage der Struktur	420-1500 m u. GOK	800-1500 m u. GOK
Gesamtfläche	102 km ²	274 km ²
Barriereintegrität	erfüllt	

Quelle: Eigene Darstellung

Gemäß BGE (2020e) wurde für die Anwendung der Mindestanforderungen die minimale Teufenlage des potentiellen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs angegeben, bei der „die geforderte 300 m mächtige Salzscheibe oberhalb eines potentiellen ewG“ berücksichtigt wurde. Ausgehend von der aus geologischen 3D-Modellen der Länder entnommenen Teufenlage des Strukturtops wurde die minimale Teufenlage jeweils 300 m tiefer angenommen.

Aus der Zusammenstellung geht die rein generische Anwendung der Mindestanforderungen *Gebirgsdurchlässigkeit* und *Erhalt der Barrierewirkung* hervor. Es ist jeweils nur der Referenzwert genannt und keine standortspezifische Bewertung vorgenommen worden. 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 zum *Erhalt der Barrierewirkung* als auch unter Umständen zur *Gebirgsdurchlässigkeit* vorliegen.

Die in Tabelle 5-3 zusammengestellten Daten über die einzelnen Segmente der Teilgebiete sind dem Informationssystem über Salzstrukturen (BGR 2016) entnommen, welches im Projekt InSpEE

als Planungsgrundlage für Auswahlkriterien und zur Potenzialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) erstellt wurde:

Tabelle 5-3: Strukturinformationen zu den einzelnen Teilgebietssegmenten im LK Rotenburg (Wümme)

	Brümmerhof (032)	Taaken (033)	Scheeßel (033)	Ostervesede (033)
Strukturtop [m u. NN]	120	200	700	300
Strukturtop [m u. GOK]	145	236	724	339
Strukturaufbauendes Salinar	Zechstein	Zechstein	Zechstein	Zechstein
Sekundärmächtigkeit [m]	1600	4200	3600	4000
Maximalausdehnung [km²]	3,3 x 2,3	9,5 x 5,2	14 x 4,5	9,5 x 4
Internbau²⁰ Typ Einordnung	Salzdiapir	Salzdiapir kompressiv überprägt	Salzdiapir kompressiv überprägt	Salzdiapir kompressiv überprägt

	Stemmen (034)	Bevern (063)	Basdahl (068)	Armstorf (068)
Strukturtop [m u. NN]	600	961	900	1000
Strukturtop [m u. GOK]	639	971	942	1007
Strukturaufbauendes Salinar	Zechstein	Oberrotliegend, Zechstein	Oberrotliegend, Zechstein	Oberrotliegend, Zechstein
Sekundärmächtigkeit [m]	3800	4100	4800	5300
Maximalausdehnung [km]	14 x 4	13 x 4	11 x 4	18 x 4
Internbau Typ Einordnung	Salzdiapir kompressiv überprägt	Doppelsalinar	Doppelsalinar	Doppelsalinar

Quelle: Eigene Darstellung

Die Angaben zum Strukturtop der Salzstrukturen, die seitens der BGE für die identifizierten Gebiete zur Anwendung der Ausschlusskriterien und der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien genutzt wurden, berücksichtigen, wie oben dargestellt, bereits eine Salzscheibe am Top der Struktur von 300 m. Dennoch weichen sie zum Teil von Angaben im Informationssystem für Salzstrukturen (BGR 2016) ab.

Da in den Steckbriefen der Identifizierten Gebiete (BGE 2020a) die Teufenlage der Struktur jeweils als Tiefenbereich angegeben wird, wird im Folgenden nur auf Teilgebiete bzw. Teilgebietssegmente eingegangen, deren Strukturtop gemäß BGR (2016) oberhalb dieser Teufenlage liegt. So ist die Teufenlage der Struktur Brümmerhof in BGE (2020a) mit 600-1500 m u. GOK angegeben. Der

²⁰ Als Internbautyp werden im Forschungsvorhaben InSpEE (von Goerne et al. (2016) fünf Strukturtypen von Salzvorkommen unterschieden: Salzkissen und flache Sättel (Typ 1), Tektonische Strukturen (Typ 2), Diapire (Typ 3), Kompressiv überprägte Diapire (Typ 4) und Doppelsalinare (Typ 5). Von der BGE ebenfalls als Internbautyp bezeichnet werden Unterscheidungen, die im Sachbericht zum Projekt InSpEE-DS als Doppelsalinar-Internbautypen eingeführt werden.

Strukturtop wäre ohne Berücksichtigung der Salzschwebe demnach bei 300 m u. GOK zu erwarten. Gemäß BGR (2016) liegt der Strukturtop des Salzstocks Brümmerhof (032) aber bei 145 m unter GOK, also 155 m höher als im Steckbrief des identifizierten Gebietes angegeben.

Auch bei der Struktur Bevern, die von der BGE (2020a) mit einer Teufenlage mit 420-1500 m u. GOK angegeben wird (Strukturtop entsprechend ohne Berücksichtigung der Salzschwebe auf 120 m u. GOK), wird im Vergleich dazu von der BGR (2016) eine Tiefe von 32 m u. GOK angegeben. Allerdings befindet sich der Strukturtop des in Rotenburg (Wümme) relevanten Teilgebietssegments (063) deutlich unterhalb von 120 m u. GOK (Bevern bei 971 m u. GOK) und damit innerhalb der angegebenen Teufenlage.

5.2 Schlussfolgerungen und Bewertung zur Anwendung der Mindestanforderungen

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.

Die Ermittlung der Salzstöcke Brümmerhof (032), Taaken (033), Stemmen (034), Bevern (063) und Basdahl (068) als Identifizierte Gebiete im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen fußt im Wesentlichen auf generischen Annahmen. Dies gilt insbesondere für die Mindestanforderungen *Gebirgsdurchlässigkeit* und *Erhalt der Barrierewirkung*.

Gebirgsdurchlässigkeit

Für die Anwendung der Mindestanforderung für Gebiete mit dem potentiellen Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung auf Grundlage vorhandener Daten erscheint das generische Vorgehen der BGE im ersten Verfahrensschritt der Phase 1 des Standortauswahlverfahrens auch für die Teilgebiete im Landkreis Rotenburg (Wümme) plausibel. Spezifische Informationen aus dem Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme) sind entsprechend nicht in die Bewertung eingeflossen. Im weiteren Verfahren werden gezielt Daten zur Ermittlung der Gebirgsdurchlässigkeit in Standortregionen bzw. an Standorten erhoben werden müssen.

Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Für die Anwendung der Mindestanforderungen *Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs*, *Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* und *Fläche des Endlagers* wurden in der Regel nur die 3D-Modelle der staatlichen geologischen Dienste herangezogen. Vorhandene Daten aus Bohrungen, die bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit* erfasst wurden, spielten bei der Anwendung der Mindestanforderungen keine Rolle. In Tabelle 5-4 sind für die Teilgebiete im Landkreis Rotenburg (Wümme) die Bohrungen und die für die Anwendung der Mindestanforderungen wesentlichen Informationen aus den Schichtenverzeichnissen aufgeführt.

Tabelle 5-4: Ausgeschlossene Bohrungen gemäß Ausschusskriterium 3 und zugehörige Informationen aus den Schichtenverzeichnissen

Teilgebiet Nr.	ID interaktive Karte	Bezeichnung	Tiefe in m u. GOK Wesentliche Informationen
32	0027282AG(3.2)	Brümmerhof Z1	Lage an der NE-Flanke des Salzstocks, Zechstein ab 2600 m
33	0027300AG(3.2)	Taaken Z1	168-281 m Paläogen - 343 m Oberkreide - 399 m Anhydrit - 1323 m Steinsalz - 1426 m Anhydrit - 1433 m Dolomit - 1742 m Steinsalz
	0027301AG(3.2)	Taaken Z2	90,5-253 m Paläogen -325 m Oberkreide -385 m keine Angabe/Kernverlust 385-2241 m Zechstein, keine weiteren Angaben. Im Liegenden Trias mit Einschaltung von Kreide, Schichtverband offenbar gestört oder verdoppelt
	0027286AG(3.2) 0027287AG(3.2) 0027288AG(3.2) 0027289AG(3.2) 0027292AG(3.2) 0027293AG(3.2)	Mulmshorn Z 6 (1.)	65-232 m Paläogen -288 m Oberkreide -334 m Anhydrit - 533 m Steinsalz - 583 m Kalisalz - 829 m Steinsalz - 837 m Kalisalz - 850 m Steinsalz - 856 m Kalisalz - 2658 m Steinsalz
		Mulmshorn Z 6 (2.)	65-232 m Paläogen -288 m Oberkreide -3898 m Zechstein
	0033809AG(3.2)	Horstedt 1	97-322 m Paläogen -374 m Oberkreide -382 m Salzgestein
	0027317AG(3.2)	Borchel Z1	98-690 m Paläogen -1030m Oberkreide -1046 m Anhydrit - 1320 m Steinsalz - 1775 m Anhydrit
	0027307AG(3.2)	Boetersen Z2	117-698 m Paläogen -1053 m Oberkreide -1830 m Zechstein

Teilgebiet Nr.	ID interaktive Karte	Bezeichnung	Tiefe in m u. GOK Wesentliche Informationen
	0027329AG(3.2)	Höhnsmoor Z1	101-666 m Paläogen -1013 m Oberkreide -1018 m Unterkreide -2275 m Zechstein, eingebettet in Unterkreideschichten (Barrem)
	0027419AG(3.2)	Westerholz Z1	88-682 m Paläogen -1040 m Oberkreide -2230,5 m Zechstein
	0027391AG(3.2)	B34 – Scheessel	- 280 m Quartär, tonig und sandig
	0027420AG(3.2) 0027421AG(3.2)	Westervesede Z1 (1.)	159-515 m Paläogen - 920 m Oberkreide -927,5 m Unterkreide -1991,5 m Zechstein
	0027320AG(3.2)	Einloh Z1	90-272 m Paläogen -337 m Oberkreide -2520 m Zechstein
34	0033800AG(3.2)	Otter 1	- 734,90 m Quartär, Tertiär, Oberkreide
	0035482AG(3.2)	Totshorn 1	- 653,07 m Quartär, Tertiär, Oberkreide
	0033799AG(3.2)	Totshorn 2	- 669,8 m Quartär, Tertiär, Kreide
63	0027063AG(3.2)	Bevern 1	977-991 m Anhydrit - 996,5 m Steinsalz (Endteufe)
68	0035413AG(3.2)	Bosdahl 1	1006,4-1010,4 m Anhydrit (Endteufe)

Quelle: Eigene Darstellung. Die Bohrungen wurden durch Vergleich der Bohrpunktkarte der BGR mit der interaktiven Kartendarstellung der BGE identifiziert.

Die Mindestanforderung *Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* kann für alle Segmente der Identifizierten Gebiete im Landkreis Rotenburg (Wümme) als erfüllt betrachtet werden, da die Mächtigkeit jeweils deutlich über 250 m liegt und damit keine Unsicherheiten in Bezug auf die Kriterienanwendung bestehen. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Mächtigkeit einer Salzstruktur im Regelfall nicht der des möglichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs entspricht. An einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich sind weitere Anforderungen zu stellen, deren Erfüllung im Detail überprüft werden muss. Auf Grundlage der bisherigen Kriterienanwendung und der dokumentierten und verwendeten Datengrundlage kann zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Aussage getroffen werden, dass in einem der als Teilgebiet ausgewiesenen Salinare im Landkreis ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich ausgewiesen werden kann.

Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Das Vorgehen der BGE, bei Vorhandensein einer Salzscheibe von 300 m die Mindestanforderung *Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* grundsätzlich als erfüllt anzusehen, 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. Die in Tabelle 5-4 dargestellten, frei zugänglichen Informationen zu Bohrungen im Bereich der Salzstöcke im Landkreis Rotenburg (Wümme) zeigen deutlich die Ausbildung von Gipshüten mit Mächtigkeiten von bis zu 56 m am Strukturtop der Salzstöcke.

Aus den Ergebnissen einer einzelnen Bohrung oder auch einiger weniger Bohrungen, die den Strukturtop eines Salzstocks durchteufen, können keine Rückschlüsse auf die Mächtigkeit des Gipshuts auf der gesamten Fläche der Struktur gezogen werden. Auch ist, je nach Qualität der Dokumentation der Bohrung und abhängig vom Bohrverfahren, häufig keine Aussage dahingehend möglich, in welchem Winkel die Bohrung eine Schicht trifft, und daher möglicherweise eine Aussage über die Mächtigkeit einer erbohrten Gesteinseinheit mit Unsicherheiten behaftet. Dennoch hätte unter sicherheitsgerichteten Erwägungen auch auf Grund von Informationen über das Vorliegen eines Gipshuts die Salzschwebe mit einem entsprechenden Abstand zum Strukturtop angesetzt werden können, zumal ohne gezielte Erkundung auch im nächsten Arbeitsschritt keine Verbesserung der Datenlage hinsichtlich des Internbaus der Salinarstrukturen zu erwarten ist, diese Ungewissheit also im weiteren Verfahren zunächst tradiert werden muss.

Die BGE verzichtet auf die Berücksichtigung dieser Informationen und führt „keine Einzelfallbetrachtung“ (BGE 2020e) durch. Stattdessen „erstreckt sich die Salzschwebe in dieser Phase zwischen der Oberfläche des Salzdiapirs (inklusive Hutgestein sofern vorhanden) und dem potentiellen ewG“ (BGE 2020e). Es wird weiter festgehalten, „mit Sicherstellung von 300 m Salzschwebe“ seien „auch 300 m Abstand der Oberfläche des Salzdiapirs zur Geländeoberkante (GOK) gewährleistet“.

Das Vorgehen der BGE, die Daten der Bohrungen zur Ausweisung einer Salzschwebe nicht heranzuziehen, ist aus Sicht der Autoren für diesen ersten Schritt im Sinne einer ersten generischen Einschätzung vertretbar. Im weiteren Verfahren sollte jedoch die Salzschwebe erst unterhalb der Anhydritvorkommen bzw. ab Auftreten von Salzgestein angesetzt werden; solange keine standortspezifischen Daten vorliegen, sollte ein Sicherheitsabstand von mehreren Dekametern zwischen dem Strukturtop und der Hangendgrenze der berücksichtigten Salzschwebe angesetzt werden.

Hinsichtlich der Tiefenlage der Salzstöcke widersprechen Literaturangaben vielfach den Ergebnissen der BGE. Dabei ist zu beachten, dass die Tiefenangaben der BGE für Teilgebiete die Salzschwebe bereits berücksichtigen und deshalb die Teufenlage jeweils 300 m unter dem höchsten Punkt des Strukturtops des Gesamtgebiets ansetzen.

Nach Jaritz (1983) befindet sich „der höchste Teil der Salzstockoberflächen“ der identifizierten Teilgebietssegmente im Landkreis Rotenburg (Wümme) in einer Tiefe wie in Tabelle 5-5 dargestellt. Demnach liegt der höchste Punkt der Salzstockoberfläche beispielsweise bei Brümmerhof (032) gemäß BGR (2016) und Jaritz (1983) 155 m oberhalb des im Teilgebiets-Steckbrief (BGE 2020t) angegebenen Wertes.

Für den Salzstock Stemmen (034) wird der höchste Punkt der Salzstockoberfläche laut Jaritz (1983) bei ca. 300 m u. NN gemessen, was 339 m unter GOK entspricht und damit etwa 50 m oberhalb der Tiefenangabe im Steckbrief zum Teilgebiet 034 (BGE 2020v) liegt.

Darüber hinaus führen Kockel und Krull (1995) aus, dass bei den Salinaren Taaken (033) und Stemmen (034) mehrere „höchste Punkte“ in unterschiedlichen Tiefen festgestellt werden konnten. Allerdings bezieht sich der Datensatz zu Stemmen in dieser Quelle auf das gesamte Teilgebiet. In diesem Fall ist unklar, inwieweit die Daten für das Teilgebietssegment, das im Landkreis Rotenburg (Wümme) liegt – also Stemmen – gültig sind.

Tabelle 5-5: Höchster Punkt der Salzstockoberfläche (Angaben verschiedener Datenquellen)

Teilgebietssegment	Höchster Punkt der Salzstockoberfläche [m unter NN]		
	(BGR 2016)	(Jaritz 1983)	(Kockel und Krull 1995)
Brümmerhof (032)	120	Ca. 120	k.A.
Taaken (033)	200	Ca. 300	200 und 250*
Scheeßel (033)	700	Ca. 800	k.A.
Ostervesede (033)	300	Ca. 400	k.A.
Stemmen (034)	600	Ca. 300	600*^
Bevern (063)	961	Ca. 970	k.A.
Basdahl (068)	900	Ca. 1000	k.A.
Armstorf (068)	1000	Ca. 1000	k.A.

* es konnten mehrere höchste Punkte des Salzdiapirs festgestellt werden

^ bezieht sich auf das vollständige Teilgebiet

Quelle: eigene Zusammenstellung mit Daten aus (Jaritz 1983; Frisch und Kockel 2004; BGR 2016)

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 den mittlerweile veröffentlichten 3D-Modellen auch dargestellt werden, welche Eingangsdaten zur Darstellung der Salzstöcke im Modell verwendet wurden und inwieweit diese Daten aktuell sind und durch die BGE vor der Anwendung der Modelle überprüft wurden. Bei Abweichungen der Angaben zur *Minimalen Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* des von der BGE verwendeten Modells im Vergleich zu den aus anderen Quellen vorliegenden Angaben sollte geprüft werden, inwieweit das Modell auf die realen Daten angepasst werden muss und sich so neue Angaben für die Tiefenlage des Strukturtops ergeben.

Fläche des Endlagers

Das Vorgehen bei der Anwendung der Mindestanforderung *Fläche des Endlagers* vernachlässigt, wie generell die derzeitige Anwendung der Mindestanforderungen, den komplexen Internbau von Salinaren. Für die Ausweisung von Teilgebieten auch im Landkreis Rotenburg (Wümme) kann es aber für Schritt 1 in Phase 1 des Standortauswahlverfahrens als ausreichend angesehen werden.

Erhalt der Barrierewirkung

Das Vorgehen bei der Anwendung der Mindestanforderung *Erhalt der Barrierewirkung* kann insofern als plausibel angesehen werden, als dass die Barrierewirkung derzeit nur generisch bewertet werden kann. Auch für die Teilgebiete im Landkreis Rotenburg (Wümme) erfolgte aufgrund fehlender Informationen keine standortspezifische Betrachtung. 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 beispielsweise dazu herangezogen werden. Die Anforderung ist wesentlich für das Ziel einer sicheren Endlagerung und beinhaltet die Herausforderung zu einer sehr umfassenden Kenntnis des späteren Standorts zu kommen.

6 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien

Die identifizierten Gebiete, d. h. alle Teile des Bundesgebiets, auf die kein Ausschlusskriterium zutrifft, in denen geeignete Wirtsgesteine vorkommen und die darüber hinaus alle Mindestanforderungen erfüllen, werden mit Hilfe geowissenschaftlicher Abwägungskriterien dahingehend bewertet, ob sie gemäß § 13 Abs. 1 StandAG (2017) „günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen“. Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sind jeweils mit Indikatoren unterlegt, die zur Bewertung heranzuziehen sind. Eine Bewertung sowohl der Indikatoren als auch des jeweiligen Kriteriums erfolgt als günstig, bedingt günstig und weniger günstig/ungünstig (Bezeichnung im StandAG) bzw. nicht günstig (Bezeichnung gemäß Umsetzung der BGE).

Für die Bewertung der Abwägungskriterien werden also detaillierte, standortspezifische Informationen benötigt, die in der Regel für die untersuchten identifizierten Gebiete nicht oder nur unvollständig vorliegen. Zum jetzigen Stand des Verfahrens führt die Anwendung der Abwägungskriterien auf einzelne identifizierte Gebiete deshalb noch nicht zu gebietsspezifischen Bewertungen. Um die Bewertung dennoch vornehmen zu können, greift die BGE für bestimmte Kriterien auf Referenzdatensätze zurück. Dabei werden die bewertungsrelevanten Eigenschaften der betrachteten Gesteinstypen anhand verfügbarer Informationen beschrieben und die Bandbreite an Werten, die die jeweiligen Indikatoren annehmen können, mit Hilfe von Literaturdaten festgelegt.

Die Bewertung von Kriterien mittels Referenzdaten erfolgte also für alle Teilgebiete eines Wirtsgesteinstyps jeweils identisch. 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 BGE hält fest, dass „bei wenig, keinen oder nicht eindeutigen Daten [...] stets von einer tendenziell günstigen Annahme ausgegangen“ wird (BGE 2020j). Auf diese Weise soll vermieden werden, im ersten Verfahrensschritt auf Grund einer schlechten Datenlage schon Gebiete auszuschließen, die sich als geeignet erweisen könnten.

Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sind:

1. Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im ewG: Dieses Kriterium dient der Bewertung eines möglichen Transports von Schadstoffen aus dem Endlager durch Grundwasser.
2. Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper: Das Einschlussvermögen der Gesteine, die den ewG aufbauen, soll mittels Modellrechnungen abgeleitet werden. Solange die dazu benötigten Detailinformationen nicht vorliegen, werden fünf Indikatoren zur Bewertung herangezogen (StandAG 2017 Anlage 2).
3. Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit: Das Kriterium dient der Bewertung, wie gut sich die relevanten Eigenschaften der Gesteine in einem betrachteten Raum ermitteln lassen. Darüber hinaus wird die Übertragbarkeit dieser Eigenschaften auf den ewG und seine Umgebung beurteilt.
4. Kriterium zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse: Mit diesem Kriterium wird beurteilt, inwieweit sich wesentliche sicherheitsrelevante Merkmale der Gesteine, in denen der ewG ausgewiesen werden soll, in der Vergangenheit verändert haben und solche Änderungen auch in der Zukunft zu erwarten sind.

5. Kriterium zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften: Durch die Errichtung eines Endlagerbergwerks sollen im Gestein keine zusätzlichen Wegsamkeiten entstehen, durch die später Schadstoffe aus dem Endlager entweichen können.
6. Kriterium zur Bewertung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten: Mit diesem Kriterium soll beurteilt werden, wie leicht das Gestein im ewG Risse bildet, und ob solche Risse durch das Gestein selbst, beispielsweise durch duktile Verformung, wieder verschlossen werden.
7. Kriterium zur Bewertung der Gasbildung: Die Entstehung von Gasen im Endlager soll möglichst vermieden werden. Zur Beurteilung wird das Wasserangebot im Einlagerungsbereich betrachtet.
8. Kriterium zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit: Radioaktive Abfälle geben immer Wärme ab. Durch dieses Kriterium wird beurteilt, ob und in welchem Maße sich dadurch Eigenschaften des Gesteins negativ verändern, beispielsweise durch Festigkeitsverlust.
9. Kriterium zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich: Es soll beurteilt werden, wie gut das Gestein im ewG geeignet ist, über lange Zeiträume radioaktive Stoffe zurückzuhalten. Dazu werden verschiedene Eigenschaften des Gesteins und des Grundwassers im ewG betrachtet.
10. Kriterium zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse: Die chemischen Eigenschaften des Grundwassers und der Gesteine im ewG sollen nicht nur vor der Einlagerung, sondern auch nach Verschluss des Bergwerks langfristig zur Zurückhaltung der Schadstoffe im Endlager beitragen.
11. Kriterium zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge: Das Deckgebirge, also die Gesteinsschichten, die das Wirtsgestein überlagern, soll langfristig Schutz gegen Erosion und das Eindringen von Grundwasser bieten.

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). Die Anwendung dieser gebietsspezifisch bewerteten Kriterien durch die BGE auf die hier betrachteten Teilgebiete bzw. Teilgebietssegmente im Landkreis Rotenburg (Wümme) wird in Kap. 6.2 erläutert. Die fachliche Bewertung dieser Anwendung wird in Kapitel 6.3 dargestellt.

6.1 Abwägungskriterien und deren Anwendung

Im Folgenden werden die elf geowissenschaftlichen Abwägungskriterien und deren Anwendung durch die BGE näher erläutert.

6.1.1 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. Als Indikatoren wurden die Parameter *Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers*, *Charakteristische*

Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps, Charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient des Gesteinstyps für tritiiertes Wasser (HTO) bei 25 °C, Absolute Porosität und Verfestigungsgrad herangezogen. Die Indikatoren *Absolute Porosität* und *Verfestigungsgrad* finden nur für Tongestein Anwendung.

Zur Bewertung des Indikators *Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers* wurden allgemeine Materialeigenschaften des Wirtsgesteins Steinsalz herangezogen. Er 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 Gebirgsdurchlässigkeit 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. Er wurde ebenfalls als günstig eingestuft.

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. Aufgrund der geringen Porosität von Steinsalz wird von einer „sehr geringen Diffusionsgeschwindigkeit“ (BGE 2020j) ausgegangen und der Indikator für Steinsalz mit günstig bewertet. In der Gesamtbewertung ist dieses Kriterium entsprechend günstig.

6.1.2 Kriterium 2 zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper

Das Kriterium zur *Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper* wird anhand gebietspezifischer Daten für die Salzstöcke anhand der Indikatoren *Barrierenmächtigkeit, Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich, Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* und *Flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit* bewertet (siehe Kap. 5.1). Der Indikator 5 – *Vorhandensein von Gesteinschichten mit hydraulischen Eigenschaften und hydraulischem Potenzial, die die Induzierung beziehungsweise Verstärkung der Grundwasserbewegung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich ermöglichen können* – findet nur für Teilgebiete in Tongestein Anwendung.

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. Bei Salinaren wird zum jetzigen Zeitpunkt vorausgesetzt, dass „das Wirtsgestein sicherheitsrelevanter Bestandteil des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches ist“ und deswegen wird „davon ausgegangen, dass der Einlagerungsbereich in jedem Fall von einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich umschlossen wird“ und der Indikator generell als günstig bewertet (BGE 2020t; 2020u; 2020v; 2020w; 2020x).

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.

6.1.3 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. Die Gesteinsausbildung, das Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit, die Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich sowie die räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften dienen hierbei als Indikatoren.

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 Internbautyp²¹ der Doppelsalinare bestimmt, „um den Anteil an Zechstein im Doppelsalinar abzuschätzen“ (BGE 2020k). Grundlage dafür sind die Definitionen des Projekts InSpEE-DS²². 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.

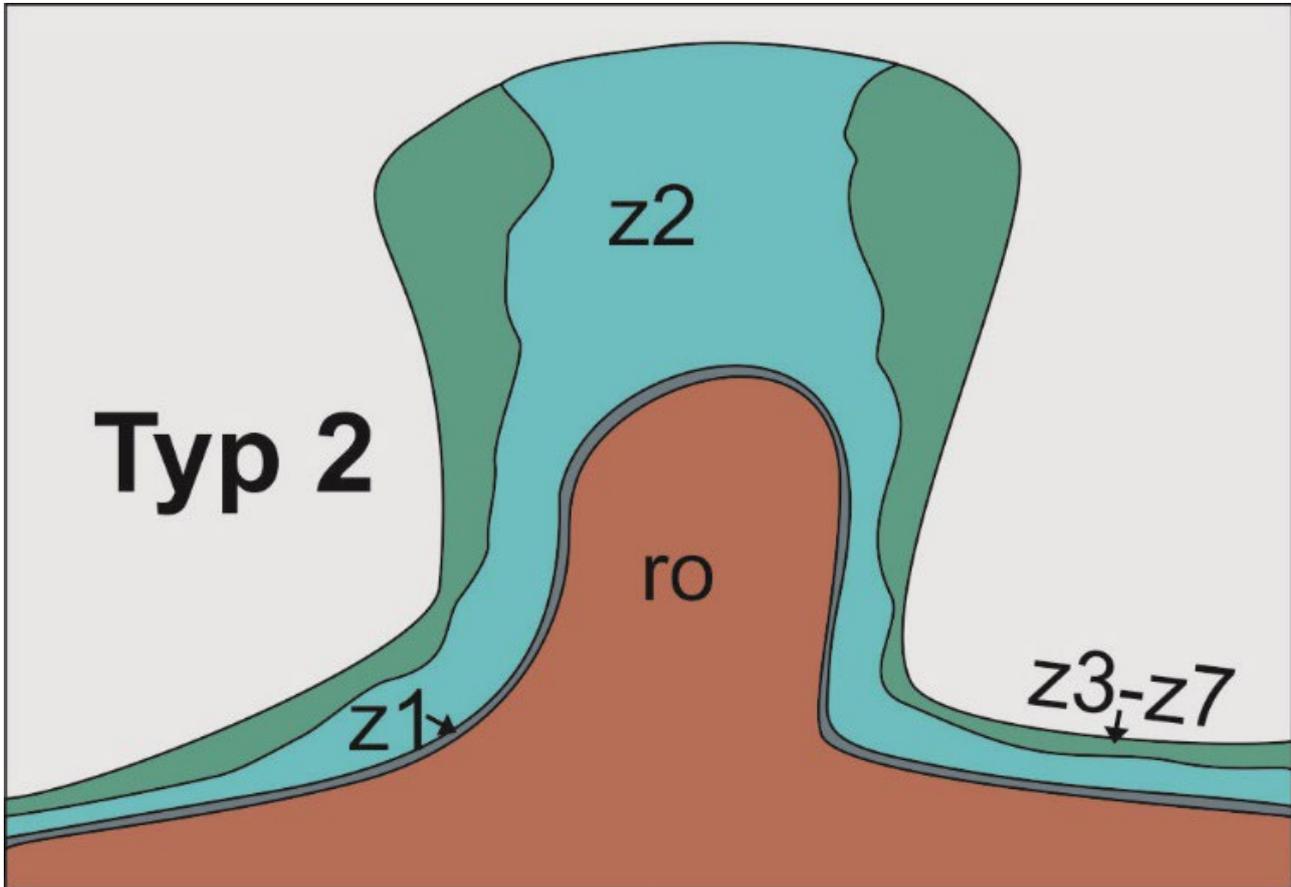
Für Zechsteinsalinare und Doppelsalinare mit Internbautyp 2 (Abbildung 6-1) wurden die Indikatoren *Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich*, *Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich* und *ihrer Eigenschaften* und *Gesteinsausbildung* als günstig bewertet. Für Doppelsalinare der Internbautypen 1 und 3 wurden diese drei Indikatoren grundsätzlich als „bedingt günstig“ bewertet (BGE 2020k).

²¹ siehe Tabelle 5-3

²² Vorhaben: „Informationssystem Salz: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzungen für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) – Doppelsalinare und flach lagernde Salzsichten (InSpEE-DS)“, abrufbar unter https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Nutzung_tieferer_Untergrund_CO2Speicherung/Projekte/Nutzungspotenziale/Abgeschlossen/InSpEEDS.html

Der Indikator *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* wurde für Steinsalz in steiler Lagerung grundsätzlich als bedingt günstig bewertet, da der Salzdiapirismus als tektonischer Prozess selbst zur Überprägung²³ der beteiligten Gesteine führt (BGE 2020k).

Abbildung 6-1: 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 Salzschichten. „Die Salzstrukturen des Internbautyps 2 weisen Zechsteinsalinar am Top und eine aufgewölbte Zechstein-Basis im Wurzelbereich auf, die für mobilisiertes Rotliegendesalinar spricht“ (Fleig und Röhling 2020).

6.1.4 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

²³ Als Überprägung wird die Veränderung von Gesteinen durch tektonische Prozesse bezeichnet. Diese Veränderungen reichen von der Änderung der ursprünglichen Lagerungsverhältnisse eines Gesteins durch Verstellung oder Faltung bis zur teilweisen Aufschmelzung und Umkristallisation (Anatexis) unter Einfluss von Druck und Temperatur während tektonischer Beanspruchung.

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.

Alle Indikatoren des Kriteriums und entsprechend auch das Kriterium selbst werden als günstig bewertet (BGE 2020j).

6.1.5 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 Permeabilität²⁴ 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. 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.

²⁴ Als Permeabilität bezeichnet man die Durchlässigkeit der Struktur für andere Stoffe wie z.B. Gase oder Flüssigkeiten.

6.1.6 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 unverritz betrachtet (BGE 2020j). Für Steinsalz in steiler Lagerung wird der Indikator mit 1 angegeben und damit mit günstig bewertet, 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 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. Laut StandAG ist ein Wirtsgesteinstyp als günstig einzustufen, wenn dieser „anhand eines oder mehrerer Erfahrungsbereiche als gering durchlässig oder geologisch dicht identifiziert wird und dies auch unter geogener oder technogener²⁵ Beanspruchung der Fall ist“ (BGE 2020j). Nach Anlage 6 zu § 24 Abs. 4 StandAG wird der Indikator mit Hilfe von sieben Erfahrungsbereichen bewertet, von denen die BGE drei als erfüllt ansieht. Da Salzformationen laut (BGE 2020j) damit „mehrere dieser Erfahrungsbereiche“ erfüllen, werden sie folglich für diesen Indikator standortunabhängig in die Wertungsgruppe günstig eingeordnet.

Der Indikator *Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Risssschließung* wird anhand von Materialeigenschaften des Wirtsgesteins bewertet. Ausgehend von der Feststellung, dass „für eine genaue Bewertung der Fragestellung Angaben erforderlich sind, die erst im späteren Rahmen der Endlagerplanung vorliegen können“ (BGE 2020j), wird in Phase 1 des Standortauswahlverfahrens vorerst eine qualitative Einschätzung des Gesteinsverhaltens, basierend auf den bisher im Bergbau und der Forschung gemachten Erfahrungen, angewendet. Aufgrund dieser Erfahrungswerte werden die viskosen Eigenschaften von Salzgesteinen hervorgehoben, durch die Klüfte im Gestein verheilen können. Die BGE folgt damit (Lux und Eberth 2002a) in ihrer Einschätzung, dass die „Sekundärpermeabilität signifikant reduziert“ wird und bewertet deshalb diesen Indikator für Steinsalz in steiler Lagerung grundsätzlich mit günstig.

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.

Alle Indikatoren und das Kriterium wurden als günstig bewertet.

²⁵ Unter geogener Beanspruchung ist der Einfluss von Kräften zu verstehen, die durch geologische Prozesse, bspw. Senkung oder Hebung der Erdkruste durch Eisbedeckung während Kaltzeiten, wirken können. Technogene, also durch den Einsatz von Technik durch Menschen verursachte Beanspruchungen können insbesondere während der Errichtung und des Betriebs des Endlagerbergwerks entstehen.

6.1.7 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 darin 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 2020f) 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. 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 für die Phase 1 des Standortauswahlverfahrens zunächst als günstig bewertet.

6.1.8 Kriterium 8 zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit

Durch Temperaturerhöhung im Wirtsgestein aufgrund der 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. 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.

6.1.9 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.

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). Nach jetzigem Kenntnisstand gibt es wenige experimentelle Untersuchungen zur Sorption der genannten Radionuklide im Steinsalz. Mehrere Literaturquellen attestieren dem Wirtsgestein Steinsalz eine „sehr geringe“ bis „nicht signifikante“ Sorption (BGE 2020j), weshalb der Indikator „Sorptionskoeffizienten für die betreffenden langzeitrelevanten Radionuklide“ als weniger günstig eingestuft wurde. Darüber hinaus sind in homogenem Steinsalz keine großen Mengen an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche wie Tonminerale und Eisen- und Mangan-Hydroxide und -Oxihydrate zu erwarten (BGE 2020j). Zwar kann im Oberrotliegenden ein hoher Tonanteil vorausgesetzt werden, aber da der Einlagerungsbereich in möglichst reinem, homogenem Steinsalz realisiert wird, kommt auch hier die Sorptionsfähigkeit des Tongesteins nicht zum Tragen.

Als nicht günstig wird der Indikator *Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche* bewertet. Möglichst reines Steinsalz besteht hauptsächlich aus dem Mineral Halit, welches nicht zu den Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche zählt. 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 Grundwasser 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.

Obwohl im Steinsalz eine hohe Ionenstärke angenommen werden kann und davon ausgegangen wird, „dass keine Poren mit Öffnungsweiten größer als im Nanometerbereich vorhanden sind“ (BGE 2020j), erfolgt die Gesamtbewertung für dieses Kriterium mit nicht günstig.

6.1.10 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.

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.

Die Gesamtbewertung des Kriteriums erfolgt mit nicht günstig.

6.1.11 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 gebietspezifischer 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 Kapitel 4 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.

6.2 Anwendung der Abwägungskriterien durch die BGE für die Teilgebiete im Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme)

Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 10 wurden für alle identifizierten Gebiete in Zechsteinsalinaren oder Doppelsalinaren auf Grundlage eines Referenzdatensatzes bewertet. Die Bewertung erfolgte entsprechend jeweils identisch für das Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung. Die Kriterien 2 (Konfiguration), 3 (Charakterisierbarkeit) und 11 (Deckgebirge) wurden teilgebietsspezifisch bewertet.

Der Referenzdatensatz für Gebiete in Steinsalz in steiler Lagerung ist im Wesentlichen auf allgemeinen Informationen zu Salinargesteinen aufgebaut. Entsprechend ist die Bewertung nicht spezifisch auf Daten zu den verschiedenen Steinsalzvorkommen in Niedersachsen oder dem Landkreis Rotenburg (Wümme) im Speziellen abgestützt.

Die Beurteilung von acht der elf geowissenschaftlichen Abwägungskriterien mittels Referenzdaten ist in den folgenden Kapiteln zu den einzelnen Teilgebieten und Teilgebietensegmenten im Landkreis Rotenburg (Wümme) jeweils kurz angesprochen, der Schwerpunkt liegt jedoch auf den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien, die jeweils eine individuelle Bewertung anhand gebietsspezifischer Daten oder Fachliteratur durch die BGE erfahren haben. Abschließend erfolgt zu jedem Teilgebiet bzw. Teilgebietensegment eine Einordnung aller Abwägungskriterien in einem Fazit.

6.2.1 Teilgebiet Brümmerhof (032_00TG_051_00IG_S_s_z)

Beim Teilgebiet Brümmerhof (032) handelt es sich um ein Zechsteinsalinar, welches vollständig innerhalb der Kreisgrenzen des Landkreises Rotenburg (Wümme) liegt. Zur Entstehung von Salinaren siehe Kapitel 2.

Das Teilgebiet wird an den Rändern von Teilgebiet 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg überlagert (siehe Abbildung 6-2). Am östlichen Rand des Teilgebiets ist eine im Rahmen der Anwendung der Ausschlusskriterien berücksichtigte Bohrung zuzüglich eines Radius' von 25 m um den Bohransatzpunkt als ausgeschlossenes Gebiet (siehe hierzu Kap.4.1.3) verzeichnet.

Abbildung 6-2: Überlagerung der TG 032 und 004 sowie ausgeschlossenes Gebiet innerhalb des TG 032



Legende:

- Tertiäres Tongestein (TG 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg)
- Steinsalz in steiler Lagerung (TG 032_00TG_051_00IG_S_s_z)

Quelle: Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete

Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anhand von Referenzdaten

Die Bewertung auf Grundlage des Referenzdatensatzes ist nicht spezifisch auf Daten zu Steinsalz in steiler Lagerung in Niedersachsen abgestützt und hat dementsprechend auch keinen konkreten Bezug zu Gesteinsvorkommen auf dem Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme). Die Abwägungskriterien 1, 4, 5, 6, 7 und 8 wurden als günstig, die Abwägungskriterien 9 und 10 als nicht günstig bewertet (siehe hierzu Kap. 6.1).

Individuelle Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anhand gebietsspezifischer Daten oder Fachliteratur

Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 2, 3 und 11 wurden individuell bewertet (BGE 2020t). Dazu wurden jeweils gebietsspezifische Daten oder Fachliteratur herangezogen. Diese Bewertung bezieht sich jeweils auf das gesamte Teilgebiet.

Kriterium 2 zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper

Die *Konfiguration der Gesteinskörper* wurde für das Teilgebiet Brümmerhof (032) als „bedingt günstig“ eingestuft (BGE 2020t). Insgesamt wurden für dieses Kriterium vier Indikatoren bewertet: die *Barrierenmächtigkeit*, der *Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich*, die *Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* und die *flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit*. Die *Barrierenmächtigkeit* wird mit günstig bewertet, da bei der vorliegenden maximalen Mächtigkeit von 890 m eine Fläche von 6,4 km² mit einer Mächtigkeit von mindestens 300 m ausgewiesen werden kann. Als Mindestflächenbedarf werden, wie in Kapitel 5 ausgeführt, 3 km² bei einer günstigen Barrieregesteinsmächtigkeit von 300 m angenommen.

Der Indikator *Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich* wurde für das Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung übergreifend als günstig bewertet (vgl. hierzu Kap. 6.1.2). Zur Bewertung der *Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wird davon ausgegangen, dass innerhalb des identifizierten Gebietes, welches zwischen 600 und 1500 m unter GOK liegt, potentiell ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich mit einer Mächtigkeit von 100 m und einer Teufe größer 500 m unter GOK ermittelt werden kann (Bewertung des Indikators als günstig). Der Indikator *Flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit* wird als bedingt günstig eingestuft, da die Fläche des identifizierten Gebietes mit 6,4 km² nur knapp oberhalb des doppelten angenommenen Flächenbedarfs für einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich liegt.

Da dem Kriterium 2 „aufgrund der Datenlage zum jetzigen Zeitpunkt eine besondere Bedeutung“ (BGE 2020t) zugeschrieben wurde, orientiert sich die Gesamtbewertung des Kriteriums an der jeweils schlechtesten Bewertung der Indikatoren.

Kriterium 3 zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit

Für die Anwendung des Kriteriums der *räumlichen Charakterisierbarkeit* wurden laut Kompaktsteckbrief zum Teilgebiet 032 (BGE 2020p) individuelle Bewertungen für jedes identifizierte Gebiet von der BGE vorgenommen, die sich auf vier Indikatoren stützen. Entgegen dieser Aussage erfolgte die Bewertung übergreifend anhand von Fachliteratur zu Zechsteinsalzstrukturen in steiler Lagerung allgemein – ohne konkreten Bezug zu dem vorliegenden Salzsteinvorkommen. Eine individuelle Bewertung ist nicht zu erkennen.

Auf Basis der Fachliteratur werden drei der Indikatoren – *Gesteinsausbildung*, *Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich* und *Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften* – ausgehend von der Annahme, dass insbesondere die Staßfurt-Formation des Zechsteins einen homogenen, regional einheitlichen Aufbau mit nahezu monomineralischem Charakter aufweist, pauschal als günstig bewertet.

Ebenso führten Erkenntnisse aus der Fachliteratur zur Bewertung des Indikators *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* für steilstehende Salzstrukturen zu einer pauschalen Einordnung als bedingt günstig. Die Entstehung einer steilstehenden Salzstruktur, wie sie u.a. bei Brümmerhof vorliegt, ist ein tektonischer Prozess, der in aller Regel mit einer Überprägung des ursprünglichen Gesteinsverbandes, mit Verfaltung, bruchhaftem Versatz, Klüftung etc. der beteiligten Gesteine einhergeht. Aufgrund der duktilen mechanischen Eigenschaften von Salzgestein nimmt die BGE bei der Bewertung des Indikators *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* ausgehend von der ausgewerteten Fachliteratur an, dass sich die äußere Tektonik nicht in

das Innere der Salzstruktur fortsetzt und keine Zerblockung des Gesteins zu erwarten ist. Die Bewertung dieses Indikators ging nicht in die Gesamtbewertung des Kriteriums ein, „da die Anzahl der Bewertungen mit „günstig“ höher ist als die Anzahl der Bewertungen mit „bedingt günstig“ (BGE 2020t). Begründung hierfür ist die fehlende „Differenzierung in der Bewertung der verschiedenen identifizierten Gebiete“ (BGE 2020t). Entsprechend wurde Kriterium 3 für Brümmerhof (032) insgesamt als günstig bewertet.

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

Die Bewertung des *Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* erfolgt auf der Grundlage gebietsspezifischer Daten und erfolgt für Brümmerhof (032) als bedingt günstig. Es wurden drei Indikatoren gebietsspezifisch betrachtet. Die Gesamtbewertung des Kriteriums richtet sich aufgrund der besonderen Bedeutung (BGE 2020t) dieser gebietsspezifischen Betrachtung nach der schlechtesten Bewertung der Indikatoren. Das Teilgebiet befindet sich in einer Tiefe von mindestens 600 m unter.

Der Indikator *Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge* wurde aufgrund der mächtigen vollständigen Überdeckung durch potentiell grundwasserhemmende Gesteine (Tertiär oder älter) sowie der Annahme, dass kein Kontakt zwischen Ablagerungen des Quartär und der Salzstruktur vorhanden ist, als günstig bewertet. Auch der Indikator *Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wird auf Grundlage dieser mächtigen Überdeckung als günstig eingestuft, da „Gesteine des Tertiär oder älter“ (BGE 2020t) „als potentiell erosionshemmend betrachtet werden“ (BGE 2020t).

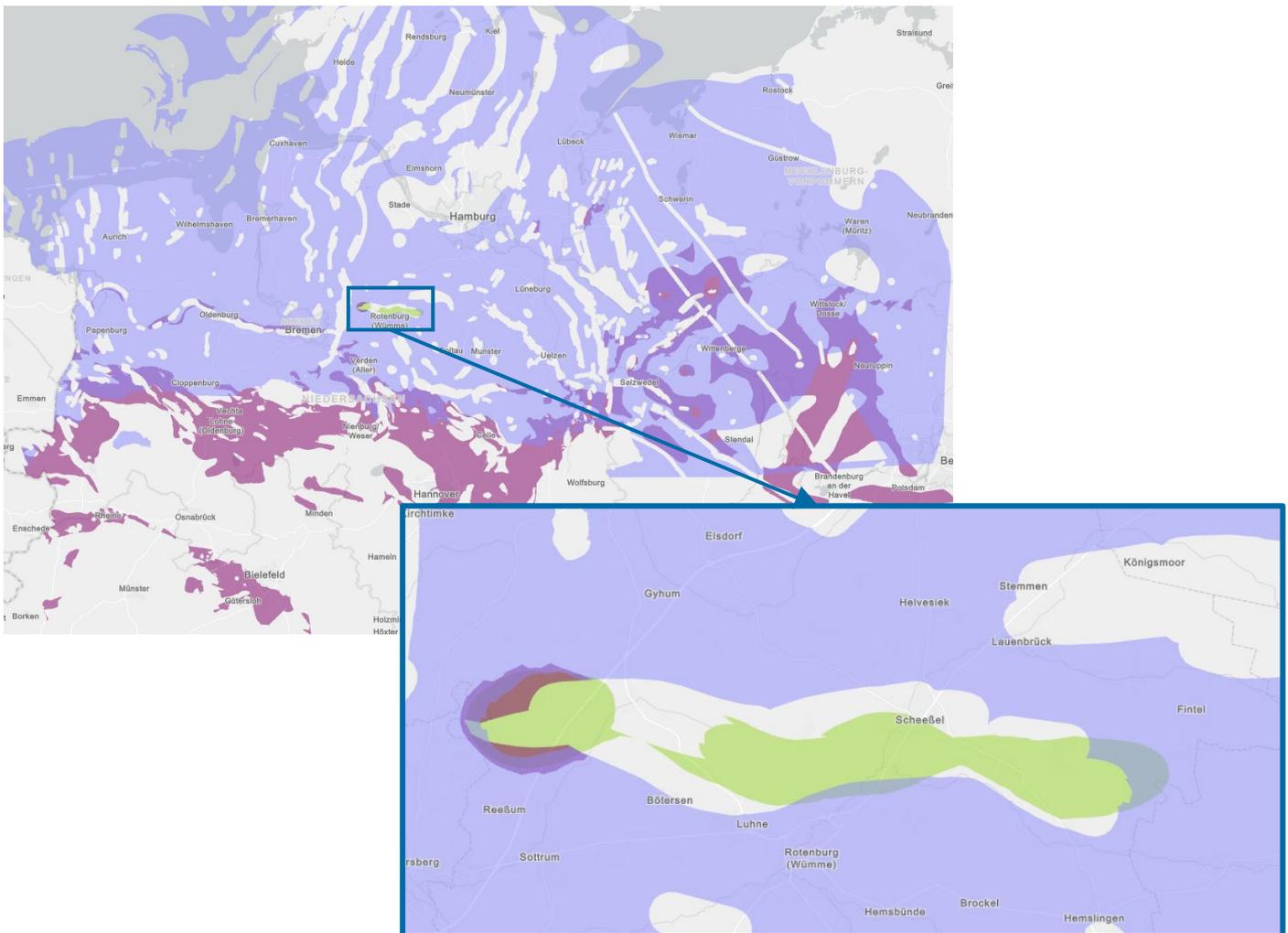
Obwohl Nachweise zu Störungen innerhalb des identifizierten Gebietes vorliegen, nimmt die BGE zum jetzigen Zeitpunkt im Verfahren keine hydraulische Wirksamkeit auf das identifizierte Gebiet an und bewertet den Indikator *Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten* entsprechend Anlage 11 zu § 24 Absatz 5 StandAG mit bedingt günstig.

6.2.2 Teilgebiet Taaken/Scheeßel/Ostervesede (033_00TG_052_00IG_S_s_z)

Beim Teilgebiet Taaken (033) handelt es sich um ein Zechsteinsalinar, welches vollständig innerhalb der Kreisgrenzen des Landkreises Rotenburg (Wümme) liegt. Zur Entstehung von Salinaren siehe Kapitel 2.

Das Teilgebiet 033 wird von Tongesteinen der Teilgebiete 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg und im Westen zusätzlich von Teilgebiet 007_00TG_202_02IG_T_f_kru überlagert (siehe Abbildung 6-3). Ausgeschlossen sind die im Bereich des Teilgebietes 033 aktiven Störungszonen (siehe Tabelle 4-1) sowie Bohrungen (siehe Tabelle 4-2 und Tabelle 5-4).

Abbildung 6-3: Überlagerung der TG 033, 004 und 007



- Legende:
- Tertiäres Tongestein (004_00TG_053_00IG_T_f_tpg)
 - Prätertiäres Tongestein (007_00TG_202_02IG_T_f_kru)
 - Steinsalz in steiler Lagerung (033_00TG_052_00IG_S_s_z)

Quelle: Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete

Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anhand von Referenzdaten

Die Bewertung auf Grundlage des Referenzdatensatzes ist nicht spezifisch auf Daten zu Steinsalz in steiler Lagerung in Niedersachsen abgestützt und hat dementsprechend auch keinen konkreten Bezug zu Gesteinsvorkommen auf dem Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme). Die Abwägungskriterien 1, 4, 5, 6, 7 und 8 wurden als günstig, die Abwägungskriterien 9 und 10 als nicht günstig bewertet (siehe hierzu Kap. 6.1).

Individuelle Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anhand gebietspezifischer Daten oder Fachliteratur

Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 2, 3 und 11 wurden individuell bewertet (BGE 2020u). Dazu wurden jeweils gebietspezifische Daten oder Fachliteratur herangezogen. Diese

Bewertung wurde für das gesamte Teilgebiet einheitlich vorgenommen und unterscheidet nicht zwischen den Teilgebietssegmenten Taaken, Scheeßel und Ostervesede.

Kriterium 2 zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper

Zur Bewertung der *Konfiguration der Gesteinskörper* wurden vier Indikatoren untersucht: Die *Barrierenmächtigkeit der Struktur*, der *Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich*, die *Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* sowie die *flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit*.

Die *Barrierenmächtigkeit* der Struktur wird mit günstig bewertet, da innerhalb der maximalen Mächtigkeit der Struktur von 970 m eine Fläche von 42,1 km² mit einer Mindestmächtigkeit von 300 m ausgewiesen werden kann und so der angenommene Mindestflächenbedarf von 3 km² bei einer günstigen Barrieregesteinsmächtigkeit von 300 m gedeckt ist. Der Indikator *Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich* wurde für das Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung übergreifend als günstig bewertet (vgl. hierzu Kap. 6.1.2).

Zur Bewertung der *Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wird davon ausgegangen, dass innerhalb des identifizierten Gebietes, welches zwischen 530 und 1500 m unter GOK liegt, potentiell ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich mit einer Mächtigkeit von 100 m und einer Teufe größer 500 m unter GOK ermittelt werden kann (Bewertung des Indikators als günstig). Der Indikator *Flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit* wird ebenfalls als günstig eingestuft, da die Fläche des identifizierten Gebietes mit 85 km² deutlich oberhalb des doppelten angenommenen Flächenbedarfs für einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich liegt (BGE 2020u).

Da dem Kriterium 2 „aufgrund der Datenlage zum jetzigen Zeitpunkt eine besondere Bedeutung“ (BGE 2020u) zugeschrieben wurde, orientiert sich die Gesamtbewertung des Kriteriums an der jeweils schlechtesten Bewertung der Indikatoren. Hier sind alle Indikatoren als günstig eingestuft, und damit wird das Kriterium 2 als günstig bewertet.

Kriterium 3 zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit

Für die Anwendung des Kriteriums der *räumlichen Charakterisierbarkeit* wurden laut Kompaktsteckbrief zum Teilgebiet 033 (BGE 2020n) individuelle Bewertungen für jedes identifizierte Gebiet von der BGE vorgenommen, die sich auf vier Indikatoren stützen. Entgegen dieser Aussage erfolgte die Bewertung übergreifend anhand von Fachliteratur zu Zechsteinsalzstrukturen in steiler Lagerung allgemein – ohne konkreten Bezug zu dem vorliegenden Salzsteinvorkommen. Eine individuelle Bewertung ist nicht zu erkennen.

Auf Basis der Fachliteratur werden drei der Indikatoren –*Gesteinsausbildung*, *Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich* und *Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften* – ausgehend von der Annahme, dass insbesondere die Staßfurt-Formation des Zechsteins einen homogenen, regional einheitlichen Aufbau mit nahezu monomineralischem Charakter aufweist, pauschal als günstig bewertet.

Ebenso führten Erkenntnisse aus der Fachliteratur zur Bewertung des Indikators *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* für steilstehende Salzstrukturen zu einer pauschalen Einordnung als bedingt günstig. Die Entstehung einer steilstehenden Salzstruktur wie des Salzstocks Taaken ist ein tektonischer Prozess, der in aller Regel mit einer Überprägung des ursprünglichen Gesteinsverbandes, mit Verfaltung, bruchhaftem Versatz, Klüftung etc. der beteiligten

Gesteine einhergeht. Aufgrund der duktilen mechanischen Eigenschaften von Salzgestein nimmt die BGE bei der Bewertung des Indikators *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* ausgehend von der ausgewerteten Fachliteratur an, dass sich die äußere Tektonik nicht in das Innere der Salzstruktur fortsetzt und keine Zerblockung des Gesteins zu erwarten ist. Die Bewertung dieses Indikators ging nicht in die Gesamtbewertung des Kriteriums ein, „da die Anzahl der Bewertungen mit „günstig“ höher ist als die Anzahl der Bewertungen mit „bedingt günstig“ (BGE 2020u). Begründung hierfür ist die fehlende „Differenzierung in der Bewertung der verschiedenen identifizierten Gebiete“ (BGE 2020u).

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

Die Bewertung des *Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* erfolgt auf Grundlage gebietsspezifischer Daten und erfolgt für Taaken (033) als bedingt günstig. Es wurden drei Indikatoren gebietsspezifisch betrachtet. Die Gesamtbewertung des Kriteriums richtet sich aufgrund der besonderen Bedeutung (BGE 2020u) dieser gebietsspezifischen Betrachtung nach der schlechtesten Bewertung der Indikatoren. Das Teilgebiet befindet sich in einer Tiefe von mindestens 530 m unter GOK.

Der Indikator *Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge* wurde aufgrund der mächtigen vollständigen Überdeckung durch potentiell grundwasserhemmende Gesteine (Tertiär oder älter) sowie der Annahme, dass kein Kontakt zwischen Ablagerungen des Quartär und der Salzstruktur vorhanden ist, als günstig bewertet. Auch der Indikator *Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wird auf Grundlage dieser mächtigen Überdeckung als günstig eingestuft, da „Gesteine des Tertiär oder älter“ (BGE 2020u) „als potentiell erosionshemmend betrachtet werden“ (BGE 2020u).

Obwohl Nachweise zu Störungen innerhalb des identifizierten Gebietes vorliegen, nimmt die BGE zum jetzigen Zeitpunkt im Verfahren keine hydraulische Wirksamkeit auf das identifizierte Gebiet an und bewertet den 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* entsprechend Anlage 11 zu § 24 Absatz 5 StandAG als bedingt günstig.

6.2.3 Teilgebiet Stemmen/Otter-Todtshorn (034_00TG_054_00IG_S_s_z)

Beim Teilgebiet Stemmen (034) handelt es sich um ein Zechsteinsalinar, dessen westliches Segment (Stemmen) fast vollständig innerhalb der Kreisgrenzen des Landkreises Rotenburg (Wümme) liegt. Zur Entstehung von Salinaren siehe Kapitel 2. Bohrungen oder andere Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit sind im Teilgebietssegment Stemmen nicht verzeichnet.

Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anhand von Referenzdaten

Die Bewertung auf Grundlage des Referenzdatensatzes ist nicht spezifisch auf Daten zu Steinsalz in steiler Lagerung in Niedersachsen abgestützt und hat dementsprechend auch keinen konkreten Bezug zu Gesteinsvorkommen auf dem Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme). Die

Abwägungskriterien 1, 4, 5, 6, 7 und 8 wurden als günstig, die Abwägungskriterien 9 und 10 als nicht günstig bewertet (siehe hierzu Kap. 6.1).

Individuelle Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anhand gebietspezifischer Daten oder Fachliteratur

Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 2, 3 und 11 wurden individuell bewertet (BGE 2020v). Dazu wurden jeweils gebietspezifische Daten oder Fachliteratur herangezogen. Diese Bewertung wurde für das gesamte Teilgebiet vorgenommen; auch die als gebietspezifisch bezeichneten Daten sind demnach nur bedingt aussagekräftig für einzelne Segmente innerhalb des Teilgebiets wie bspw. für das Teilgebietssegment Stemmen im Landkreis Rotenburg (Wümme).

Kriterium 2 zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper

Zur Bewertung der *Konfiguration der Gesteinskörper* wurden vier Indikatoren untersucht: Die *Barrierenmächtigkeit der Struktur*, der *Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich*, die *Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* sowie die *flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit*.

Die *Barrierenmächtigkeit* der Struktur wird als günstig bewertet, da innerhalb der maximalen Mächtigkeit der Struktur mit 810 m eine Fläche von 23,7 km² mit einer Mindestmächtigkeit von 300 m ausgewiesen werden kann und so der angenommene Mindestflächenbedarf von 3 km² bei einer günstigen Barrieregesteinsmächtigkeit von 300 m gedeckt ist. Der Indikator *Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich* wurde für das Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung übergreifend als günstig bewertet (vgl. hierzu Kap. 6.1.2).

Zur Bewertung der *Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wird davon ausgegangen, dass innerhalb des identifizierten Gebietes, welches zwischen 690 und 1500 m unter GOK liegt, potentiell ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich mit einer Mächtigkeit von 100 m und einer Teufe größer 500 m unter GOK ermittelt werden kann (Bewertung des Indikators als günstig). Der Indikator *Flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit* wird ebenfalls als günstig eingestuft, da die Fläche des identifizierten Gebietes mit 52 km² deutlich oberhalb des doppelten angenommenen Flächenbedarfs für einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich liegt.

Da dem Kriterium 2 „aufgrund der Datenlage zum jetzigen Zeitpunkt eine besondere Bedeutung“ (BGE 2020v) zugeschrieben wurde, orientiert sich die Gesamtbewertung des Kriteriums an der jeweils schlechtesten Bewertung der Indikatoren. Hier sind alle Indikatoren als günstig eingestuft, und damit wird das Kriterium 2 als günstig bewertet.

Kriterium 3 zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit

Für die Anwendung des Kriteriums der *räumlichen Charakterisierbarkeit* wurden laut Kompaktsteckbrief zum Teilgebiet 034 (BGE 2020o) von der BGE individuelle Bewertungen für jedes identifizierte Gebiet vorgenommen, die sich auf vier Indikatoren stützen. Entgegen dieser Aussage erfolgte die Bewertung übergreifend anhand von Fachliteratur zu Zechsteinsalzstrukturen in steiler Lagerung allgemein – ohne konkreten Bezug zu dem vorliegenden Salzsteinvorkommen. Eine individuelle Bewertung ist nicht zu erkennen.

Auf Basis der Fachliteratur werden drei der Indikatoren –*Gesteinsausbildung*, *Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich* und *Räumliche Verteilung der Gesteinstypen*

im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften – ausgehend von der Annahme, dass insbesondere die Staßfurt-Formation des Zechsteins einen homogenen, regional einheitlichen Aufbau mit nahezu monomineralischem Charakter aufweist, pauschal als günstig bewertet.

Ebenso führten Erkenntnisse aus der Fachliteratur zur Bewertung des Indikators *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* für steilstehende Salzstrukturen zu einer pauschalen Einordnung als bedingt günstig. Die Entstehung einer steilstehenden Salzstruktur, wie sie u.a. im Teilgebiet Stemmen vorliegt, ist ein tektonischer Prozess, der in aller Regel mit einer Überprägung des ursprünglichen Gesteinsverbandes, mit Verfaltung, bruchhaftem Versatz, Klüftung etc. der beteiligten Gesteine einhergeht. Aufgrund der duktilen mechanischen Eigenschaften von Salzgestein nimmt die BGE bei der Bewertung des Indikators *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* ausgehend von der ausgewerteten Fachliteratur an, dass sich die äußere Tektonik nicht in das Innere der Salzstruktur fortsetzt und keine Zerblockung des Gesteins zu erwarten ist. Die Bewertung dieses Indikators ging nicht in die Gesamtbewertung des Kriteriums ein, „da die Anzahl der Bewertungen mit „günstig“ höher ist als die Anzahl der Bewertungen mit „bedingt günstig“ (BGE 2020v). Begründung hierfür ist die fehlende „Differenzierung in der Bewertung der verschiedenen identifizierten Gebiete“ (BGE 2020v).

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

Die Bewertung des *Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* erfolgt auf Grundlage gebietsspezifischer Daten und erfolgt für Stemmen (034) als bedingt günstig. Es wurden drei Indikatoren gebietsspezifisch betrachtet. Die Gesamtbewertung des Kriteriums richtet sich aufgrund der besonderen Bedeutung (BGE 2020v) dieser gebietsspezifischen Betrachtung nach der schlechtesten Bewertung der Indikatoren. Das Teilgebiet befindet sich in einer Tiefe von mindestens 690 m unter GOK.

Der Indikator *Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge* wurde aufgrund der mächtigen vollständigen Überdeckung durch potentiell grundwasserhemmende Gesteine (Tertiär oder älter) sowie der Annahme, dass kein Kontakt zwischen Ablagerungen des Quartär und der Salzstruktur vorhanden sind, mit günstig bewertet. Auch der Indikator *Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wird auf Grundlage dieser mächtigen Überdeckung als günstig eingestuft, da „Gesteine des Tertiär oder älter“ (BGE 2020v) „als potentiell erosionshemmend betrachtet werden“ (BGE 2020v).

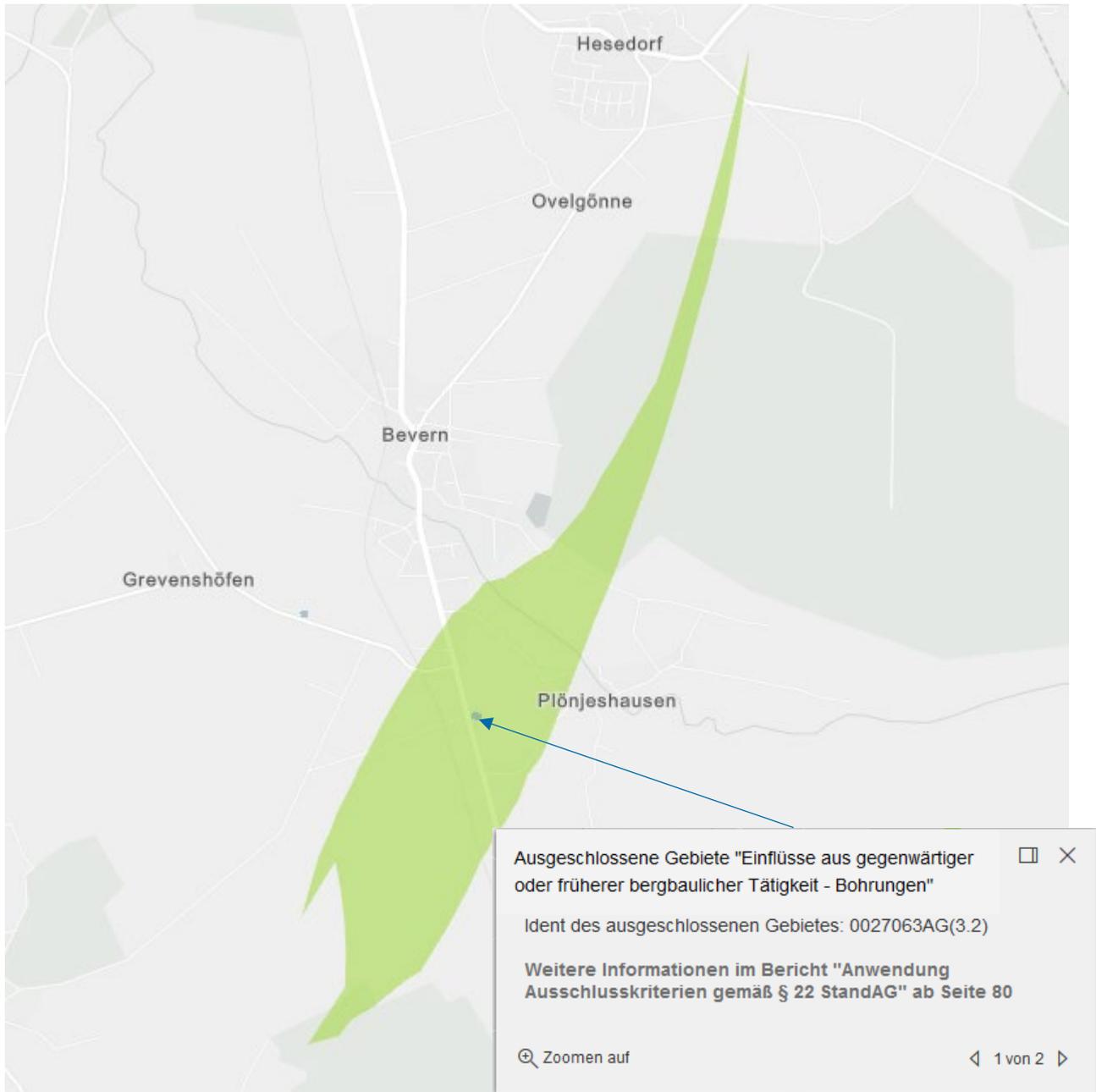
Obwohl Nachweise zu Störungen innerhalb des identifizierten Gebietes vorliegen, nimmt die BGE zum jetzigen Zeitpunkt im Verfahren keine hydraulische Wirksamkeit auf das identifizierte Gebiet an und bewertet den Indikator *Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten* entsprechend Anlage 11 zu § 24 Absatz 5 StandAG als bedingt günstig.

6.2.4 Teilgebiet Bevern/Hamelwörde/Krempe/Lägerdorf (063_00TG_149_00IG_S_s_z-ro)

Beim Teilgebiet Bevern (063) handelt es sich um ein Doppelsalinar, dessen südlichstes Segment (Bevern) vollständig innerhalb der Kreisgrenzen des Landkreises Rotenburg (Wümme) liegt. Zur Entstehung von Salinaren und der Unterscheidung zu Doppelsalinen siehe Kapitel 2.

Das Teilgebietssegment wird nicht von aktiven Störungzonen überlagert. In der interaktiven Karte zum Zwischenbericht ist eine im Rahmen der Anwendung der Ausschlusskriterien berücksichtigte Bohrung zuzüglich eines Radius' von 25 m um den Bohransatzpunkt als ausgeschlossenes Gebiet (siehe Abbildung 6-4, hierzu auch Kap.4.1.3) verzeichnet.

Abbildung 6-4: Teilgebietssegment Bevern (063) sowie ausgeschlossenes Gebiet innerhalb des Segments



Legende: Steinsalz in steiler Lagerung (063_00TG_149_00IG_S_s_z-ro)

Quelle: Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete

Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anhand von Referenzdaten

Die Bewertung auf Grundlage des Referenzdatensatzes ist nicht spezifisch auf Daten zu Steinsalz in steiler Lagerung in Niedersachsen abgestützt und hat dementsprechend auch keinen konkreten Bezug zu Gesteinsvorkommen auf dem Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme). Die Abwägungskriterien 1, 4, 5, 6, 7 und 8 wurden als günstig, die Abwägungskriterien 9 und 10 als nicht günstig bewertet (siehe hierzu Kap. 6.1).

Individuelle Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anhand gebietsspezifischer Daten oder Fachliteratur

Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 2, 3 und 11 wurden individuell bewertet (BGE 2020w). Dazu wurden jeweils gebietsspezifische Daten oder Fachliteratur herangezogen. Diese Bewertung wurde für das gesamte Teilgebiet vorgenommen; auch die als gebietsspezifisch bezeichneten Daten sind demnach nur bedingt aussagekräftig für einzelne Segmente innerhalb des Teilgebiets wie bspw. für das Teilgebietssegment Bevern im Landkreis Rotenburg (Wümme).

Kriterium 2 zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper

Zur Bewertung der *Konfiguration der Gesteinskörper* wurden vier Indikatoren untersucht: Die *Barrierenmächtigkeit der Struktur*, der *Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich*, die *Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* sowie die *flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit*.

Die *Barrierenmächtigkeit* der Struktur wird mit günstig bewertet, da innerhalb der maximalen Mächtigkeit der Struktur mit 1090 m eine Fläche von 80,1 km² mit einer Mindestmächtigkeit von 300 m ausgewiesen werden kann und so der angenommene Mindestflächenbedarf von 3 km² bei einer günstigen Barrieregesteinsmächtigkeit von 300 m gedeckt ist. Der Indikator *Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich* wurde für das Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung übergreifend mit günstig bewertet (vgl. hierzu Kap. 6.1.2).

Zur Bewertung der *Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wird davon ausgegangen, dass innerhalb des identifizierten Gebietes, welches zwischen 420 und 1500 m unter GOK liegt, potentiell ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich mit einer Mächtigkeit von 100 m und einer Teufe größer 500 m unter GOK ermittelt werden kann (Bewertung des Indikators als günstig). Der Indikator *Flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit* wird ebenfalls als günstig eingestuft, da die Fläche des identifizierten Gebietes mit 102 km² deutlich oberhalb des doppelten angenommenen Flächenbedarfs für einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich liegt.

Da dem Kriterium 2 „aufgrund der Datenlage zum jetzigen Zeitpunkt eine besondere Bedeutung“ (BGE 2020w) zugeschrieben wurde, orientiert sich die Gesamtbewertung des Kriteriums an der jeweils schlechtesten Bewertung der Indikatoren. Hier sind alle Indikatoren als günstig eingestuft, und damit wird das Kriterium 2 als günstig bewertet.

Kriterium 3 zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit

Für die Anwendung des Kriteriums der *räumlichen Charakterisierbarkeit* wurden laut Kompaktsteckbrief zum Teilgebiet 063 (BGE 2020q) individuelle Bewertungen für jedes identifizierte Gebiet von der BGE vorgenommen, die sich auf vier Indikatoren stützen. Entgegen dieser Aussage erfolgte die Bewertung übergreifend anhand von Fachliteratur zu Zechsteinsalzstrukturen in steiler Lagerung

allgemein – ohne konkreten Bezug zu dem vorliegenden Salzsteinvorkommen. Eine individuelle Bewertung ist nicht zu erkennen.

Auf Basis der Fachliteratur werden drei der Indikatoren – *Gesteinsausbildung, Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich* und *Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften* – ausgehend von der Annahme, dass insbesondere die Staßfurt-Formation des Zechsteins einen homogenen, regional einheitlichen Aufbau mit nahezu monomineralischem Charakter aufweist, pauschal als günstig bewertet.

Ebenso führten Erkenntnisse aus der Fachliteratur zur Bewertung des Indikators *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* für steilstehende Salzstrukturen zu einer pauschalen Einordnung als bedingt günstig. Die Entstehung einer steilstehenden Salzstruktur, wie sie u.a. im Teilgebietssegment Bevern vorliegt, ist ein tektonischer Prozess, der in aller Regel mit einer Überprägung des ursprünglichen Gesteinsverbandes, mit Verfaltung, bruchhaftem Versatz, Klüftung etc. der beteiligten Gesteine einhergeht. Aufgrund der duktilen mechanischen Eigenschaften von Salzgestein nimmt die BGE bei der Bewertung des Indikators *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* ausgehend von der ausgewerteten Fachliteratur an, dass sich die äußere Tektonik nicht in das Innere der Salzstruktur fortsetzt und keine Zerblockung des Gesteins zu erwarten ist. Die Bewertung dieses Indikators ging nicht in die Gesamtbewertung des Kriteriums ein, „da die Anzahl der Bewertungen mit „günstig“ höher ist als die Anzahl der Bewertungen mit „bedingt günstig“ (BGE 2020w). Begründung hierfür ist die fehlende „Differenzierung in der Bewertung der verschiedenen identifizierten Gebiete“ (BGE 2020w).

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

Die Bewertung des *Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* erfolgt auf Grundlage gebietsspezifischer Daten und wurde für das Teilgebiet 063 mit „bedingt günstig“ bewertet (BGE 2020w). Zur Bewertung dieses Kriteriums wurden drei Indikatoren gebietsspezifisch betrachtet, die alle als bedingt günstig eingestuft wurden. Das Teilgebiet befindet sich in einer Tiefe von mindestens 420 m unter GOK.

Der Indikator *Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge* wurde aufgrund der „gering mächtigen“ Überdeckung mit „möglicherweise lückenhafter Ausprägung“ trotz der potentiell grundwasserhemmenden Eigenschaften des überdeckenden Gesteins (Tertiär oder älter) sowie der Annahme, dass kein Kontakt zwischen Ablagerungen des Quartär und der Salzstruktur vorhanden sind, mit „bedingt günstig“ bewertet (BGE 2020w). Auch der Indikator *Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wird auf Grundlage dieser gering mächtigen Überdeckung trotz der potentiell erosionshemmenden Eigenschaften des überdeckenden Gesteins als bedingt günstig eingestuft.

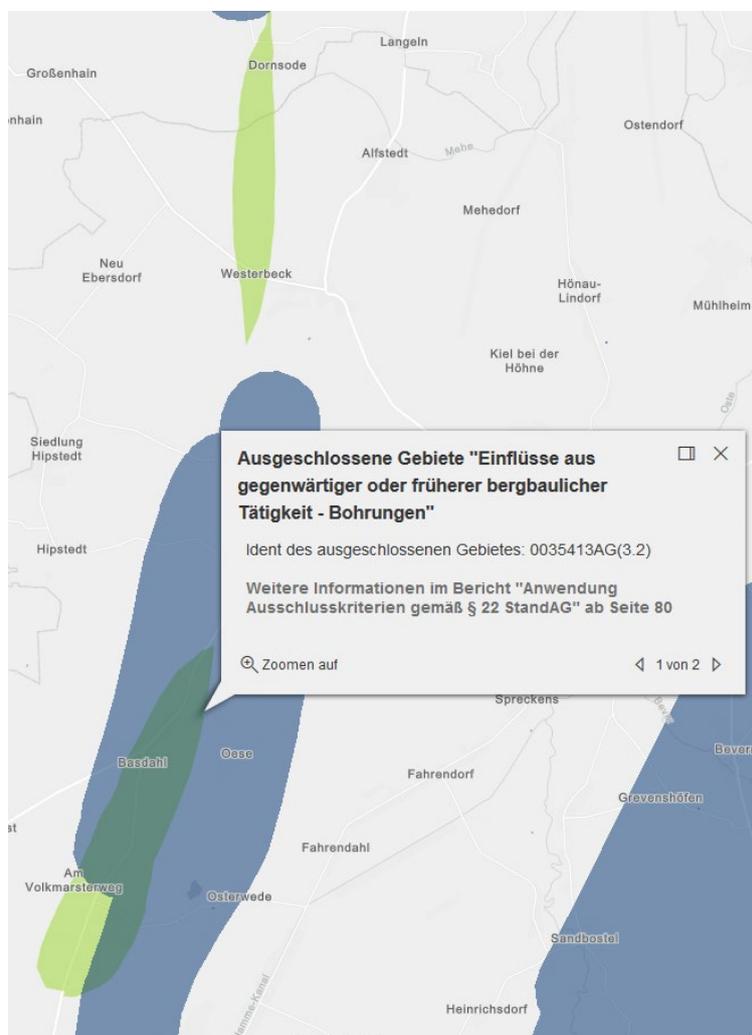
Obwohl Nachweise zu Störungen innerhalb des identifizierten Gebietes vorliegen, nimmt die BGE zum jetzigen Zeitpunkt im Verfahren keine hydraulische Wirksamkeit auf das identifizierte Gebiet an und bewertet den Indikator *Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten* entsprechend Anlage 11 zu § 24 Absatz 5 StandAG als bedingt günstig.

6.2.5 Teilgebiet Odisheim/Osterbruch/Belmhusen/Süderhastedt/Tellingstedt /Pahlhude/Grevenhorst Basdahl/Armstorf (068_00TG_163_00IG_S_s_z-ro)

Beim Teilgebiet Basdahl (068) handelt es sich um ein Doppelsalinar, bei dem die beiden südlichsten Segmente Basdahl und Armstorf nahezu vollständig innerhalb der Kreisgrenzen des Landkreises Rotenburg (Wümme) liegen. Zur Entstehung von Salinaren und der Unterscheidung zu Doppelsalinaren siehe Kapitel 2.

Die Teilgebietssegmente werden von aktiven Störungszonen überlagert, siehe hierzu Kap. 4.1.2 (in Abbildung 6-5 in blau dargestellt). In der interaktiven Karte zum Zwischenbericht ist eine im Rahmen der Anwendung der Ausschlusskriterien berücksichtigte Bohrung zuzüglich eines Radius' von 25 m um den Bohransatzpunkt als ausgeschlossenes Gebiet (siehe Abbildung 6-5, hierzu auch Kap.4.1.3) verzeichnet.

Abbildung 6-5: Teilgebietssegmente Basdahl und Armstorf (beide 068) sowie ausgeschlossene Gebiete innerhalb der Segmente



Legende: Steinsalz in steiler Lagerung (068_00TG_163_00IG_S_s_z-ro)
 Aktive Störungszonen

Quelle: Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete

Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anhand von Referenzdaten

Die Bewertung auf Grundlage des Referenzdatensatzes ist nicht spezifisch auf Daten zu Steinsalz in steiler Lagerung in Niedersachsen abgestützt und hat dementsprechend auch keinen konkreten Bezug zu Gesteinsvorkommen auf dem Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme). Die Abwägungskriterien 1, 4, 5, 6, 7 und 8 wurden als günstig, die Abwägungskriterien 9 und 10 als nicht günstig bewertet (siehe hierzu Kap. 6.1).

Individuelle Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anhand gebietspezifischer Daten oder Fachliteratur

Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 2, 3 und 11 wurden individuell bewertet (BGE 2020x). Dazu wurden jeweils gebietspezifische Daten oder Fachliteratur herangezogen. Diese Bewertung wurde für das gesamte Teilgebiet vorgenommen; auch die als gebietspezifisch bezeichneten Daten sind demnach nur bedingt aussagekräftig für einzelne Segmente innerhalb des Teilgebiets wie bspw. für die Teilgebietssegmente Basdahl und Armstorf im Landkreis Rotenburg (Wümme).

Kriterium 2 zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper

Zur Bewertung der *Konfiguration der Gesteinskörper* wurden vier Indikatoren untersucht: Die *Barrierenmächtigkeit der Struktur*, der *Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich*, die *Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* sowie die *flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit*.

Die *Barrierenmächtigkeit* der Struktur wird als bedingt günstig bewertet, da die Fläche des identifizierten Gebietes von 0,4 km² innerhalb der maximalen Mächtigkeit der Struktur mit 700 m den angenommenen Mindestflächenbedarf von 3 km² bei einer günstigen Barrieregesteinsmächtigkeit von 300 m nicht erfüllt. Der Indikator *Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich* wurde für das Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung übergreifend als günstig bewertet (vgl. hierzu Kap. 6.1.2).

Zur Bewertung der *Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wird davon ausgegangen, dass innerhalb des identifizierten Gebietes, welches zwischen 800 und 1500 m unter GOK liegt, potentiell ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich mit einer Mächtigkeit von 100 m und einer Teufe größer 500 m unter GOK ermittelt werden kann (Bewertung des Indikators mit günstig). Der Indikator *Flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit* wird ebenfalls als günstig eingestuft, da die Fläche des identifizierten Gebietes mit 274 km² deutlich oberhalb des doppelten angenommenen Flächenbedarfs für einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich liegt.

Da dem Kriterium 2 „aufgrund der Datenlage zum jetzigen Zeitpunkt eine besondere Bedeutung“ (BGE 2020w) zugeschrieben wurde, orientiert sich die Gesamtbewertung des Kriteriums an der jeweils schlechtesten Bewertung der Indikatoren und wird entsprechend als bedingt günstig bewertet.

Kriterium 3 zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit

Für die Anwendung des Kriteriums der *räumlichen Charakterisierbarkeit* wurden laut Kompaktsteckbrief zum Teilgebiet 068 (BGE 2020r) individuelle Bewertungen für jedes identifizierte Gebiet von der BGE vorgenommen, die sich auf vier Indikatoren stützen. Entgegen dieser Aussage erfolgte die Bewertung übergreifend anhand von Fachliteratur zu Zechsteinsalzstrukturen in steiler Lagerung

allgemein – ohne konkreten Bezug zu dem vorliegenden Salzsteinvorkommen. Eine individuelle Bewertung ist nicht zu erkennen.

Auf Basis der Fachliteratur werden drei der Indikatoren – *Gesteinsausbildung, Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich* und *Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften* – ausgehend von der Annahme, dass insbesondere die Staßfurt-Formation des Zechsteins einen homogenen, regional einheitlichen Aufbau mit nahezu monomineralischem Charakter aufweist, pauschal als günstig bewertet.

Ebenso führten Erkenntnisse aus der Fachliteratur zur Bewertung des Indikators *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* für steilstehende Salzstrukturen zu einer pauschalen Einordnung als bedingt günstig. Die Entstehung einer steilstehenden Salzstruktur, wie sie in den Teilgebietssegmenten Basdahl und Armstorf auftritt, ist ein tektonischer Prozess, der in aller Regel mit einer Überprägung des ursprünglichen Gesteinsverbandes, mit Verfaltung, bruchhaftem Versatz, Klüftung etc. der beteiligten Gesteine einhergeht. Aufgrund der duktilen mechanischen Eigenschaften von Salzgestein nimmt die BGE bei der Bewertung des Indikators *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* ausgehend von der ausgewerteten Fachliteratur an, dass sich die äußere Tektonik nicht in das Innere der Salzstruktur fortsetzt und keine Zerblockung des Gesteins zu erwarten ist. Die Bewertung dieses Indikators ging nicht in die Gesamtbewertung des Kriteriums ein, „da die Anzahl der Bewertungen mit „günstig“ höher ist als die Anzahl der Bewertungen mit „bedingt günstig“ (BGE 2020x). Begründung hierfür ist die fehlende „Differenzierung in der Bewertung der verschiedenen identifizierten Gebiete“ (BGE 2020x).

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

Die Bewertung des *Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* erfolgt auf Grundlage gebietsspezifischer Daten und wurde für das Teilgebiet 068 als bedingt günstig bewertet (BGE 2020x). Zur Bewertung dieses Kriteriums wurden drei Indikatoren gebietsspezifisch betrachtet, die alle als bedingt günstig eingestuft wurden. Das Teilgebiet befindet sich in einer Tiefe von mindestens 800 m unter GOK.

Der Indikator *Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge* wurde aufgrund der mächtigen vollständigen Überdeckung durch potentiell grundwasserhemmende Gesteine (Tertiär oder älter) sowie der Annahme, dass kein Kontakt zwischen Ablagerungen des Quartär und der Salzstruktur vorhanden sind, als günstig bewertet. Auch der Indikator *Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wird auf Grundlage dieser mächtigen Überdeckung als günstig eingestuft, da die Gesteine des Tertiär oder älter ebenfalls als erosionshemmend gelten.

Obwohl Nachweise zu Störungen innerhalb des identifizierten Gebietes vorliegen, nimmt die BGE zum jetzigen Zeitpunkt im Verfahren keine hydraulische Wirksamkeit auf das identifizierte Gebiet an und bewertet den 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* entsprechend Anlage 11 zu § 24 Absatz 5 StandAG als bedingt günstig.

Jaritz (1983) beschreibt die Existenz einer quartären Rinne, die über der Längsachse des Salzstocks verläuft. Diese Struktur und ihre mögliche hydraulische Wirksamkeit sowie die Bedeutung, die sie

für die Schutzfunktion des Deckgebirges gegen Grundwasserzutritt und Erosion haben kann, werden im Zwischenbericht Teilgebiete nicht erwähnt.

6.3 Schlussfolgerungen und Bewertung zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

Die Anwendung des **Kriteriums 1** *Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich* 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 auf Erfahrungswerten zu den Eigenschaften beruhen. Die physikalische Unmöglichkeit der Bestimmung des Diffusionskoeffizienten von Steinsalz für tritiiertes Wasser führt dazu, dass dieser Indikator auch in späteren Verfahrensschritten nicht auf Teilgebiete in Steinsalz angewendet 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.

Die Bewertung der *Konfiguration der Gesteinskörper*, **Kriterium 2**, wurde auf Basis gebietspezifischer Daten des jeweiligen Teilgebiets vorgenommen und orientiert sich an dem am schlechtesten bewerteten Indikator dieses Kriteriums. Bei der Anwendung der Indikatoren wurde das Teilgebiet im Ganzen betrachtet. Rückschlüsse auf die Gültigkeit der Bewertung für die einzelnen Segmente innerhalb eines Teilgebiets sind auf dieser Basis nicht möglich. Die Bewertung für die Teilgebiete kann jedoch trotz abweichender Angaben zur Tiefenlage der betrachteten Salinarstrukturen zwischen dem Zwischenbericht und verschiedenen Literaturquellen als hinreichend plausibel für Schritt 1 in Phase 1 des Standortauswahlverfahrens angenommen werden.

Die Bewertung der *räumlichen Charakterisierbarkeit*, **Kriterium 3**, erfolgte pauschal abhängig vom Internbautyp der Salzstöcke (siehe auch Kapitel 6.1.3). Die herangezogenen Informationen hätten ohne weiteres auch in den Referenzdatensatz Eingang finden können. Eine individuelle Bewertung, wie in den Teilgebietssteckbriefen angegeben (z. B. BGE 2020t), ist nicht zu erkennen.

Das Vorgehen zur Bewertung der *langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse*, **Kriterium 4**, kann 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) für Phase 1 des Standortauswahlverfahrens als plausibel angesehen werden.

Das Vorgehen zur Bewertung der *günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften*, **Kriterium 5**, ist für Steinsalz plausibel, da aufgrund des jahrhundertelangen Bergbaus auf Stein- und Kalisalz in Deutschland und durch langjährige Laborforschung umfangreiche Kenntnisse zu den gebirgsmechanischen Eigenschaften von Steinsalz vorliegen.

Da in Phase 1 des Standortauswahlverfahrens keine standortbezogenen Daten für die Bewertung der *Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten*, **Kriterium 6**, 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.

Auch das Vorgehen zur Bewertung der **Kriterien 7 und 8**, *Gasbildung* und *Temperaturverträglichkeit*, erscheint für die Ausweisung von Teilgebieten mittels vorhandener Daten in der Phase 1 des Standortauswahlverfahrens angemessen.

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 auch für die Bewertung des *Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich*, **Kriterium 9**, plausibel.

Das Vorgehen zur Bewertung der *hydrochemischen Verhältnisse*, **Kriterium 10**, erscheint vor dem Hintergrund, dass noch keine standortspezifischen Informationen über die hydrochemischen Verhältnisse in potentiellen einschlusswirksamen Gebirgsbereichen vorliegen, ebenfalls angemessen.

Die Bewertung des *Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge*, **Kriterium 11**, anhand von Literaturdaten und den Ergebnissen der Anwendung von Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen erscheint zum jetzigen Verfahrenszeitpunkt angemessen. Nicht nachvollziehbar ist jedoch aus Sicht der Autoren der Schluss, ein durch Scheitelstörungen zerblocktes Deckgebirge sei in der Lage, hydraulischen und mechanischen Schutz gegen Erosion und das Eindringen von Grundwasser zu bieten. Wie in Kapitel 4.2.2 dargestellt, beschreiben Kockel und Krull (1995) sowohl den Salzstock Taaken als auch den Salzstock Stemmen als „Strukturen mit möglicherweise stark gestörtem oder komplizierten Innenbau und vermutlich ohne ausreichende Steinsalz-Volumina“. Beide Salzstöcke werden darüber hinaus als „Strukturen mit strukturellen Komplikationen im Dachbereich“ (Scheitelgräben bzw. -störungen) aufgeführt. Diese Literaturinformationen haben offenbar keinen Eingang in die Bewertung gefunden.

Gleiches gilt für die Nicht-Berücksichtigung von Informationen über das Auftreten einer quartären Rinne über dem Salzstock Armstorf (068). Des Weiteren verweisen Frisch und Kockel (2004) darauf, dass im Firstbereich des Salzstocks Brümmerhof „das gesamte Tertiär unter der quartären Bedeckung“ fehle. Die Annahme der BGE, es sei kein Kontakt zwischen Ablagerungen des Quartär und der Salzstruktur vorhanden, ist insofern in Frage zu stellen, insbesondere, da in der Bohrung Brümmerhof Z1 an der Nordostflanke des Salzstocks keine mesozoischen Gesteine erbohrt wurden, sondern Tertiär und Zechstein direkt aufeinander folgen.

Das ist umso mehr von Bedeutung, als überlagernde Tonformationen im Deckgebirge vieler norddeutscher Salzstöcke offenbar aufgrund von Scheitelstörungen als Wirtsgestein für ein Endlager ausgeschlossen wurden. Erosion greift in aller Regel an Schwächezonen im Gebirge an. Das gilt für das Einschneiden von Wasserwegsamkeiten ebenso wie für die Erosion durch glaziale Phänomene, s.o. Vor dem Hintergrund des Betrachtungszeitraums von einer Million Jahre kann von einem durch Scheitelstörungen geschädigten und u. U. von quartärer Rinnenbildung betroffenen Deckgebirge möglicherweise nicht der bestmögliche Schutz gewährleistet werden.

7 Bewertung des Überlagerungsbereichs der beiden Tongestein-Teilgebiete 004 und 007 mit dem Teilgebiet Taaken/Scheeßel/Ostervesede (033)

Teilgebiet 007

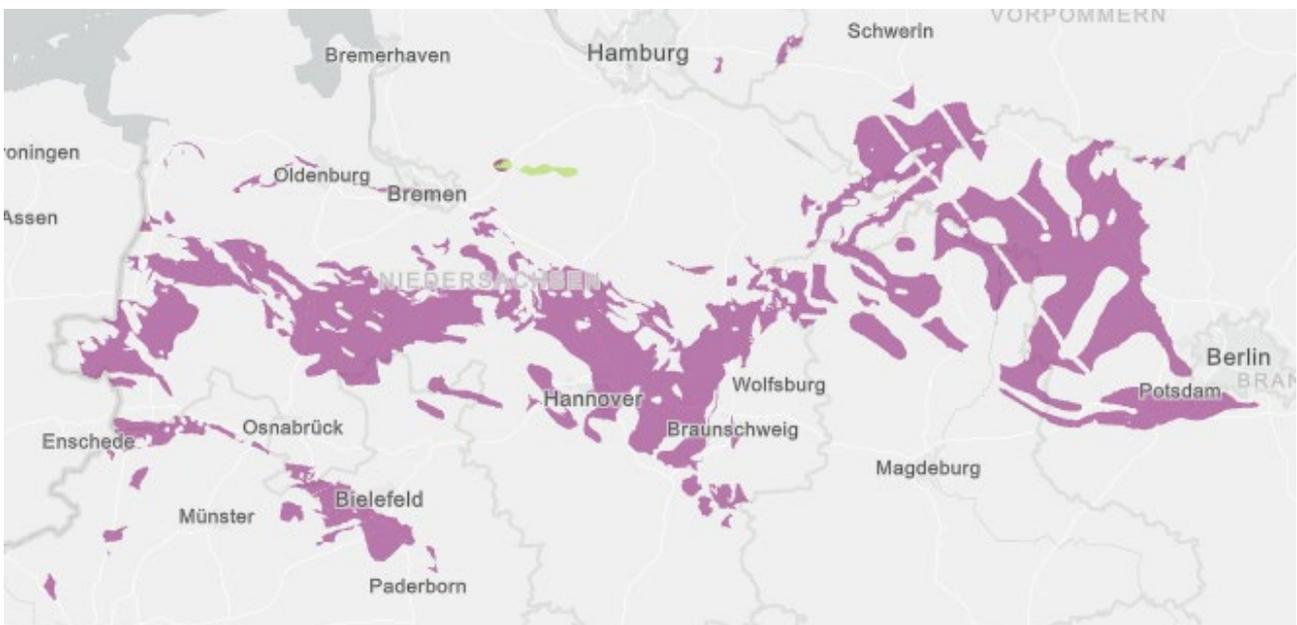
Der Salzstock Taaken wird im Westen von Tonstein der Unterkreide (vor etwa 145 bis 100 Millionen Jahren) überdeckt, der als Teilgebiet 007 ausgewiesen ist. Das Teilgebiet 007 erstreckt sich in West-Ost-Richtung über eine Fläche von 14.914 km² (BGE 2020s) über weite Teile Norddeutschlands (siehe Abbildung 7-1). Die Tonsteine der Unterkreide entstanden, als sich im heutigen Niedersächsischen Becken ein großer Binnensee entwickelte.

Während der gesamten Unterkreide konnten sich in diesem Becken Sedimente ablagern, „die als Verwitterungsschutt von den umgebenden Festlandsschollen eingetragen wurden“ (Chaudry et al. 2021). Im beckenzentralen Bereich rechnet die BGE daher mit einer hauptsächlich Ablagerung von Tongestein innerhalb der Sedimentgesteine der Unterkreide (BGE 2020s).

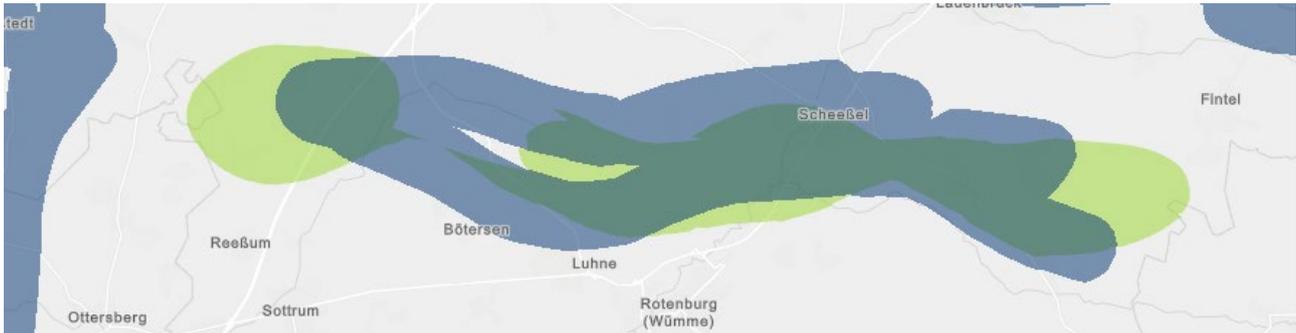
Teilgebiet 007 besteht, nach Anwendung von Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien, aus einer Fülle von Flächen unterschiedlicher Ausdehnung, die über ganz Norddeutschland verteilt ist. Im Landkreis Rotenburg (Wümme) befindet sich lediglich eine vergleichsweise kleine, isolierte Teilfläche.

Oberhalb des Teilgebiets 033 wurden eine Reihe aktiver Störungszonen ausgewiesen (siehe Abbildung 7-2). Dabei handelt es sich um Scheitelstörungen des Salzstocks (siehe dazu Kapitel 4.2.2). Entsprechend wurde dieser Teil des Tongesteins auf Basis der Ausschlusskriterien ausgeschlossen.

Abbildung 7-1: Verbreitung des Teilgebiets 007 in Norddeutschland



Quelle: Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete

Abbildung 7-2: Aktive Störungszonen oberhalb des Teilgebiets 033


Quelle: Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete

Die Größe der Flächen, die oberhalb des Salzstocks Taaken von Unterkreidetonen eingenommen werden, können anhand der Kartendarstellung mit ca. 4 km² im Süden und 8 km² im Norden des Salzstocks abgeschätzt werden (siehe Abbildung 7-3).

Nach dem Fachbericht zur Anwendung der Mindestanforderungen (BGE 2020e) legt die BGE in Tonstein allerdings einen Flächenbedarf von 10 km² zur Bewertung der Mindestanforderung 4, *Fläche des Endlagers*, zugrunde. Diese Anforderung ist zwar für das gesamte Teilgebiet 007 erfüllt, aber nicht für das hier betrachtete Segment des Teilgebiets.

Damit müsste im weiteren Verfahren bei einer Anwendung der Mindestanforderungen auf die Unterkreidetonen in der Umgebung des Salzstocks Taaken von einer Nicht-Erfüllung und damit einem Ausschluss aus dem weiteren Verfahren ausgegangen werden. Hinzu kommt, dass weder in der Bohrung Taaken Z1 noch der Bohrung Taaken Z2, die in unmittelbarer Nähe der als Teilgebiet 007 ausgewiesenen Flächen abgeteuft wurden, Unterkreide angetroffen wurde. Nur durch die Vorgehensweise der BGE, eine stratigraphische Einheit über weite Teile des Bundesgebiets als ein Teilgebiet auszuweisen, konnte im Bereich des Salzstocks Taaken das Teilgebiet 007 identifiziert werden.

Abbildung 7-3: Überlagerung des Teilgebiets 033 mit Unterkreidetonstein des Teilgebiets 007


Quelle: Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete. Rot umrandet der Überlagerungsbereich im Westen des Teilgebietes

Teilgebiet 004

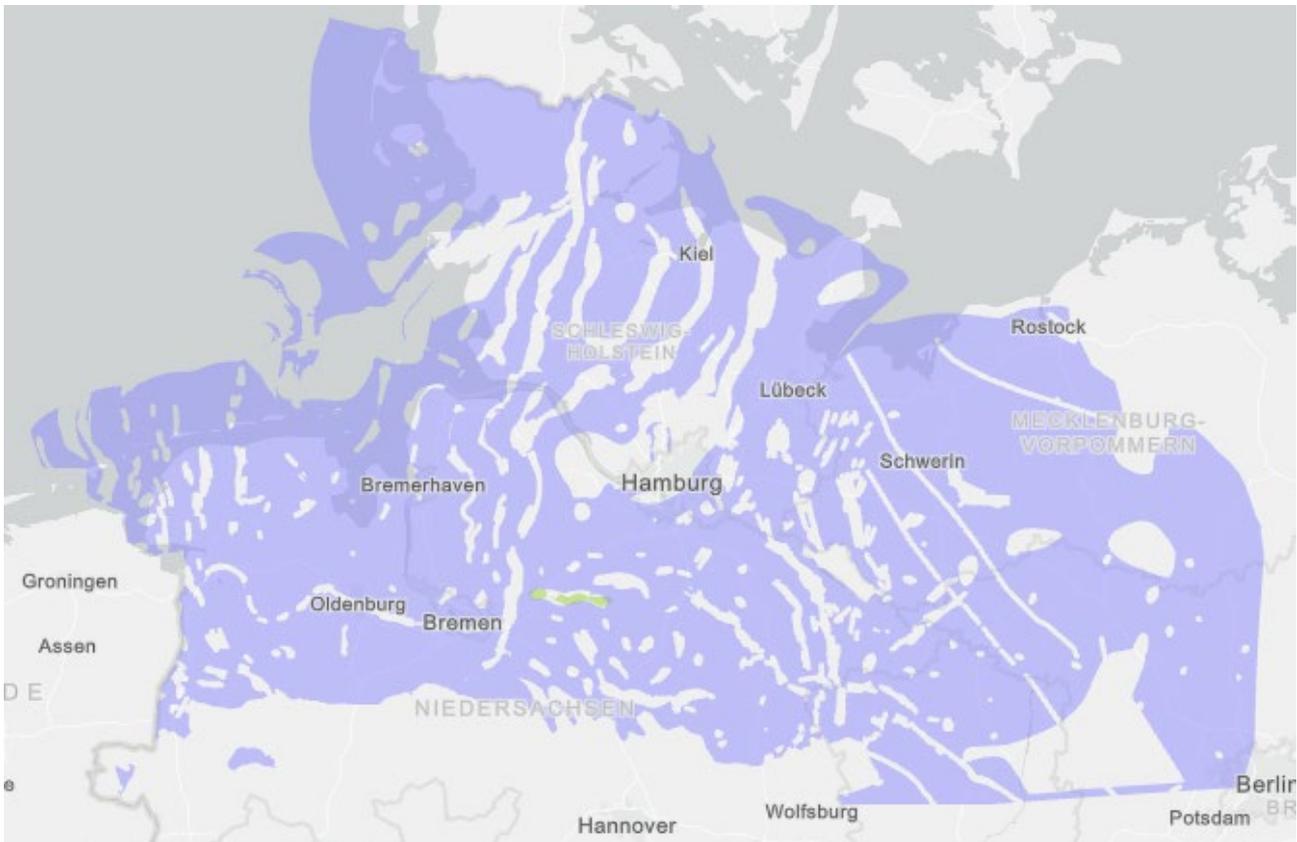
Im Westen, Süden und Osten wird das Teilgebiet 033 von Tonsteinen des Paläogen, d. h. des unteren Tertiärs (vor etwa 66 bis 23 Millionen Jahren) überdeckt (siehe Abbildung 7-4). Diese Tonsteine wurden als Verwitterungsschutt von den Küsten in das norddeutsche Becken eingetragen, dass zu Beginn des Tertiärs noch von der heutigen Nordsee bedeckt war (Chaudry et al. 2021). Das Teilgebiet 004 bedeckt eine Fläche von 62.885 km² in Norddeutschland (siehe Abbildung 7-5).

Abbildung 7-4: Überlagerung des Teilgebiets 033 mit tertiären Tonsteinen des Teilgebiets 004



Quelle: Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete. Rot umrandet der Überlagerungsbereich im Osten des Teilgebiets 033

Abbildung 7-5: Verbreitung des Teilgebiets 004 in Norddeutschland



Quelle: Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete

Auch diese Gesteine sind in den Bereichen, in denen sie von Scheitelstörungen des Salzstocks durchzogen sind, nicht als Teilgebiete ausgewiesen. Die in Tabelle 5-4 dargestellten Ergebnisse von Bohrungen im Bereich des Teilgebiets 033 bestätigen, dass das gesamte Gebiet von paläogenen Gesteinen mit einer Mächtigkeit von mehreren hundert Metern bedeckt ist.

Aufgrund der weiten Verbreitung des Teilgebiets 004 im Bereich des Landkreises Rotenburg (Wümme) kann nicht ausgeschlossen werden, dass hier in weiteren Verfahrensschritten tertiäre Tonsteine näher auf ihre Eignung als Wirtsgesteine für ein Endlager im Landkreis Rotenburg untersucht werden werden.

Generell ist festzustellen, dass im Schritt 1 der Phase 1 die Teilgebiete 004 und 007 auf Grundlage sehr pauschaler Informationen und Annahmen ermittelt wurden. Eine detaillierte Bewertung der Eignung der Teilgebiete im Tongestein auf dem Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme) kann auf Grundlage der vorliegenden Daten nicht erfolgen.

8 Prüfung von Daten und Literatur

Im Zwischenbericht Teilgebiete verwendete Quellen

Der Anwendung der Mindestanforderungen, die zur Ausweisung der identifizierten Gebiete im Landkreis Rotenburg (Wümme) 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 2020c) zum Fachbericht von der BGE dokumentiert wurde. Diese Daten und Literatur wurden gesichtet und dahingehend geprüft, inwiefern standortspezifische Informationen zu den ausgewiesenen Teilgebieten 032, 033, 034, 063 und 68 in deren Bewertung eingegangen sind bzw. welche Daten keine Berücksichtigung fanden.

Die Anwendung der Mindestanforderungen 2 (Mächtigkeit), 3 (minimale Teufe) und 4 (Fläche) erfolgte unter Einbeziehung gebietsspezifischer Informationen zur Tiefenlage des Strukturtops der Salzstöcke, deren flächenhafter Erstreckung sowie der Mächtigkeit des Gesteinskörpers. Nach der Darstellung im Fachbericht Mindestanforderungen (BGE 2020e) wurden diese Informationen durch Auswertung von 3D-Modellen des Untergrunds gewonnen. Aus Teil 3 des Datenberichts zum Fachbericht Mindestanforderungen (BGE 2020h, 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 InSpEE²⁶ (BGR 2016), als Quellen dienten. Soweit aus den veröffentlichten Abschlussberichten des Vorhabens InSpEE und der genannten Veröffentlichung zum Geotektonischen Atlas ersichtlich sind die Salzstöcke auf dem Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme) darin nicht explizit behandelt. Inwieweit die Datenblätter zu Strukturinformationen der norddeutschen Salzstöcke, die im Rahmen von InSpEE erstellt wurden, jeweils zur Bewertung herangezogen wurden, ist nicht nachvollziehbar. 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 2020h, Tabelle 15) enthalten keine Lokationen, die direkt mit der Umgebung der im Landkreis Rotenburg (Wümme) korreliert werden können. Die in Tabelle 5-4 aufgeführten Bohrungen sind, wie oben erwähnt, sämtlich nicht als entscheidungserheblich charakterisiert worden.

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 2020g) besteht aus einem Weblink zu einer Seite des LBEG, der jedoch zu einer Fehlermeldung führt²⁷. Daher konnte die Quellenangabe nicht nachvollzogen werden.

Die Literaturreferenzen zu den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sind in Anlage 2A zum Fachbericht Abwägungskriterien (BGE 2020c), sortiert nach Teilgebieten und weiter nach Kriterien und Indikatoren, aufgeführt. Für die Teilgebiete auf dem Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme) sind diese Angaben auf allen Ebenen identisch. Ein Großteil der verwendeten Quellen ist

²⁶ 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

²⁷ zuletzt geprüft am 21.07.2021

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 zu den Salzstöcken der Teilgebiete 033 und 034. Frisch und Kockel (2004) sowie Jaritz (1983) stellen Informationen zu allen fünf Teilgebieten 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 im Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme) wurden nicht berücksichtigt. 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 betrachteten Teilgebiete nachzuvollziehen. Aus der Darstellung des Vorgehens in der Arbeitshilfe zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (BGE 2020f) 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 betrachteten Teilgebiete erhobene Daten, bspw. aus der Erdölexploration und vorliegenden Studien, in die Kriterienanwendung eingegangen sind.

Weitere Quellen

Im Rahmen einer kurzen Literaturdurchsicht konnten einige seitens der BGE bisher nicht zitierte Quellen zur Geologie im Bereich des Landkreises Rotenburg (Wümme) bzw. der Umgebung der von der BGE ausgewiesenen Teilgebiete ermittelt werden. Es handelt sich um Bücher, Zeitschriftenaufsätze und Konferenzbeiträge, die in der Regel nicht frei verfügbar sind. Die meisten der unten aufgeführten Arbeiten behandeln spezifische geologische Fragen, die angesichts des oben dargestellten Detaillierungsgrads der Kriterienanwendung im bisherigen Verfahren noch nicht als relevant eingestuft werden können. Für das weitere Verfahren sollten diese Publikationen, sollten die betreffenden Teilgebiete weiter untersucht werden, jedoch auf möglicherweise relevante Informationen hin geprüft werden.

- Ahlrichs, Niklas; Hübscher, Christian; Noack, Vera; Schnabel, Michael; Damm, Volkmar; Krawczyk, Charlotte M. (2020): Structural Evolution at the Northeast North German Basin Margin: From Initial Triassic Salt Movement to Late Cretaceous-Cenozoic Remobilization. In: *Tectonics* 39 (7). DOI: 10.1029/2019TC005927.
- Huster, H.; Hübscher, C.; Seidel, E. (2020): Impact of Late Cretaceous to Neogene plate tectonics and Quaternary ice loads on supra-salt deposits at Eastern Glückstadt Graben, North German Basin. In: *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 109 (3), S. 1029–1050. DOI: 10.1007/s00531-020-01850-8.
- Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle; DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung des Fachbereiches Aufsuchung und Gewinnung; Frühjahrstagung des Fachbereiches Aufsuchung und Gewinnung (2017): Beiträge der DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung

des Fachbereiches "Aufsuchung und Gewinnung" am 5. und 6. April 2017 in Celle. (Autorenmanuskripte). Hamburg: DGMK Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl Erdgas und Kohle e.V (Tagungsbericht / DGMK, Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V, 2017,1).

- Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle; Österreichische Gesellschaft für Erdölwissenschaften; DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung des Fachbereiches Aufsuchung und Gewinnung; Frühjahrstagung des Fachbereiches Aufsuchung und Gewinnung (2016): Beiträge der DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung des Fachbereiches Aufsuchung und Gewinnung am 21. und 22. April 2016 in Celle. (Autorenmanuskripte). Hamburg: DGMK Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V (Tagungsbericht / DGMK, Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V, 2016-1).
- Fromme, Kirsten; Michalzik, Dieter; Wirth, Wolfgang (2010): Das geothermische Potenzial von Salzstrukturen in Norddeutschland. In: Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften 161, S. 323–333.
- Gewinnung von Kreide im Zementwerk Lägerdorf, Steinbruch und Sandgrube : das Fachmagazin für Entscheider in der Roh- und Baustoffindustrie (2003). Hannover: Schlütersche (Steinbruch und Sandgrube : das Fachmagazin für Entscheider in der Roh- und Baustoffindustrie, 96). In: Steinbruch und Sandgrube : das Fachmagazin für Entscheider in der Roh- und Baustoffindustrie (4).
- Hofmann, Klaus (1996): Die mikro-endolithischen Spurenfossilien der borealen Oberkreide Nordwest-Europas und ihre Faziesbeziehungen : mit 24 Tabellen. Stuttgart: Schweizerbart (Reihe A, Allgemeine und regionale Geologie Bundesrepublik Deutschland und Nachbargebiete, Tektonik, Stratigraphie, Paläontologie 136, Teil 10).
- Koestler, A. G.; Reksten, Kari (1995): Fracture-Network 3D Characterization in a Deformed Chalk Reservoir Analogue - The Lägerdorf Case, SPE formation evaluation. In: SPE formation evaluation 10 (3), S. 148–152.
- Koestler, A. G.; Reksten, K. (1994): 3D Characterization of the Fracture Network in a Deformed Chalk Reservoir Analogue - The Lagerdorf Case, International petroleum conference. In: International petroleum conference, PAPERS- SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS OF AIME. American Institute of Mining Engineers Society of Petroleum Engineers: SPE, S. 573–584.
- Schönfeld, J. (1996): New results on biostratigraphy, palaeomagnetism, geochemistry and correlation from the standart section for the Upper Cretaceous white calk of northern Germany (Lägerdorf - Kronsmoor - Hemmoor). In: Mitteilungen aus dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Hamburg (77), S. 545–575.
- Schönfeld, J.; Sirocko, F.; Jørgensen, N. O. (1991): Oxygen isotope composition of Upper Cretaceous chalk at Lägerdorf (NW Germany): its original environmental signal and palaeotemperature interpretation. In: Cretaceous Research 12 (1), S. 27–46. DOI: 10.1016/0195-6671(91)90025-8.
- Schönfeld, Joachim (1990): Die Maastricht-Stufe in NW-Deutschland : Beiträge zum Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft "Geologische Korrelationsforschung" ; Teil 9: Zur Stratigraphie und Ökologie benthischer Foraminiferen im Schreibkreide-

Richtprofil von Lägerdorf/Holstein : mit 10 Tabellen, Reihe A, Allgemeine und regionale Geologie Bundesrepublik Deutschland und Nachbargebiete, Tektonik, Stratigraphie, Paläontologie, Geologisches Jahrbuch. Stuttgart: Schweizerbart (117).

- Schönfeld, Joachim (1990): Zur Stratigraphie und Ökologie benthischer Foraminiferen im Schreiekreide-Richtprofil von Lägerdorf/Holstein : mit 10 Tabellen. Stuttgart: Schweizerbart (Reihe A, Allgemeine und regionale Geologie Bundesrepublik Deutschland und Nachbargebiete, Tektonik, Stratigraphie, Paläontologie 117, Teil 9).
- Scholz, Rüdiger W. (1970): Zur Sedimentologie und Kompaktion der Schreiekreide von Lägerdorf in SW-Holstein.
- Storti, Fabrizio; Balsamo, Fabrizio; Cappanera, Federico; Tosi, Giambattista (2011): Sub-seismic scale fracture pattern and in situ permeability data in the chalk atop of the Krempe salt ridge at Lägerdorf, NW Germany: Inferences on synfolding stress field evolution and its impact on fracture connectivity. In: *Marine and Petroleum Geology* 28 (7), S. 1315–1332. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2011.03.014.
- Voigt, Silke; Schönfeld, Joachim (2010): Cyclostratigraphy of the reference section for the Cretaceous white chalk of northern Germany, Lägerdorf–Kronsmoor: A late Campanian–early Maastrichtian orbital time scale, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. In: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 287 (1-4), S. 67–80. DOI: 10.1016/j.palaeo.2010.01.017.
- Voigt, E. (1994): Zwei neue Bryozoengenera (*Filicisparsa sommerae* n.g.n.sp. und *Craticulacella schneemilchae* n.g.n.sp.) aus der Oberkreide von Misburg und Höver bei Hannover und von Lägerdorf (Holstein), *Bericht der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover*. In: *Bericht der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover* 136, S. 7–26.

9 Zusammenfassende Bewertung

Die Methodik der Ausweisung der Teilgebiete 032, 033, 034, 063 und 068 im Rahmen des Standortauswahlverfahrens für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle konnte anhand der von der BGE im Zwischenbericht Teilgebiete veröffentlichten Unterlagen nachvollzogen werden. Durch Anwendung der Ausschlusskriterien erfolgte auf dem Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme) der Ausschluss aktiver Störungszonen sowie von Bohrungen.

Die Bearbeitung des Ausschlusskriteriums *Seismische Aktivität* sollte im weiteren Verfahren angepasst werden. Wie in Kapitel 4.2.4 ausgeführt, sollten die von Kaiser und Spies (2020) formulierten Fragen hinsichtlich der Eignung der Baunorm DIN EN 1998-1/NA für die Bewertung der Gefährdung eines Endlagers durch seismische Aktivität eingehend diskutiert und die Ergebnisse bei der weiteren Anwendung des Kriteriums berücksichtigt werden. Sollte sich aus dieser Diskussion ein Bedarf zur Anpassung des Ausschlusskriteriums *Seismische Aktivität* ergeben, müsste ein entsprechender Prozess angestoßen werden, mit dem solche Aktualisierungen berücksichtigt werden.

Alle Mindestanforderungen werden seitens der BGE für die ausgewiesenen Teilgebiete als erfüllt angesehen. Bei der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien wurden im Wesentlichen pauschale Bewertungen anhand von Referenzdatensätzen vorgenommen, die für alle Gebiete mit dem Wirtsgestein Steinsalz identisch angewendet wurden.

Drei der elf geowissenschaftlichen Abwägungskriterien wurden individuell bewertet. 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 *Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge* nach der schlechtesten Beurteilung eines Indikators bewertet, während für *räumliche Charakterisierbarkeit* (Kriterium 3) 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. Die Bewertungen in den Steckbriefen der Teilgebiete 032, 033, 034, 063 und 068 sind textlich identisch.

Da die Indikatoren des Kriteriums seitens der BGE demnach nicht individuell, sondern anhand pauschaler Annahmen bewertet wurden, 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.

Zur standortspezifischen Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 2 und 11 wurden als individuelle, salzstockspezifische Informationen ausschließlich die Tiefenlage der Salzstockoberfläche, die Mächtigkeit, d. h. die vertikale Erstreckung des Salzstocks, und dessen Flächenausdehnung herangezogen. Existierende standortspezifische Daten aus den Schichtenverzeichnissen von Bohrungen im Gebiet des Landkreises Rotenburg (Wümme) wurden nicht genutzt.

Darüber hinaus wurden die Schichtenverzeichnisse der Bohrungen als nicht entscheidungserheblich eingestuft und daher seitens der BGE nicht veröffentlicht. Das steht im Widerspruch zur Aussage im Fachbericht zur Anwendung der Mindestanforderungen (BGE 2020e), wonach „für Salzformationen

in stratiformer und steiler Lagerung [...] gleichermaßen entscheidend“ sei, „dass Halit der gesteinsbildende Hauptbestandteil ist, damit sie als potentiell endlagerrelevantes Wirtsgestein „Steinsalz“ angesehen werden können. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn in der petrographischen Beschreibung vorhandener Bohrungen mit Schichtenverzeichnis Halit/Halilit/Steinsalz (^na), Bändersalz (^bds), Fasersalz (^fas), Hartsalz (^hs) oder Chloridgestein (^cl) als Hauptkomponente (vgl. Okrusch & Matthes 2014) angegeben wird“ (BGE 2020e). Vor diesem Hintergrund ist nicht nachvollziehbar, wie Schichtenverzeichnisse von Bohrungen, die Salzstöcke erbohrt oder sogar durchteuft haben, als nicht entscheidungserheblich eingestuft werden können.

Die Sonderstellung von Scheitelstörungen, die zwar im Deckgebirge von Salzstöcken zum Abschluss 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 Kapitel 4.2.2 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 werden, wie in Kapitel 4 dargestellt, nur dann als ausgeschlossene Gebiete aufgeführt, wenn „der höchste Punkt der Salzstruktur unterhalb von 300 m“ (BGE 2020d) unter GOK liegt. Der Strukturtop des Salzstocks Taaken liegt in einer Tiefe von 236 m (siehe Tabelle 5-3), dennoch wurden offensichtlich Scheitelstörungen oberhalb des Salzstocks als aktive Störungszonen ausgewiesen. Dieser Widerspruch sollte seitens der BGE aufgelöst werden.

Wie in Kapitel 5.2 dargestellt, weichen die Tiefenangaben zur Lage der Salzstöcke, in denen Teilgebiete im Landkreis Rotenburg (Wümme) ausgewiesen wurden, im Zwischenbericht Teilgebiete zum Teil deutlich von Literaturdaten ab, auch unter Berücksichtigung der von der BGE jeweils adiierten Salzscheibe. Diese Diskrepanzen sollten aufgelöst werden.

Hinsichtlich der Bewertung des geowissenschaftlichen Abwägungskriteriums 11, *Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge*, ist zu hinterfragen, inwieweit ein durch Scheitelstörungen zerblocktes Deckgebirge in der Lage ist, hydraulischen und mechanischen Schutz gegen Erosion und das Eindringen von Grundwasser zu bieten. Wie in Kapitel 4.2.2 dargestellt, beschreiben Kockel und Krull (1995) sowohl den Salzstock Taaken als auch den Salzstock Stemmen als „Strukturen mit möglicherweise stark gestörtem oder komplizierten Innenbau und vermutlich ohne ausreichende Steinsalz-Volumina“. Beide Salzstöcke werden darüber hinaus als „Strukturen mit strukturellen Komplikationen im Dachbereich“ (Scheitelgräben bzw. -störungen) aufgeführt. Jaritz (1983) beschreibt darüber hinaus die Existenz einer quartären Rinne, die über der Längsachse des Salzstocks Armstorf verläuft.

Des Weiteren verweisen Frisch und Kockel (2004) darauf, dass im Firstbereich des Salzstocks Brümmerhof „das gesamte Tertiär unter der quartären Bedeckung“ fehle. Die Annahme der BGE, es sei kein Kontakt zwischen Ablagerungen des Quartär und der Salzstruktur vorhanden (BGE 2020t), ist insofern in Frage zu stellen, insbesondere, da in der Bohrung Brümmerhof Z1 an der Nordostflanke des Salzstocks keine mesozoischen Gesteine erbohrt wurden, sondern Tertiär und Zechstein direkt aufeinander folgen. Entsprechend besteht die Möglichkeit eines direkten Kontakts zwischen quartären Lockersedimenten und dem Zechsteinsalinar im Scheitelbereich des Salzstocks. Diese Informationen haben offenbar keinen Eingang in die Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien gefunden und sollten im weiteren Verfahren auf jeden Fall berücksichtigt werden.

Relevante Fragestellungen

Aus der Befassung mit der Ausweisung der Salzstöcke Brümmerhof (032), Taaken/Scheeßel/Ostervesede (033), Stemmen/Otter-Todtshorn (034), Bevern/Hamelwörde/Krempe/Lägerdorf (063) und Basdahl/Armstorf/Odisheim/Osterbruch/Belmhusen/Süderhastedt/Tellingstedt/Pahlhude/Grevenhorst (068) als Teilgebiete im Rahmen des Standortauswahlverfahrens für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle können einige konkrete Fragestellungen an die BGE als Vorhabenträgerin des Standortauswahlverfahrens abgeleitet werden:

- Wie sind die deutlichen Unterschiede hinsichtlich der Tiefenangaben der Salzstrukturen Brümmerhof und Taaken zu erklären?
- Warum werden Schichtenverzeichnisse von Bohrungen als nicht entscheidungserheblich eingestuft und daher nicht veröffentlicht, während gleichzeitig nach Angabe des Fachberichts zur Anwendung der Mindestanforderungen diese Informationen zur Entscheidung über die Eignung von Salzstöcken als Wirtsgestein für ein Endlager genutzt werden?
- Warum wird der Salzstock Brümmerhof hinsichtlich der Überdeckung mit grundwasserhemmenden und erosionshemmenden Gesteinen als günstig bewertet, obwohl aus Literaturangaben und einer Bohrung im Randbereich des Salzstocks gefolgert werden kann, dass am Top des Salzstocks weder tertiäre noch mesozoische Gesteine zu erwarten sind und ein direkter Kontakt zwischen quartären Lockersedimenten und dem Zechsteinsalz als wahrscheinlich anzusehen ist?

Literaturverzeichnis

- Appel, D.; Baltus, 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 2A (zum Fachbericht Teilgebiete und Anwendung Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG), Literaturreferenzen: Teil A (Teilgebiete). Peine, 22.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020d): Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG. Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020e): Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG. Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020f): Arbeitshilfe zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG. Peine, 03.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020g): Datenbericht Teil 1 von 4, Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020h): Datenbericht Teil 3 von 4, Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020i): Interaktive Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete. Online verfügbar unter <https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>.
- 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.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020l): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG. Peine, 28.09.2020.

- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020m): Anlage 1 (zum Datenbericht zu den Ausschlusskriterien gemäß § 22 Stand AG), Entscheidungserhebliche Daten zum Ausschlusskriterium „aktive Störungszone“, 21.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020n): Kompaktsteckbrief zu Teilgebiet 033_00TG_052_00IG_S_s_z, in Zwischenbericht Teilgebiete gemäß §13 StandAG (Geschäftszeichen: SG01101/16-1/2-2019#3 - Objekt-ID: 755925 - Revision: 000). Peine, 28.09.2020, zuletzt geprüft am 01.07.2021.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020o): Kompaktsteckbrief zu Teilgebiet 034_00TG_054_00IG_S_s_z, in Zwischenbericht Teilgebiete gemäß §13 StandAG (Geschäftszeichen: SG01101/16-1/2-2019#3 - Objekt-ID: 755925 - Revision: 000). Peine, 28.09.2020, zuletzt geprüft am 01.07.2021.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020p): Kompaktsteckbrief zum Teilgebiet 032_00TG_051_00IG_S_s_z, in Zwischenbericht Teilgebiete gemäß §13 StandAG (Geschäftszeichen: SG01101/16-1/2-2019#3 - Objekt-ID: 755925 - Revision: 000). Peine, 28.09.2020, zuletzt geprüft am 22.06.2021.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020q): Kompaktsteckbrief zum Teilgebiet 063_00TG_149_00IG_S_s_z-ro, in Zwischenbericht Teilgebiete gemäß §13 StandAG (Geschäftszeichen: SG01101/16-1/2-2019#3 - Objekt-ID: 755925 - Revision: 000). Peine, 28.09.2020, zuletzt geprüft am 22.06.2021.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020r): Kompaktsteckbrief zum Teilgebiet 068_00TG_163_00IG_S_s_z-ro, in Zwischenbericht Teilgebiete gemäß §13 StandAG (Geschäftszeichen: SG01101/16-1/2-2019#3 – Objekt-ID: 755925 – Revision: 000). Peine, 28.09.2020, zuletzt geprüft am 01.07.2021.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020s): Steckbrief 007_00TG_202_02IG_T_f_kru, Wirtsgestein: Tongestein. Geschäftszeichen: SG02102/5-5/2-2020#12 - Objekt-ID: 829573 - Revision: 000. Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020t): Steckbrief 032_00TG_051_00IG_S_s_z, Wirtsgestein: Steinsalz in steiler Lagerung. Geschäftszeichen: SG02102/5-5/2-2020#12 - Objekt-ID: 829573 - Revision: 000. Peine, 28.09.2020, zuletzt geprüft am 02.06.2021.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020u): Steckbrief 033_00TG_052_00IG_S_s_z, Wirtsgestein: Steinsalz in steiler Lagerung. Geschäftszeichen: SG02102/5-5/2-2020#12 - Objekt-ID: 829573 - Revision: 000. Peine, 28.09.2020, zuletzt geprüft am 02.06.2021.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020v): Steckbrief 034_00TG_054_00IG_S_s_z, Steinsalz in steiler Lagerung. Geschäftszeichen: SG02102/5-5/2-2020#12 - Objekt-ID: 829573 - Revision: 000. Peine, 28.09.2020, zuletzt geprüft am 18.06.2021.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020w): Steckbrief 063_00TG_149_00IG_S_s_z-ro, Steinsalz in steiler Lagerung. Geschäftszeichen: SG02102/5-5/2-2020#12 - Objekt-ID: 829573 - Revision: 000. Peine, 28.09.2020, zuletzt geprüft am 18.06.2021.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020x): Steckbrief 068_00TG_163_00IG_S_s_z-ro, Steinsalz in steiler Lagerung. Geschäftszeichen: SG02102/5-

5/2-2020#12 - Objekt-ID: 829573 - Revision: 000. Peine, 28.09.2020, zuletzt geprüft am 18.06.2021.

- 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. InSpEE, 21.03.2016.
- Bischoff, M.; Gestermann, N.; Pasternak, M.; Plenefisch, T.; Schindewolf, A. (2019): Bericht zu den Erdbeben bei Lastrup (LK Cloppenburg) im September und Kotober 2018, $M_L \leq 3,6$, Seismologische Auswertung. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover, Februar 2019.
- Bischoff, M.; Gestermann, N.; Pasternak, M.; Plenefisch, T.; Schindewolf, A. (2020): Bericht zu den Erdbeben bei Kirchlinteln (Landkreis Verden) am 20. November 2019, $M_L \leq 3,1$, Seismologische Auswertung. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover, März 2020.
- 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.; Krohn, J.; Neles, J. (2021): Kurz-Beratung zum Zwischenbericht Teilgebiete für den Landkreis Lüchow-Dannenberg. Öko-Institut e. V., 24.02.2021. Online verfügbar unter https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Kurzberatung_Zwischenbericht_Teilgebiete_Landkreis_Luechow_Dannenberg.pdf, zuletzt geprüft am 20.07.2021.
- 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.
- 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 Salzschieben (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*.
- Grünthal, G. (2020): Kernteil der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS-98) in deutscher Übersetzung. Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 2020. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.2312/ems-98.core.de>, zuletzt geprüft am 22.07.2021.
- Hübscher, C. (2021): Auswirkungen zukünftiger Vereisungen, Ausschlusskriterien und „Lernendes Verfahren“. Fachkonferenz Teilgebiete, 1. Beratungstermin. Veranstalter: Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE), 06.02.2021.
- 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](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.
- Kaiser, D.; Spies, T. (2020): Anwendung des Ausschlusskriteriums Seismische Aktivität. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover, August 2020.
- 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.
- May, F. (2021): Prognosen und Ausschlussgebiete für zukünftig zu erwartende vulkanische Aktivität. Fachkonferenz Teilgebiete, 1. Beratungstermin. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Veranstalter: Fachkonferenz Teilgebiete, 05.02.2021.
- 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.
- Stück, H.; Bense, F.; Frenzel, B.; Henneberg, M.; Kneuker, T.; Lang, J.; Mertineit, M.; Noack, V.; Pollok, L. (2020): Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover/Berlin, April 2020.