

## Landkreis Leer: Prüfung der Bewertung einzelner Teilgebiete auf Grundlage des Zwischenberichts Teilgebiete der BGE mbH

Darmstadt, 20.09.2021

### **Autorinnen und Autoren**

Dr. Saleem Chaudry  
Öko-Institut e.V.

Judith Krohn  
Öko-Institut e.V.

### **Kontakt**

[info@oeko.de](mailto:info@oeko.de)  
[www.oeko.de](http://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

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2 Teilgebiete im Gebiet des Landkreises Leer</b>	<b>7</b>
<b>3 Anwendung von Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien</b>	<b>11</b>
<b>4 Ausschlusskriterien</b>	<b>13</b>
<b>4.1 Anwendung der Ausschlusskriterien im Bereich des Teilgebietes 046 (Salzstock Lisa) sowie der Teilgebiete 006 und 007 im Landkreis Leer, Schlussfolgerungen und Bewertung</b>	<b>16</b>
<b>5 Wirtsgesteine und Mindestanforderungen</b>	<b>23</b>
<b>5.1 Anwendung der Mindestanforderungen im Bereich des Teilgebietes 046 (Salzstock Lisa) sowie der Teilgebiete 006 und 007 im Landkreis Leer, Schlussfolgerungen und Bewertung</b>	<b>25</b>
<b>6 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien</b>	<b>32</b>
<b>6.1 Anwendung der Abwägungskriterien für das Teilgebiet 046 (Salzstock Lisa)</b>	<b>41</b>
<b>6.2 Schlussfolgerungen und Bewertung zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien für das Teilgebiet 046 (Salzstock Lisa)</b>	<b>43</b>
<b>6.3 Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien auf die Teilgebiete 006 (Unterjura-Tongestein) und 007 (Unterkreide-Tongestein), Schlussfolgerungen und Bewertung in Kurzform</b>	<b>44</b>
<b>7 Prüfung von Daten und Literatur</b>	<b>48</b>
<b>8 Zusammenfassende Bewertung</b>	<b>50</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>53</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Geographische Lage der Teilgebiete	7
Abbildung 2-2: Übersichtskarte des Teilgebiets 006_00TG_188_00IG_T_f_ju	8
Abbildung 2-3: Übersichtskarte des Teilgebiets 007_00TG_202_02IG_T_f_kru	9
Abbildung 2-4: Übersichtskarte des Teilgebiets 046_00TG_090_00IG_S_s_z	10
Abbildung 4-1: Aktive Störungzonen im Bereich des Salzstocks Lisa (046)	17
Abbildung 4-2: Lage der Bohrung Nordsee (D) A 1	20
Abbildung 5-1: Bohrungen im Bereich des Teilgebiets 006 im Landkreis Leer	30
Abbildung 5-2: Teilgebietssegment 007 im Landkreis Leer	31

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Teilgebiete im Landkreis Leer	8
Tabelle 4-1:	Aktive Störungszonen im Bereich des Salzstocks Lisa (046)	18
Tabelle 5-1:	Zuordnung identifizierter Gebiete innerhalb der Teilgebiete	26
Tabelle 5-2:	Charakteristika der betrachteten Teilgebiete zur Anwendung der Mindestanforderungen	27
Tabelle 5-3:	Strukturinformationen zum Salzstock Lisa (046)	28

## 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 die Vorhabenträgerin, die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE), der Zwischenbericht Teilgebiete vorgelegt. Damit wurde in der Phase 1 des Standortauswahlgesetzes ein Zwischenschritt und wichtiger Meilenstein erreicht.

Der Zwischenbericht Teilgebiete<sup>1</sup> benennt die Teilgebiete, die nicht auf Basis der Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG ausgeschlossen wurden, die alle Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG erfüllen und die nach Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG als günstig bewertet wurden. Bei der Festlegung von Größe und Grenzen eines Teilgebietes orientiert sich die Vorhabenträgerin an der Verbreitung endlagerrelevanter stratigraphischer<sup>2</sup> Einheiten und Wirtsgesteine. Somit können Teilgebiete einander überlappen bzw. übereinander liegen.

Mit Schreiben vom 26. Juli 2021 beauftragte der Landkreis Leer das Öko-Institut e. V., die von der BGE vorgenommene Bewertung des Teilgebiets 046\_00TG\_090\_00IG\_S\_s\_z auf Grundlage der von der BGE mbH im Rahmen des Zwischenberichts Teilgebiete veröffentlichten Daten sowie ggf. weiterer Literatur hinsichtlich Plausibilität der Bewertung und Konformität mit dem Standortauswahlgesetz zu prüfen. Darüber hinaus die Teilgebiete 006\_00TG\_188\_00IG\_T\_f\_ju und 007\_00TG\_202\_T\_f\_kru jeweils in Kurzform betrachtet werden.

Im vorliegenden 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 Teilgebiete und die Ergebnisse der BGE eingegangen sowie eine Bewertung der Kriterienanwendung vorgenommen.

Darüber hinaus werden Erkenntnisse zu Daten und Literatur, die zur Kriterienanwendung und Ausweisung der Teilgebiete im Landkreis Leer genutzt wurden, hinsichtlich Relevanz zusammengestellt und eine kursorische Literaturrecherche zu weiterer, nicht verwendeter Literatur durchgeführt. Abschließend erfolgt eine Zusammenfassung relevanter Fragestellungen, die von Seiten des Landkreises Leer zur Formulierung von Stellungnahmen genutzt werden können. Zudem werden Hinweise zu Beteiligungsmöglichkeiten des Landkreises Leer im weiteren Standortauswahlprozess gegeben.

---

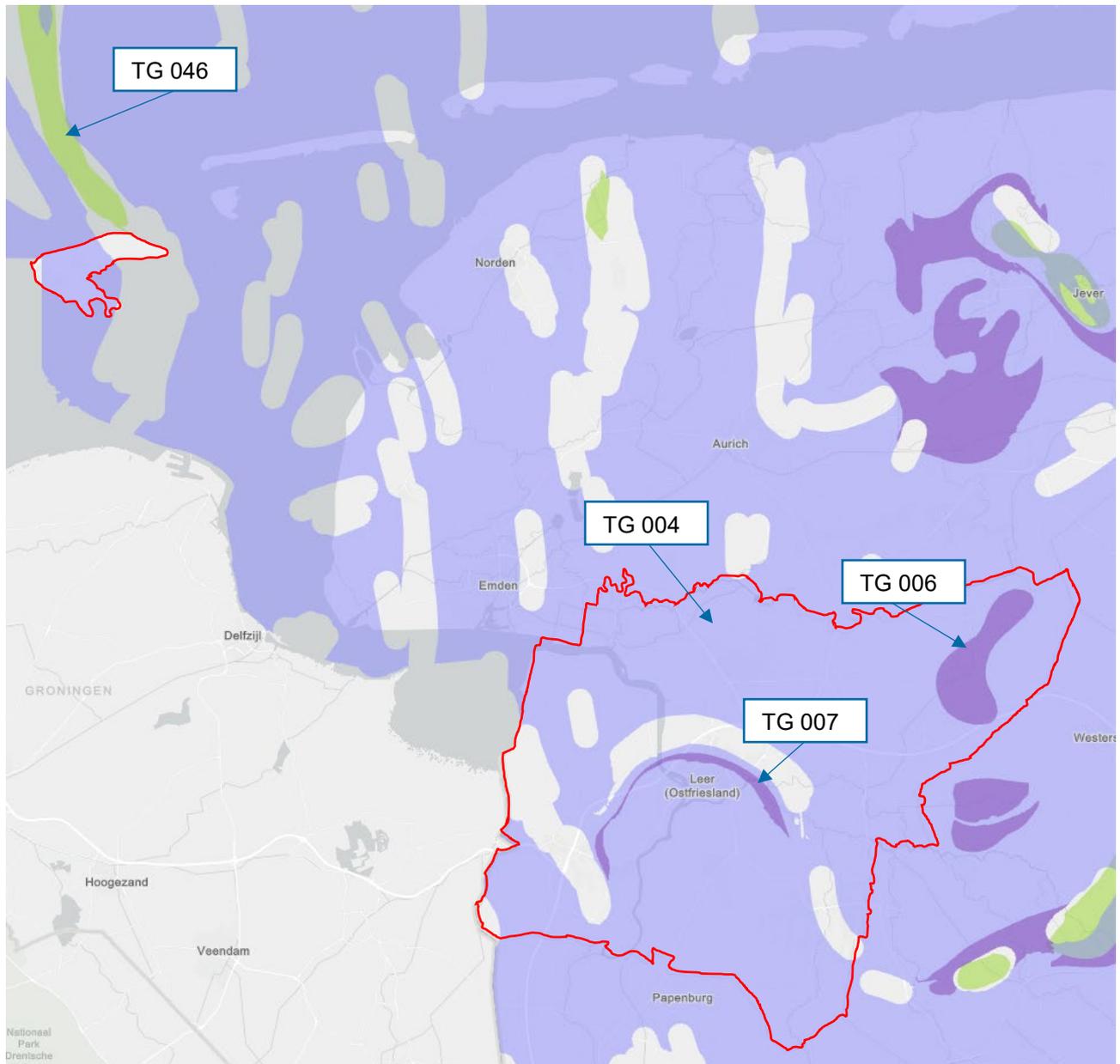
<sup>1</sup> <https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>

<sup>2</sup> Als Stratigraphie wird innerhalb der Geologie die Lehre von der zeitlichen und räumlichen Abfolge der Gesteinseinheiten bezeichnet. Neben international harmonisierten stratigraphischen Einteilungen werden häufig abweichende nationale stratigraphische Tabellen verwendet. So dauerte beispielsweise die Periode des Perm von etwa 299 bis 252 Millionen Jahren (Ma) vor heute; innerhalb des Perm wird international noch zwischen den Epochen Unter-, Mittel- und Oberperm unterschieden, die jeweils durch Stufen weiter gegliedert werden. In Norddeutschland wird das Perm davon abweichend historisch in die Abschnitte Rotliegendes (Unterperm, bis vor etwa 258 MA) und Zechstein (Oberperm) unterteilt.

## 2 Teilgebiete im Gebiet des Landkreises Leer

Im Gebiet des Landkreises Leer wurden insgesamt vier Teilgebiete ausgewiesen, die in Tabelle 2-1 zusammengestellt sind. Neben Teilgebieten im Tongestein ist der Salzstock Lisa (046) als Teilgebiet benannt. Im Folgenden werden zur besseren Lesbarkeit nur die Teilgebietsnummer oder die Ortsbezeichnung des Teilgebiets verwendet. Abbildung 2-1 zeigt die Lage der Teilgebiete. Der Salzstock Lisa befindet sich nördlich der Insel Borkum.

Abbildung 2-1: Geographische Lage der Teilgebiete



Legende:

Tertiäres Tongestein  
 Steinsalz in steiler Lagerung

Prätertiäres Tongestein  
 Gemarkungsgrenze

Quelle: Kartenausschnitt der interaktiven Karte zum Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020i). In rot sind die Grenze des Landkreises Leer und der Umriss der zugehörigen Insel Borkum eingezeichnet.

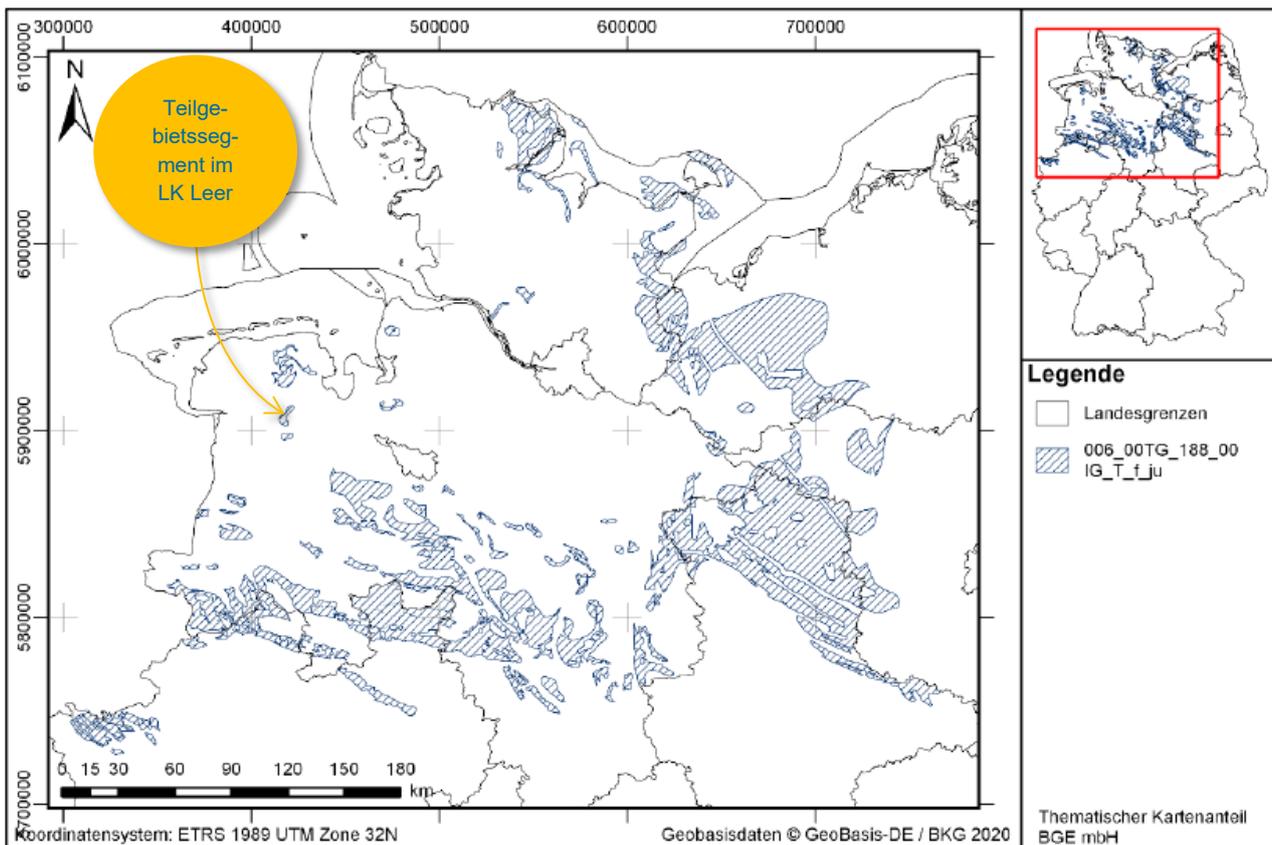
**Tabelle 2-1: Teilgebiete im Landkreis Leer**

Teilgebiet / ggf. Name	Wirtsgestein	Stratigraphie/Erdzeitalter
004_00TG_053_00IG_T_f_tpg	Tongestein	Tertiär (Unteres Paläogen)
006_00TG_188_00IG_T_f_ju	Tongestein	Unterjura
007_00TG_202_02IG_T_f_kru	Tongestein	Unterkreide
046_00TG_090_00IG_S_s_z	Steinsalz in steiler Lagerung	Zechstein

Quelle: Eigene Darstellung

Teilgebiete können aus mehreren Segmenten bestehen, die in der Kartendarstellung als separierte Flächen erscheinen, von der BGE im Zwischenbericht aber als ein Teilgebiet ausgewiesen werden. Am Beispiel der Teilgebiete 006 und 007 kann dies verdeutlicht werden. Beide Teilgebiete liegen jeweils nur mit einem Segment innerhalb der Landkreisgrenze (siehe Abbildung 2-2 und Abbildung 2-3). 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 2-2: Übersichtskarte des Teilgebiets 006\_00TG\_188\_00IG\_T\_f\_ju**

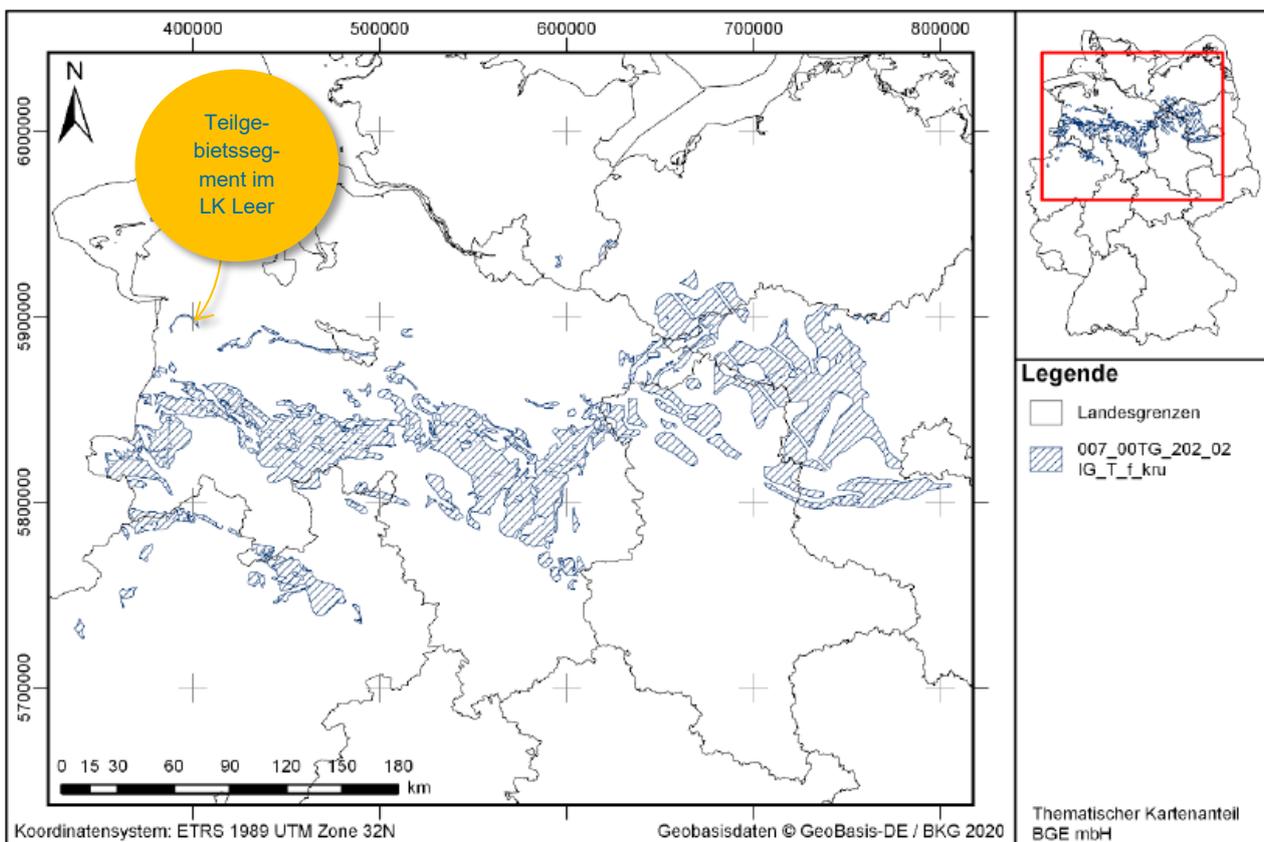


Quelle: Kompaktsteckbrief zum Teilgebiet 006\_00TG\_188\_00IG\_T\_f\_ju (BGE 2020n) mit Hinweis (Öko-Institut e.V.)

Das Teilgebiet 006 erstreckt sich auf einer Fläche von 18.564 km<sup>2</sup> (siehe Abbildung 2-2). Es besteht aus Tongesteinen, die im Erdzeitalter des unteren Jura (vor etwa 201,5 bis 174 Millionen Jahren), der auch als Lias bezeichnet wird, in Norddeutschland gebildet wurden.

Bei Teilgebiet 007 handelt es sich um ein weit verzweigtes Teilgebiet, das sich über Teile mehrerer Bundesländer erstreckt (siehe Abbildung 2-3). Es beschreibt die Verbreitung von Tongestein, das im Unterkreide-Zeitalter (vor etwa 145 bis 101 Millionen Jahren) entstanden ist. Zu Beginn der Unterkreide entwickelte sich im heutigen Niedersächsischen Becken ein großer Binnensee, der mit dem offenen borealen Nordmeer nur durch enge und flache Korridore verbunden war. Da sich über den gesamten Zeitraum der Unterkreide Sedimente in diesem Becken ablagern konnten, die als Verwitterungsschutt von den umgebenden Festlandsschollen eingetragen wurden, geht die BGE (2020r) davon aus, dass im beckenzentralen Bereich mit einer hauptsächlichen Ablagerung von Tongestein gerechnet werden kann. Aufgrund von Schwankungen des Meeresspiegels innerhalb der Unterkreide kann es lokal zur Ablagerung von sandigen Lagen gekommen sein. Am Rand der Beckenbereiche liegen teils mächtige Sandschüttungen. Sandige Gesteine weisen grundlegend andere Gesteinseigenschaften als Tongesteine auf (BGE 2020r).

**Abbildung 2-3: Übersichtskarte des Teilgebiets 007\_00TG\_202\_02IG\_T\_f\_kru**

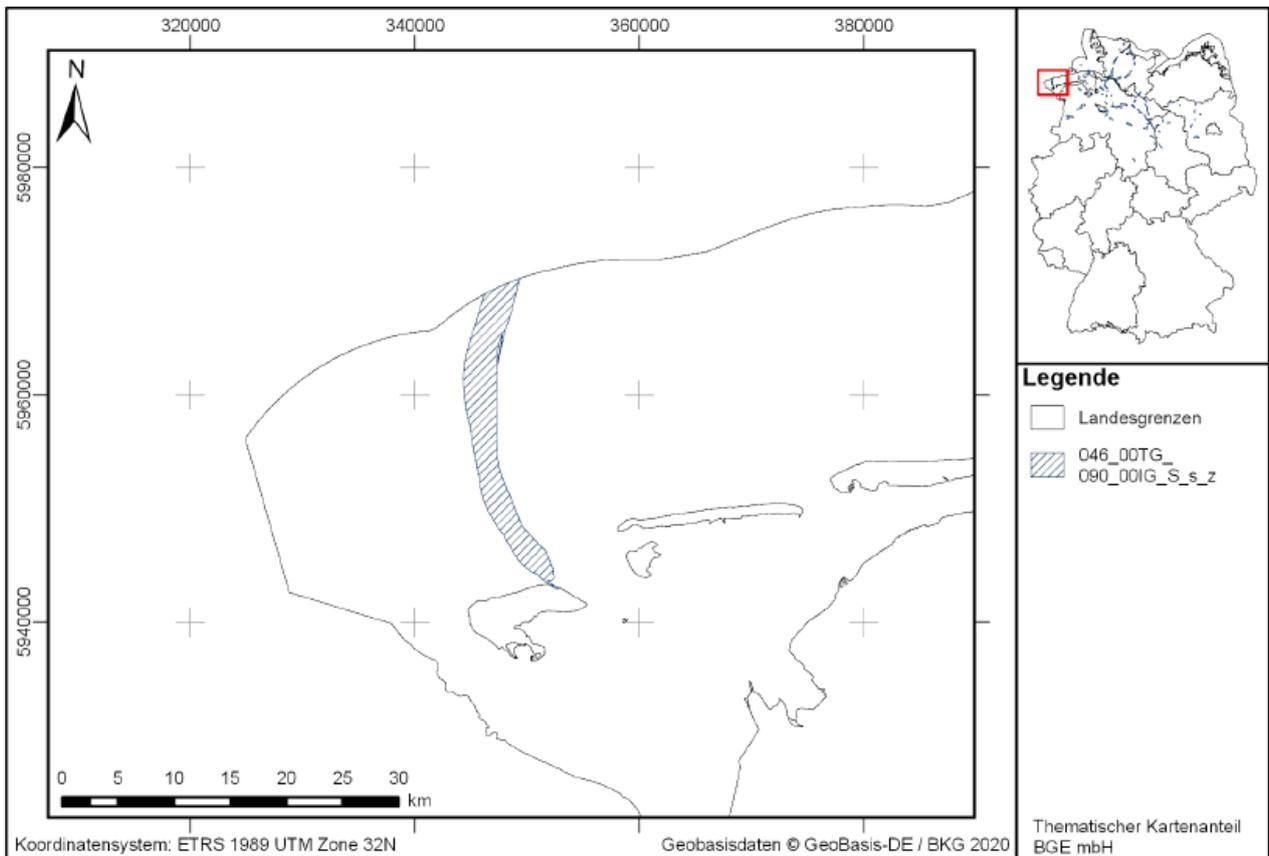


Quelle: Kompaktsteckbrief zum Teilgebiet 007\_00TG\_202\_02IG\_T\_f\_kru (BGE 2020o) mit Hinweis (Öko-Institut e.V.)

Beim Teilgebiet 046 handelt es sich um ein Zechsteinsalinar (Übersichtskarte siehe Abbildung 2-4). Als Salinare werden Vorkommen von Salzgestein bezeichnet, die im Laufe der Erdgeschichte durch

Evaporation, d. h. Eindunstung von Meerwasser<sup>3</sup>, entstanden. In Europa wurden die mächtigsten und am weitesten verbreiteten Salinare im Erdzeitalter des Zechsteins (vor etwa 257 bis 252 Millionen Jahren) gebildet. Die ursprüngliche Mächtigkeit der Zechsteinsedimente im ostfriesischen Raum betrug etwa 1.200 m (LIAG 2016).

**Abbildung 2-4: Übersichtskarte des Teilgebiets 046\_00TG\_090\_00IG\_S\_s\_z**



Quelle: (BGE 2020p)

Darüber hinaus wurde ein weiteres Gebiet – Bunde/ Jemgum/ Leer/ Rhaude/ Scharrel (045\_00IG\_S\_s\_z) – im Landkreis Leer von der BGE identifiziert, das jedoch nicht als Teilgebiet ausgewiesen wurde. Identifizierte Gebiete genügen den Mindestanforderungen, wurden aber auf Basis der geologischen Abwägungskriterien als „nicht günstig mit Blick auf die geologische Gesamtsituation“ (BGE 2020l) bewertet (siehe auch Kapitel 3).

<sup>3</sup> 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 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 und 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 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 dargestellt.

Wesentliche Grundlage für die Bewertung 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 beschrieben. Die Darstellung geht allerdings nicht auf die einzelnen ausgeschlossenen Gebiete ein oder liefert Begründungen für den jeweiligen Ausschluss. Während die im Zwischenbericht ausgewiesenen Teilgebiete einzeln beschrieben werden, sind ausgeschlossene Gebiete nur in einer Deutschlandkarte dargestellt. Die Identifikation ausgeschlossener Gebiete im Umfeld des Salzstocks Lisa ist nur mit Hilfe der interaktiven Kartendarstellung der BGE (BGE 2020i) möglich. Die dort dargestellten ausgeschlossenen Gebiete sind zwar jeweils mit einer Kennung versehen; weitere Informationen zu den einzelnen ausgeschlossenen Gebieten 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. Vor Anwendung der Mindestanforderungen wurden alle stratigraphischen Einheiten in Deutschland hinsichtlich ihrer potentiellen Eignung dahingehend bewertet, ob für den jeweiligen Gesteinstyp anhand seiner Gebirgsdurchlässigkeit und der Kenntnisse über seine Barrierewirkung sowie einer Mindestmächtigkeit von 100 m die Erfüllung dieser Mindestanforderungen erwartet werden kann. Gebiete, die alle Mindestanforderungen erfüllen, werden von der BGE in Anlehnung an § 13 Abs. 2 StandAG als „Identifizierte Gebiete“ bezeichnet.

Durch die Anwendung der **geowissenschaftlichen Abwägungskriterien** soll bewertet werden, „ob in einem Gebiet eine günstige geologische Gesamtsituation“ (StandAG 2017) vorliegt. Dazu werden 11 Kriterien, die jeweils mit einem oder mehreren Indikatoren untersetzt sind, herangezogen. Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien werden in § 24 StandAG sowie den Anlagen 1 bis 11 ausgeführt. Der Vorgehensweise der BGE liegt die Unterlage „Arbeitshilfe zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG“ (BGE 2020f) zugrunde.

Bei der Anwendung der Mehrzahl der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien wird von der BGE auf wirtsgesteinsspezifische Referenzdaten zurückgegriffen. Die Vorhabenträgerin hat zu diesem Zweck einen Referenzdatensatz (BGE 2020j) veröffentlicht. Zur Bewertung der einzelnen

Indikatoren werden darin Referenzwerte oder Argumente aus der Literatur aufgeführt. Nach Aussage der BGE werden möglichst günstige Bewertungen der Gesteinseigenschaften verwendet, um im Sinne eines konservativen Ansatzes bei der Ermittlung von Teilgebieten einen Ausschluss potentiell geeigneter Gebiete möglichst zu vermeiden. Die Referenzdaten für Steinsalz gelten beispielsweise für alle Salzstöcke Deutschlands gleichermaßen.

Einzelne geowissenschaftliche Abwägungskriterien wurden individuell anhand gebietsspezifischer 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. Die Ergebnisse, die sich daraus für den Landkreis Leer ergeben, werden für jedes Ausschlusskriterium erläutert und Schlussfolgerungen diskutiert (Kapitel 4.1).

### Großräumige Vertikalbewegungen

Durch das Ausschlusskriterium *großräumige Vertikalbewegungen* sollen Gebiete ausgeschlossen werden, in denen innerhalb der nächsten eine Million Jahren Hebungen mit Beträgen von mehr als einem Millimeter pro Jahr zu erwarten sind. Zur Anwendung des Kriteriums hat die BGE zwei Datenabfragen bei den geologischen Diensten der Bundesländer und bei Bundesbehörden vorgenommen. 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.

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

### Aktive Störungszonen

Als aktive Störungzone werden gemäß § 22 Abs. 2 Nr. 2. StandAG (2017) „Brüche in den Gesteinschichten 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“. 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 zur Raumlage von Störungen und zu Versatzbeträgen.

Aktive Störungszonen werden im Zwischenbericht Teilgebiete mit einem Sicherheitsabstand von 1000 m beidseitig der Störungsfläche ausgeschlossen. Dieser Abstand wurde 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)<sup>4</sup> liegt. Das entspricht der Mindesttiefe der Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs<sup>5</sup> (ewG) gemäß § 23 Abs. 5 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 fortsetzen.

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 Kontinentalabhängigen), 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.

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. 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 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.

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 Gebiete mit Bergwerken, deren Hohlräume im endlagerrelevanten Tiefenbereich von 300 m 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

---

<sup>4</sup> Die Geländeoberkante (GOK) ist in den Geowissenschaften und in der Geotechnik die Bezeichnung für die natürliche oder anthropogene Erdoberfläche auf dem trockenen Land.

<sup>5</sup> Der Teil des Wirtsgesteins, der den sicheren Einschluss des radioaktiven Abfalls gewährleistet.

selbst unter Zugrundelegung der maximalen horizontalen Ausdehnung des Grubengebäudes, der maximalen Teufe und eines Grenzwinkels bestimmt.

### 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). Hervorzuheben ist, dass der Nationale Anhang zur DIN EN 1998-1 zwischenzeitlich überarbeitet und im Juli 2021 veröffentlicht wurde. Die BGE beabsichtigt, den aktualisierten Anhang im weiteren Standortauswahlverfahren zu berücksichtigen.

### Vulkanische Aktivität

Die BGE hat zur Anwendung des Ausschlusskriteriums *Vulkanische Aktivität* bei den Geologischen Diensten der Bundesländer und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Daten zu Gebieten abgerufen, in denen quartärer<sup>6</sup> 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 berücksichtigt.

### 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 wird darauf hingewiesen, dass „die Konzentration der Isotope Tritium [<sup>3</sup>H] und Kohlenstoff-14 [<sup>14</sup>C] im Grundwasser des vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereiches oder Einlagerungsbereiches“ (Appel et al. 2002) 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

---

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

zielführend“ beschrieben (BGE 2020d). Stattdessen „erfolgt eine punktuelle Ermittlung ausgeschlossener Gebiete“ (BGE 2020d).

In zwei Datenabfragen wurden Informationen zum Grundwasseralter,  $^3\text{H}$ - und  $^{14}\text{C}$ -Gehalten sowie Lage, Bezeichnung der hydrogeologischen Einheit etc. bei den Bundes- und Landesbehörden abgefragt. Im Ergebnis zeigt sich, dass alle Datenpunkte mit relevanten Informationen zum Grundwasseralter entweder durch Bohrungen oder Bergwerke bereits im Rahmen des Ausschlusskriteriums „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 im Bereich des Teilgebietes 046 (Salzstock Lisa) sowie der Teilgebiete 006 und 007 im Landkreis Leer, Schlussfolgerungen und Bewertung

Im Folgenden wird die Anwendung der Ausschlusskriterien durch die BGE zunächst im Bereich des Teilgebiets 046 dargestellt und eine Bewertung hinsichtlich Nachvollziehbarkeit und Plausibilität vorgenommen. Auf die Segmente der Teilgebiete 006 und 007 innerhalb des Landkreises Leer wird in Kurzform eingegangen.

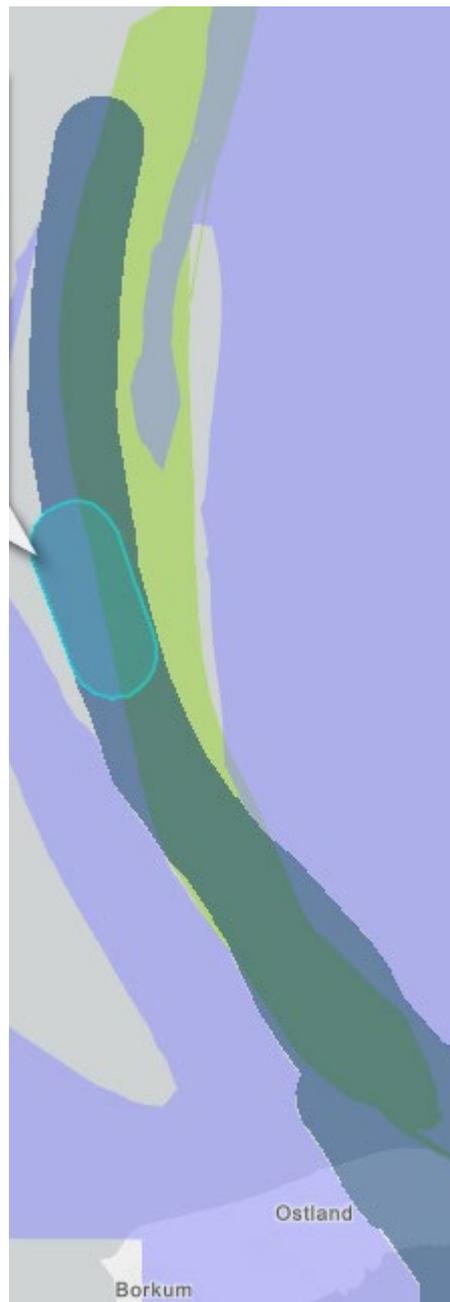
##### Großräumige Vertikalbewegungen

Durch Anwendung des Ausschlusskriteriums *großräumige Vertikalbewegungen* wird von der BGE im Rahmen des Zwischenberichts Teilgebiete kein Ausschluss vorgenommen; entsprechend wird auch im Landkreis Leer kein Gebiet aufgrund dieses Kriteriums ausgeschlossen. Die Begründung, Hebungsraten von 1000 m werden im Nachweiszeitraum nicht erreicht, ist auf Basis der vorliegenden Daten nachvollziehbar, sollte aber im Laufe des Verfahrens wissenschaftlich diskutiert werden. Möglicherweise entspricht das Ausschlusskriterium in seiner derzeitigen Form nicht den Erfordernissen einer auf Langzeitsicherheit gerichteten Berücksichtigung von Hebungsbewegungen der Erdkruste (siehe dazu auch Kapitel 0) und sollte präzisiert werden.

##### Aktive Störungszonen

Durch die Anwendung des Ausschlusskriteriums *aktive Störungszonen* wurden im Bereich des Salzstocks Lisa (046) aktive Störungszonen ausgewiesen, siehe Abbildung 4-1. Dunkelblau dargestellt sind die ausgeschlossenen Gebiete, ausgewählt und türkis umrandet daraus das ausgeschlossene Gebiet 0002363AG(2.1); in grün ist die Ausdehnung des Salzstocks zu sehen, tertiäre Tongesteine sind veilchenblau gekennzeichnet. Die Teilgebiete sowie die Störungszonen sind farblich so dargestellt, dass sich die Farben überlagern. Im Nordosten wird der Salzstock Lisa (046) beispielsweise von Tongesteinen des Tertiär (004) überlagert.

**Abbildung 4-1: Aktive Störungszonen im Bereich des Salzstocks Lisa (046)**



Legende:

	Tertiäres Tongestein		Steinsalz in steiler Lagerung
	Aktive Störungsszone		

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

Mit Hilfe der Darstellung in der interaktiven Karte (BGE 2020i) wurden im Bereich des Salzstocks Lisa 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 des Salzstocks Lisa (046)**

Salzstock/Teilgebiet	Ident-Nr. der aktiven Störungszonen		
<b>TG 046: Lisa</b>	0002363AG(2.1)	0002364AG(2.1)	0002365AG(2.1)
	0002376AG(2.1)	0002500AG(2.1)	0002707AG(2.1)
	0002868AG(2.1)	0002903AG(2.1)	0002904AG(2.1)
	0003071AG(2.1)	0003048AG(2.1)	0003118AG(2.1)
	0003224AG(2.1)	0003228AG(2.1)	0003445AG(2.1)
	0003446AG(2.1)	0003447AG(2.1)	0003448AG(2.1)
	0003451AG(2.1)	0003953AG(2.1)	0003955AG(2.1)
	0003956AG(2.1)		

Quelle: Eigene Darstellung

Die in der interaktiven Karte (BGE 2020i) verwendeten Ident-Nummern stimmen nicht mit den Nummerierungen in der Anlage 1 zum „Datenbericht Ausschlusskriterium gemäß § 22 StandAG“ (BGE 2020m) überein, die „alle entscheidungserheblichen Daten für die Anwendung des Ausschlusskriteriums „aktive Störungszonen“ darstellt, 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 der Anlage zu den in der interaktiven Karte dargestellten Störungszonen zum jetzigen Zeitpunkt nur der BGE möglich.

Die ausgeschlossenen Gebiete überlagern das Teilgebiet 046. Die aktiven Störungszonen sind in der interaktiven Kartendarstellung (BGE 2020i) je etwa 2 km breit dargestellt. Daher kann davon ausgegangen werden, dass sie auf Grund von Störungsspuren ausgewiesen wurden und die genaue Raumlage der Störungen nicht bekannt ist. Die Überlagerung mit dem Teilgebiet 046 zeigt, dass von der BGE die Störungsspur nicht „von der Geländeoberkante vertikal in alle endlagerrelevanten Tiefen projiziert“ (BGE 2020d) wurde, sondern sich nur auf die Sedimentgesteine im Hangenden des Salzstocks auswirkt. Das lässt nur den Schluss zu, dass diese Störungen von den Anwendern als Scheitelstörungen des Salzdiapirs<sup>7</sup> interpretiert (siehe hierzu Kapitel 0) wurden. Damit wird lediglich das im Hangenden<sup>8</sup> des Salzstocks Lisa (046) anstehende Tongesteinsvorkommen des Tertiär (Teilgebiet 004) ausgeschlossen.

Grundsätzlich wird im Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020I) hinsichtlich Scheitelstörungen an Salzstöcken davon ausgegangen, dass „sich Scheitelstörungen auf das Deckgebirge von Salzstrukturen beschränken“ und „die Barrierewirksamkeit einer Salzstruktur damit erhalten“ bleibe (BGE 2020I) (siehe dazu auch Kapitel 0). Diese Annahme wird in der Fachliteratur jedoch weit differenzierter diskutiert (bspw. Stück et al. (2020), Frisch und Kockel (2004)). Das Vorgehen der BGE hinsichtlich der Behandlung von Scheitelstörungen oberhalb von Salzstrukturen 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.

<sup>7</sup> Die Begriffe Salzdiapir und Salzstock werden im Rahmen dieses Berichts synonym verwendet.

<sup>8</sup> Als Hangendes werden die eine Gesteinseinheit überlagernden Gesteine bezeichnet, als Liegendes die unterlagernden Einheiten.

Auch in der Fachliteratur sind Hinweise zum Deckgebirge des Salzstocks enthalten. Nach (Jaritz 1983) wird das Deckgebirge des Salzstock Borkum Nord „von einem kräftigem Scheitelgraben durchsetzt“. Als Borkum-Nord wird von Jaritz der nördlich gelegene Teil der Salzmauer<sup>9</sup> bezeichnet, die sich ungefähr in Nord-Süd-Richtung vom Groninger Wad westlich Eemshaven über die Ostspitze von Borkum und weiter in nördlicher Richtung seewärts erstreckt. Dieser Salzstock nördlich Borkum wird im Zwischenbericht Teilgebiete als Salzstock Lisa bezeichnet.

Im Rahmen der Befassung mit atektonischen Vorgängen sind die möglichen Konsequenzen eines Wasserzutritts zu Anhydritvorkommen<sup>10</sup> im Untergrund als Ursache für Störungen nicht berücksichtigt worden. Ein solches Ereignis hat in der Regel Konsequenzen auf das lokale Störungs-Regime; die Volumenvergrößerung durch die Umwandlung von Anhydrit zu Gips sollte als mögliche atektonische Ursache für die Bildung von aktiven Störungszonen bei der zukünftigen Anwendung des Ausschlusskriteriums berücksichtigt werden (siehe auch Chaudry und Neles (2020)).

Für den Zwischenbericht Teilgebiete als ersten Schritt in Phase 1 des Standortauswahlverfahrens kann das Vorgehen der BGE zum Ausschluss aktiver Störungszonen als nachvollziehbar angesehen werden und trägt dem von der BGE formulierten Verfahrensgrundsatz Rechnung, „ausgeschlossene Gebiete im Zweifel flächenhaft eher zu unter- als zu überschätzen“ (BGE 2020d). Der Hinweis auf das Vorhandensein eines „kräftigen Scheitelgrabens“ (Jaritz 1983) sollte im weiteren Verfahren vor einer erneuten Anwendung des Ausschlusskriteriums *Aktive Störungszonen* überprüft werden, sollte der Salzstock Lisa als Standortregion ausgewiesen werden. Sollte das Deckgebirge des Salzstocks Lisa nicht nur von einzelnen (Scheitel-)Störungen, sondern von einer Grabenstruktur durchzogen sein, muss unter Umständen ein deutlich größerer Teil des Deckgebirges ausgeschlossen werden. Auch die Auswirkungen einer Grabenstruktur auf die Schutzfunktion des Deckgebirges (geowissenschaftliches Abwägungskriterium 11, siehe Kapitel 0) sind in diesem Fall möglicherweise neu zu bewerten.

### **Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit**

Durch die Anwendung des Ausschlusskriteriums *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit* wurde im Bereich des Salzstocks Lisa kein Ausschluss aufgrund von Bohrungen oder Bergwerken vorgenommen. Auch diese Ausschlussgebiete lassen sich lediglich anhand der interaktiven Karte identifizieren.

In der unmittelbaren Umgebung des Salzstocks Lisa wird im Zwischenbericht Teilgebiete ein ausgeschlossenes Gebiet aufgrund einer Bohrung ausgewiesen. Es trägt die Ident-Nummer 0033492AG(3.2) (zu Ident-Nummern in der interaktiven Kartendarstellung der BGE siehe den vorhergehenden Abschnitt *Aktive Störungszonen*). Nach einer Recherche in der Bohrpunktkarte der

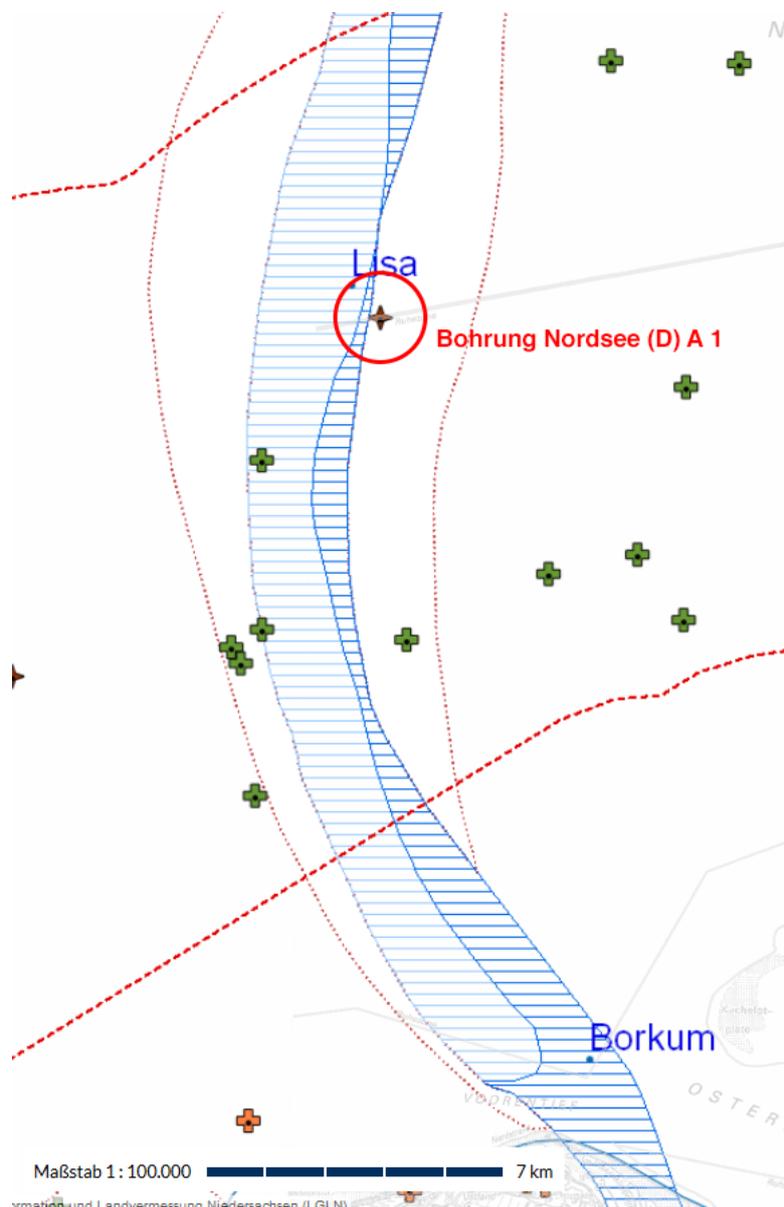
---

<sup>9</sup> Als Salzmauer werden Salzstöcke bzw. steilstehende Salzstrukturen von großer Längenausdehnung relativ zur Breite bezeichnet.

<sup>10</sup> Anhydrit ist ein gesteinsbildendes Mineral aus Calciumsulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) 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 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 %.

BGR<sup>11</sup> und dem NIBIS Kartenserver<sup>12</sup> des niedersächsischen Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) handelt es sich dabei wahrscheinlich um die Bohrung Nordsee (D) A 1 (siehe Abbildung 4-2). Sie wurde von November 1964 bis Mai 1965 bis in eine Tiefe von über 4400 m niedergebracht.

**Abbildung 4-2: Lage der Bohrung Nordsee (D) A 1**



Quelle: Kartenausschnitt aus der Darstellung des NIBIS Kartenservers des LBEG<sup>12</sup>, bearbeitet. Dunkelrot gestrichelt die Begrenzung der deutschen 12-Meilen-Zone in der Nordsee, rot gepunktet die Verbreitung von Gesteinen des Perm, hier der Salzstock Lisa. Dunkelblau horizontal gestreift Gebiete mit Bedeckung durch Gesteine der marinen Unterkreide oder älter, hellblau horizontal gestreift Bedeckung durch jüngere Sedimente als Unterkreide.

Das Vorgehen der BGE zur Berücksichtigung von Einflüssen aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit erscheint aufgrund der dargestellten Datengrundlage angemessen zur Ausweisung von Teilgebieten. Im Sinne eines transparenten Verfahrens gemäß § 1 StandAG sollte eine

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

<sup>12</sup> <https://www.lbeg.niedersachsen.de/kartenserver/nibis-kartenserver-72321.html>

eindeutige und nachvollziehbar dokumentierte Zuordnung ausgeschlossener Gebiete zu den jeweils zugrundeliegenden Daten vorgenommen werden.

### **Seismische Aktivität**

Auf Grund des Kriteriums *Seismische Aktivität* wurde im Bereich des Landkreises Leer und entsprechend auch im Umfeld des Salzstocks Lisa kein Ausschluss vorgenommen. Seismisch aktive Gebiete befinden sich im Wesentlichen im Westen und Südwesten des Bundesgebiets.

Das rein graphische Vorgehen durch die digitale Übertragung einer kleinmaßstäblichen Kartendarstellung führt zwangsläufig zu einer sehr ungenauen Begrenzung der Erdbebenzonen bei der Kriterien-Anwendung. 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 weiteren Verfahren wird das Vorgehen an die Datengrundlage des im Juli 2021 veröffentlichten neuen nationalen Anhangs zur DIN EN 1998-1 angepasst werden müssen. Darüber hinaus sollte im weiteren Verfahren geprüft werden, ob auch durch menschliches Handeln verursachte seismische Aktivität, bspw. durch Druckentlastung des Gebirges in der Folge von Erdgasförderung, im Rahmen des Ausschlusskriteriums berücksichtigt werden muss.

### **Vulkanische Aktivität**

Das Ausschlusskriterium *vulkanische Aktivität* führte im Bereich des betrachteten Teilgebiets 046 zu keinem Ausschluss. Die Gebiete, die aufgrund quartären Vulkanismus‘ ausgeschlossen wurden, befinden sich ausschließlich in der Eifel bzw. im Gebiet des Egergrabens.

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 im Zwischenbericht unberücksichtigt blieb. 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 Leer nicht mit einem Ausschluss zu rechnen.

## Grundwasseralter

Im Bereich des Salzstocks Lisa wurden keine Gebiete durch das Kriterium *Grundwasseralter* ausgeschlossen. Da nur in Bohrungen und Bergwerken Grundwasseralter bestimmt wurden, wurden mit diesem Kriterium im Landkreis Leer wie im gesamten Bundesgebiet keine zusätzlichen Flächen ausgeschlossen.

Im ersten Schritt der 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  $^3\text{H}$ - und  $^{14}\text{C}$ -Isotopenaltern hinausgeht und eine „umfassende Gesamtinterpretation der hydrochemischen und isotopenhydrologischen Grundwasserverhältnisse an einem Standort (in einer Region)“ (Appel et al. 2002) ermöglicht, ohne die das Ausschlusskriterium *Grundwasseralter* im Standortauswahlverfahren keine Wirkung entfalten kann.

Im Bereich der Segmente der Teilgebiete 006 und 007, die innerhalb des Landkreises Leer liegen, wurde kein Ausschluss aufgrund von Ausschlusskriterien vorgenommen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ausgeschlossene Gebiete sich nur dann mit Teilgebieten überlagern können, wenn es sich um Scheitelstörungen an Salinaren, um Bohrungen oder Bergwerke handelt. Alle anderen Ausschlusskriterien führen zu großflächigem Ausschluss, so dass davon betroffene, potentiell geeignete Wirtsgesteine nicht als Teilgebiete ausgewiesen werden bzw. in der Kartendarstellung durch den Ausschluss als Segmente flächenhaft verbreiteter Teilgebiete erscheinen.

## 5 Wirtsgesteine und Mindestanforderungen

Die in § 23 StandAG festgelegten 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 2018) 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.

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 das hier betrachtete Teilgebiet 046 (Salzstock Lisa) 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 ausgefällt<sup>13</sup> 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).

Im Folgenden wird die Anwendung der einzelnen Mindestanforderungen für Steinsalz in steiler Lagerung und für Tongestein dargestellt. Schlussfolgerungen für den Salzstock Lisa und die Segmente der Teilgebiete 006 und 007 im Landkreis Leer werden in Kapitel 5.1 diskutiert und die Anwendung bewertet.

### Gebirgsdurchlässigkeit

Für Steinsalz sowie für Tongestein wird in dieser Phase des Standortauswahlverfahrens grundsätzlich angenommen, dass aufgrund deren bekannter Eigenschaften die Gebirgsdurchlässigkeit ausreichend gering ist (BGE 2020e), um die Mindestanforderung, eine Gebirgsdurchlässigkeit von weniger als  $10^{-10}$  m/s, zu erfüllen. Widersprechende Erkenntnisse liegen bisher nicht vor.

---

<sup>13</sup> 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.

## Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Nach § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG muss der Gebirgsbereich, der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen soll, mindestens 100 m mächtig<sup>14</sup> sein. Im Fachbericht der BGE zur Anwendung der Mindestanforderungen (BGE 2020e) wird dargestellt, dass „für alle steil stehenden Salzstrukturen, die eine Mächtigkeit von mindestens 100 m aufweisen, [...] diese Mindestanforderung im jetzigen Verfahrensschritt als erfüllt“ gilt.

Als Mächtigkeit des ewG in Teilgebieten in Tongestein wurde die Mächtigkeit der stratigraphischen Einheit, in der sich das Tongestein befindet, angegeben. Wie in Kapitel 2 am Beispiel des Teilgebiets 007 dargestellt, bestehen als Teilgebiete in Tongesteinen ausgewiesene stratigraphische Einheiten in aller Regel nicht nur aus Ton, sondern auch aus größeren Gesteinspartikeln wie Silt oder Sand. Im Fachbericht zur Anwendung der Mindestanforderungen wird ausgeführt, dass in als relevante Abfolge identifizierten stratigraphischen Einheiten auch Gesteinsformationen enthalten sein können, die die Mindestanforderungen nicht erfüllen; es lägen allerdings Hinweise vor, die grundsätzlich belegten, dass Tongesteine dieser stratigraphischen Einheit in ausreichender Mächtigkeit vorkommen könnten (BGE 2020e). Diese ungenaue Vorgehensweise im ersten Schritt des Standortauswahlverfahrens wird auf die geringe stratigraphische Auflösung der zur Kriterienanwendung genutzten 3D-Modelle zurückgeführt.

## 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.

Für Teilgebiete in Tongesteinen wird die Mindestanforderung als erfüllt angesehen, wenn sie Tiefen von mehr als 300 m unter GOK erreichen. Die zusätzliche Anforderung an Tongesteine gemäß § 23 StandAG, dass eine Beeinträchtigung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch Dekompaktion<sup>15</sup> des Tongesteins nach einer Schädigung des Deckgebirges durch intensive Erosion, beispielsweise in der Folge von Eiszeiten, ausgeschlossen werden kann, kann nach Aussage der

<sup>14</sup> 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.

<sup>15</sup> Wie in Kapitel 2 ausgeführt entstehen Tongesteine durch Sedimentation feiner Gesteinspartikel z.B. in Seen oder Meeresbecken. Durch die Auflast jüngerer Gesteine werden sie im Laufe der Erdgeschichte zusammengedrückt, kompaktiert. Wenn die Auflast durch überlagernde Gesteine verringert wird, z.B. durch Erosion, können Tongesteine dekompaktieren und bestimmte Eigenschaften, die sie als Wirtsgestein qualifizieren, verlieren.

Vorhabenträgerin „derzeit nicht beantwortet werden“ und wird daher „grundsätzlich als erfüllt angesehen“ (BGE 2020e).

### 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 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup> vorliegt.

Bei Tongestein wurde die maximale Ausdehnung des potentiellen Wirtsgesteins mit Hilfe von geologischen 3D-Modelle oder 2D-Karten ermittelt und die Mindestanforderung bei einer horizontalen Ausdehnung von 10 km<sup>2</sup>, ebenfalls angelehnt an die Begründung zum StandAG (Fraktionen CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 2017) als erfüllt angesehen (BGE 2020e).

### Erhalt der Barrierewirkung

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

## 5.1 Anwendung der Mindestanforderungen im Bereich des Teilgebietes 046 (Salzstock Lisa) sowie der Teilgebiete 006 und 007 im Landkreis Leer, Schlussfolgerungen und Bewertung

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 Umsetzung wünschenswert. 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.

Auf dem Gebiet des Landkreises Leer erfüllen die Teilgebiete 046 (Salzstock Lisa) sowie die Teilgebiete 004, 006 und 007 (Tabelle 5-1) alle Mindestanforderungen und werden als identifizierte Gebiete ausgewiesen (siehe dazu auch Kapitel 3). Gleiches gilt für das Salinar Bunde/ Jemgum/ Leer/ Rhaude/ Scharrel (045\_00IG\_S\_s\_z), das aber im weiteren Verfahren durch die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ausgeschlossen wurde.

Die Ermittlung des Salzstocks Lisa als identifiziertes Gebiet 090 im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen fußt im Wesentlichen auf generischen Annahmen. Dies gilt insbesondere für die Mindestanforderungen *Gebirgsdurchlässigkeit* und *Erhalt der Barrierewirkung*. Gleiches gilt für die Teilgebiete 006 und 007. Wie in Kapitel 0 ausgeführt sind für das Wirtsgestein Tongestein

darüber hinaus auch die Mindestanforderungen hinsichtlich Mächtigkeit und minimaler Teufe nur in vereinfachter Form angewendet worden.

**Tabelle 5-1: Zuordnung identifizierter Gebiete innerhalb der Teilgebiete**

Regionalgeologische Einheit / Strukturname	Teilgebiets-Nr.	Identifiziertes Gebiet
Lisa	046	090_00IG_S_s_z
Norddeutsches Becken	004	053_00IG_T_f_tpg
Norddeutsches Becken	006	188_00IG_T_f_ju
Norddeutsches Becken	007	202_02IG_T_f_kru

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 Teilgebiete 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. Die im tabellarischen Teil wiedergegebenen Informationen zur Bewertung der Mindestanforderungen sind in Tabelle 5-1 zusammengestellt.

Der Textabschnitt enthält keine standort- oder gebietspezifischen Informationen, sondern lediglich allgemeine Informationen zur Geologie von Norddeutschland und der Entstehung von Salinargesteinen bzw. der jeweiligen Tongesteine. Die Anwendung der Mindestanforderungen in steilstehenden Salinargesteinen erfolgte auf Grundlage der „in den geologischen 3D-Modellen der Länder ausgewiesenen Salzdiapire“ (BGE 2020e) und wurde nur im Falle des Fehlens von Daten durch Informationen aus dem InSpEE-Bericht (BGR 2016) ergänzt. Vorhandene Daten, z. B. aus den Schichtenverzeichnissen von Bohrungen, die bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit* erfasst wurden, spielten bei der Anwendung der Mindestanforderungen auf Salzstöcke keine Rolle.

Gemäß BGE (2020e) wurde für die Anwendung der Mindestanforderungen in Gebieten mit Steinsalz in steiler Lagerung 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 den geologischen 3D-Modellen der Länder entnommenen Lage des Strukturtops wurde also die minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs jeweils 300 m unterhalb des Strukturtops angenommen.

Für die Anwendung der Mindestanforderungen auf Gebiete mit Tongestein wurde ähnlich vorgegangen. Die Anforderungen wurden anhand von 3D-Modellen geprüft und nur in Fällen, in denen keine Modelle vorlagen, auf die „Auswertung geowissenschaftlicher Karten [...] und Bohrungsdaten“ (BGE 2020e) zurückgegriffen.

Aus der Zusammenstellung in Tabelle 5-2 geht die rein generische Anwendung der Mindestanforderungen *Gebirgsdurchlässigkeit* und *Erhalt der Barrierewirkung* hervor. Es ist jeweils nur der Referenzwert genannt; spezifische Informationen aus dem Gebiet des Landkreises Leer sind nicht in die Bewertung eingeflossen.

**Tabelle 5-2: Charakteristika der betrachteten Teilgebiete zur Anwendung der Mindestanforderungen**

	<b>TG 006</b>	<b>TG 007</b>	<b>Lisa (046)</b>
Wirtsgesteinstyp	Tongestein	Tongestein	Steinsalz in steiler Lagerung
Stratigraphie	Lias (Unterjura)	Unterkreide	Zechstein
Bundesländer	Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein	Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt	Niedersachsen
Gebirgsdurchlässigkeit	erfüllt	$< 10^{-10}$ m/s	$10^{-12}$ m/s
Mächtigkeit	max. 1200 m	100 - 1200 m	1020 m
Teufenlage der Struktur	400 - 1500 m u. GOK	400 - 1500 m u. GOK	480 – 1500 m u. GOK
Gesamtfläche	18.564 km <sup>2</sup>	14.914 km <sup>2</sup>	66 km <sup>2</sup>
Barriereintegrität	erfüllt	erfüllt	erfüllt

Quelle: Eigene Darstellung

Das pauschale Vorgehen bei der Anwendung der Mindestanforderung *Gebirgsdurchlässigkeit* erscheint plausibel im ersten Schritt der Phase 1 des Standortauswahlverfahrens. Im weiteren Verfahren werden gezielt Daten zur Ermittlung der Gebirgsdurchlässigkeit in Standortregionen bzw. an Standorten mit den Wirtsgesteinen Steinsalz oder Tongestein erhoben werden müssen.

Gleiches gilt für die Anwendung der Mindestanforderung *Erhalt der Barrierewirkung*. Aufgrund fehlender Informationen erfolgte keine standortspezifische Betrachtung. Informationen, die Zweifel an der langfristigen Barrierewirkung von Wirtsgesteinen begründen, können auf eine Fülle von möglichen Ursachen zurückgeführt werden: die 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 möglichen späteren Standorts zu kommen. Bei der erneuten Anwendung der Mindestanforderungen sollte detailliert dargestellt werden, welche Informationsquellen zur Bewertung der Anforderung *Erhalt der Barrierewirkung* herangezogen wurden. Im Fall von Tongesteinen ist diese Anforderung darüber hinaus in direkter Beziehung zur Gefahr einer Dekompaktion von Tongesteinen nach intensiver Erosion zu sehen, die nach § 23 Abs. 5 Nummer 3. StandAG als Teil der Mindestanforderung *minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* zu bewerten ist und bisher von der Vorhabenträgerin pauschal als erfüllt angesehen wird. Auch diese Mindestanforderung muss im weiteren Verfahren standortspezifisch bewertet werden.

Im Folgenden wird jeweils auf die Anwendung der Mindestanforderungen *Mächtigkeit* und *Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* sowie *Fläche des Endlagers* für das Teilgebiet 046 sowie die Segmente der Teilgebiete 006 und 007 im Landkreis Leer eingegangen.

## Salzstock Lisa (Teilgebiet 046)

Wie oben dargestellt, erfolgte die Anwendung der Mindestanforderungen *Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs*, *Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* und *Fläche des Endlagers* auf Grundlage von 3D-Modellen der geologischen Landesämter. Die in Tabelle 5-3 dargestellten Daten des Salzstocks Lisa 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 zum Salzstock Lisa (046)**

<b>Salzstock Lisa (046)</b>	
<b>Strukturtyp</b>	Salzstock (Teil einer Salzmauer)
<b>Strukturtop [m u. NN]</b>	100
<b>Strukturtop [m u. GOK]</b>	100
<b>Strukturaufbauendes Salinar</b>	Zechstein
<b>Sekundärmächtigkeit [m]</b>	3100
<b>Maximalausdehnung [km<sup>2</sup>]</b>	38 x 3
<b>Internbau<sup>16</sup> Typ Einordnung</b>	Salzdiapir

Quelle: Eigene Darstellung mit Daten aus (BGR 2016)

Die Mindestanforderung *Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* kann für den Salzstock Lisa in Schritt 1 von Phase 1 als erfüllt betrachtet werden. Auch die Ergebnisse der Bohrung Nordsee (D) A 1 (siehe Kapitel 4.1) stützen die Angaben in den Steckbriefen des identifizierten Gebiets und des Teilgebiets. Diese beziehen sich jeweils nur auf die Mächtigkeit von Gesteinen des Zechsteins, ohne Berücksichtigung der genauen mineralogischen Zusammensetzung.

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. Im Schichtenverzeichnis der Bohrung Nordsee (D) A 1, die in der Ostflanke des Salzstocks abgeteuft wurde, werden ab einer Tiefe von 1066 m unter dem Bohransatzpunkt Zechsteinsedimente ausgewiesen. Allerdings stehen nach der Teufe hin zunächst knapp 8 m Gips und Anhydrit, der sogenannte Gipshut, weiterhin weniger als 200 m mächtig Staßfurt-Steinsalz und schließlich bis in 1988 m unter dem Bohransatzpunkt im wesentlichen das Staßfurt-Kaliflöz sowie untergeordnet Salzton, Karbonat und Anhydrit der Leine-Folge des Zechsteins an. Erst unterhalb von 1988 m wurde erneut Staßfurt-Steinsalz erbohrt. Im von der Bohrung durchteuften Teil des Salzstocks könnte demnach kein ewG ausgewiesen werden. Es befindet sich zwar ein ausreichend mächtiges Steinsalzvorkommen in der geforderten Tiefe, jedoch keine Salzscheibe gemäß § 23 StandAG. Darüber hinaus ist nur schwer nachvollziehbar, wie der Salzstock Lisa überhaupt als Wirtsgestein

<sup>16</sup> 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.

im ersten Schritt der Anwendung der Mindestanforderungen ausgewiesen werden konnte. Wie in Kapitel 0 bereits ausgeführt, wird eine Salzstruktur nur dann als geeignetes Wirtsgestein betrachtet, wenn „Halit der gesteinsbildende Hauptbestandteil“ (BGE 2020e) ist. Aus dem Schichtenverzeichnis der Bohrung Nordsee (D) A 1 geht deutlich hervor, dass in den Tiefen, die für ein Endlager in Frage kommen, im Wesentlichen Kalisalz ansteht, das für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle nicht geeignet ist. Warum die Bohrung vor dem Hintergrund dieser Informationen nicht als entscheidungserhebliche Information eingestuft, genutzt und im Datenbericht veröffentlicht wurde, ist ebenfalls zu fragen.

Da die Gesamtmächtigkeit der erbohrten Evaporitgesteine aus Rotliegend- und Zechstein mehr als 3000 m beträgt, kann davon ausgegangen werden, dass die Bohrung nicht in einem überhängenden oder isolierten Teil des Salzstocks steht, sondern repräsentativ für die Gesteinsabfolge innerhalb des Salinars ist. Sollte der Salzstock Lisa im nächsten Schritt des Standortauswahlverfahrens als geeignete Standortregion für die übertägige Erkundung ausgewiesen werden, erscheint angesichts dieser Hinweise eine gezielte Erkundung des Salzstocks über Bohrungen unabdingbar, um sicherzustellen, dass die Struktur über Steinsalzvorkommen in ausreichender Mächtigkeit in der geforderten Tiefe sowie eine ausreichende Salzscheibe oberhalb eines möglichen ewG verfügt.

Die Angaben zum Strukturtop von Salzstrukturen, die seitens der BGE für die identifizierten Gebiete zur Anwendung der Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien genutzt wurden, berücksichtigen, wie in Kapitel 0 ausgeführt, bereits eine Salzscheibe am Top der Struktur von 300 m. Dennoch weichen sie zum Teil von Angaben im Informationssystem für Salzstrukturen (BGR 2016) ab.

Diese Information wird zur Bewertung der *minimalen Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* herangezogen. Die Teufenlage der Struktur Lisa ist im Steckbrief des identifizierten Gebiets (BGE 2020m) mit 480-1500 m u. GOK angegeben (siehe Tabelle 5-2). Der Strukturtop wäre inklusive Salzscheibe bei 180 m u. GOK zu erwarten. Es besteht ein Unterschied zur Tiefenangabe im Informationssystem für Salzstrukturen, welche den Strukturtop des Salzstocks bei 100 m u. GOK angibt (siehe Tabelle 5-3). Der Unterschied zwischen Literaturangaben und Teufenlage laut Zwischenbericht beträgt demnach 80 m. Für die Bewertung der Mindestanforderung ergibt sich daraus jedoch keine Änderung. Insofern kann die Methodik zur Anwendung der Mindestanforderung *Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* für den Salzstock Lisa im ersten Verfahrensschritt als plausibel angesehen werden.

Dennoch sollten die exakten Informationen, auf denen die Angaben zur Tiefenlage und Mächtigkeit der Salzstöcke im Zwischenbericht beruhen, baldmöglichst offengelegt werden, um Nachvollziehbarkeit und Transparenz zu ermöglichen. Dabei sollte neben den mittlerweile veröffentlichten 3D-Modellen auch dargestellt werden, welche Eingangsdaten zur Darstellung von Salzstöcken 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 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.

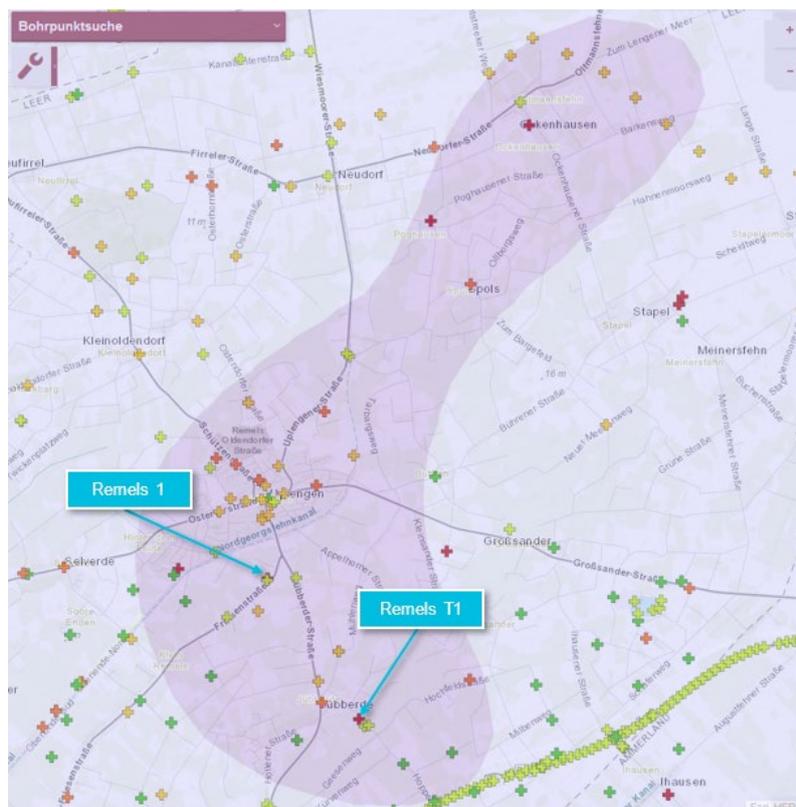
Das Vorgehen bei der Anwendung der Mindestanforderung *Fläche des Endlagers* vernachlässigt, wie generell die derzeitige Anwendung der Mindestanforderungen, den komplexen Internbau von Salinaren. Für die Ausweisung des Teilgebiets Lisa (046) kann es aber für Schritt 1 in Phase 1 des Standortauswahlverfahrens als ausreichend angesehen werden.

### Teilgebietssegment 006 im Landkreis Leer

Die maximale Mächtigkeit wird für die beiden Teilgebiete 006 und 007 jeweils mit 1200 m angegeben. Im Süden des Segmentes des Teilgebiets 006 im Landkreis Leer (siehe Abbildung 5-1) wurden zwei Bohrungen mit den Bezeichnungen Remels T1 und Remels 1 in eine Tiefe von mehr als 1500 m abgeteuft. In der Bohrung Remels T1 wurden Gesteine des Unterjura in einer Tiefe von 1347 m bis 1721 m erbohrt, in der Bohrung Remels 1 in 1348 m bis 1661 m Tiefe. Diese Angaben bestätigen das Vorkommen von Unterjura-Gesteinen mit ausreichender Mächtigkeit innerhalb der von der BGE festgelegten maximalen Suchteufe von bis zu 1500 m (siehe dazu (BGE 2020I, Kapitel 4.1.5).

Die Mindestanforderung „Fläche des Endlagers“ kann für das Teilgebietssegment aufgrund der Fläche des Teilgebietssegmentes aus der interaktiven Karte (BGE 2020i), die deutlich größer als 10 km<sup>2</sup> ist, als erfüllt angenommen werden. Bei dieser Fläche handelt es sich um die Projektion des Teilgebietssegmentes an die Oberfläche. Im Zwischenbericht Teilgebiete sind keine weiteren Informationen zur Raumlage enthalten. Entsprechend erlaubt die Darstellung im Zwischenbericht Teilgebiete keinen Rückschluss darauf, ob eine ausreichende horizontale Fläche zur Errichtung eines Endlagers auch innerhalb des Gesteinskörpers zur Verfügung steht. Die Ergebnisse der oben angeführten Bohrungen legen jedoch nahe, dass die Gesteine des Unterjura im Bereich zwischen den beiden Bohrungen ungefähr horizontal lagern. Die Ergebnisse der Anwendung der Mindestanforderungen zu Mächtigkeit und minimaler Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sowie zur Fläche des Endlagers können daher für das Teilgebiet 006 im Landkreis Leer in Schritt 1 der Phase 1 des Standortauswahlverfahrens als plausibel angesehen werden.

**Abbildung 5-1: Bohrungen im Bereich des Teilgebiets 006 im Landkreis Leer**



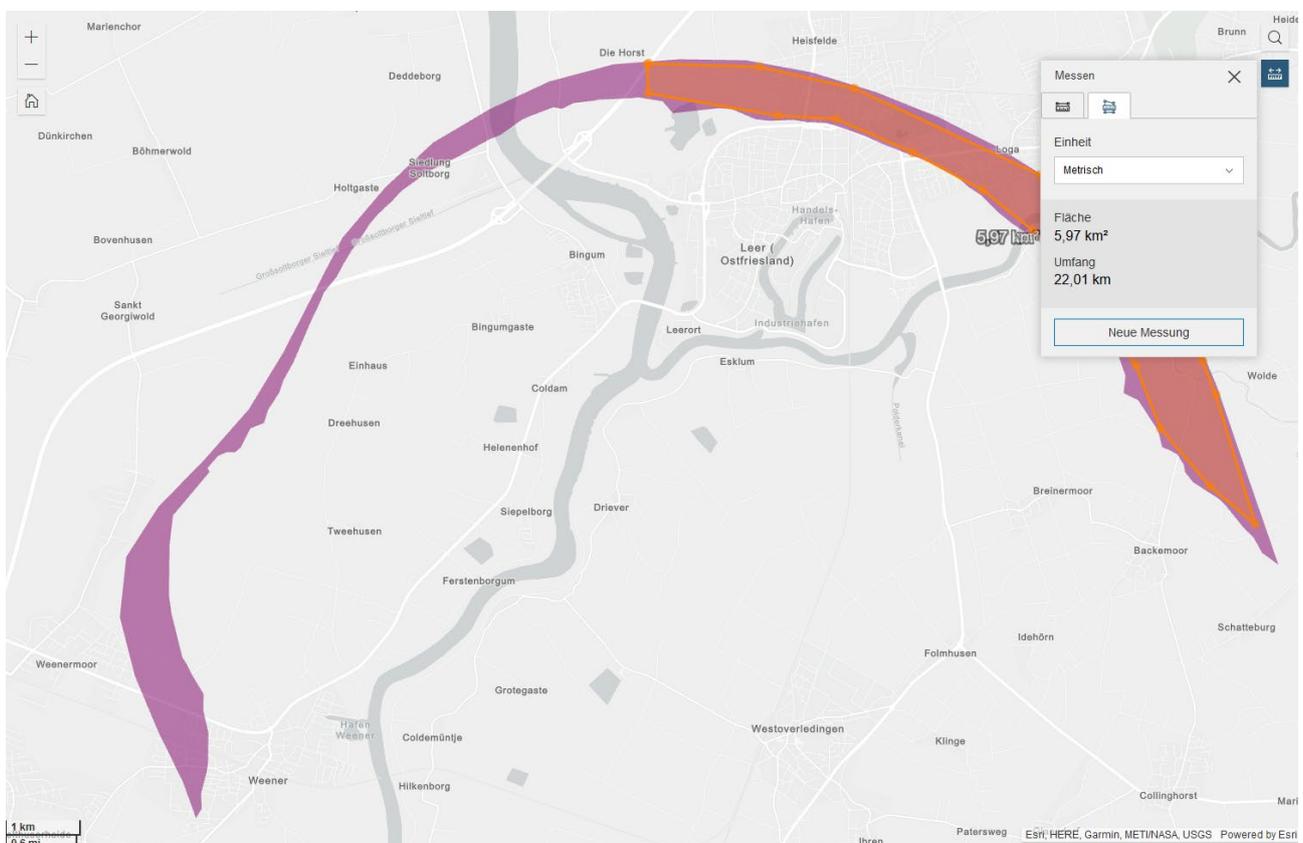
Quelle: Ausschnitt aus (BGR 2021) überlagert mit einem Ausschnitt aus (BGE 2020i), bearbeitet

## Teilgebietssegment 007 im Landkreis Leer

Die Ergebnisse der Anwendung der Mindestanforderungen *Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* und *Minimale Tiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* konnten für das Segment des Teilgebietes 007 im Landkreis Leer nicht anhand standortspezifischer Informationen überprüft werden. Die in der interaktiven Karte zum Zwischenbericht (BGE 2020i) veröffentlichte Flächenprojektion der Struktur an die Geländeoberfläche hat in ihrem breitesten Bereich einen maximalen Flächeninhalt von weniger als 6 km<sup>2</sup> (siehe Abbildung 5-2).

Darüber hinaus sind an den Flächenbedarf eines ewG weitere Anforderungen über den Mindestflächenbedarf hinaus zu stellen. So müssen die Einlagerungsbereiche und sämtliche Grubenbaue so vom Wirtsgestein eingeschlossen sein, dass über den Bewertungszeitraum von einer Million Jahren kein Schadstoffaustrag aus dem ewG zu befürchten ist. Entsprechend müssen die Gesteinskörper in jeder Richtung über eine ausreichende Erstreckung verfügen, um einen ewG ausweisen zu können. Das kann in dem stellenweise sehr schmalen Segment des Teilgebiets 007 auf dem Gebiet des Landkreises Leer kaum realisiert werden. Die Mindestanforderung *Fläche des Endlagers* größer 10 km<sup>2</sup> kann daher auf dem Gebiet des Landkreises Leer im Teilgebiet 007 nach den vorliegenden Informationen nicht oder nur sehr knapp erfüllt werden.

**Abbildung 5-2: Teilgebietssegment 007 im Landkreis Leer**



Quelle: (BGE 2020i)

## 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 „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 oder weniger günstig/ungünstig (Bezeichnung im StandAG) bzw. nicht günstig (Bezeichnung gemäß Umsetzung der BGE).

Für die Bewertung der Abwägungskriterien werden demnach detaillierte, standortspezifische Informationen benötigt, die zum jetzigen Zeitpunkt 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 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 das Teilgebiet 046 bzw. den Salzstock Lisa wird in Kapitel 6.1 erläutert. Die fachliche Bewertung dieser Anwendung wird in Kapitel 6.2 dargestellt. Auf die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien auf Teilgebiete in Tongestein sowie Schlussfolgerungen für die Segmente der Teilgebiete 006 und 007 im Landkreis Leer wird in Kapitel 6.3 eingegangen.

Im Folgenden werden die elf geowissenschaftlichen Abwägungskriterien und deren Anwendung durch die BGE bei der Ermittlung von Teilgebieten in Steinsalz näher erläutert.

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

Aus dem Endlager bzw. dem ewG 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 Gesamtbeurteilung ist dieses Kriterium entsprechend günstig.

## **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 Kapitel 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 ewG 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 ewG 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 2020s).

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 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup> als weniger günstig, 6 – 9 km<sup>2</sup> als bedingt günstig und größer 9 km<sup>2</sup> als günstig übersetzt.

### **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 ewG 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.

Für Zechsteinsalinare wurden die Indikatoren *Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich*, *Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich* und *ihrer Eigenschaften* und *Gesteinsausbildung* als günstig bewertet (BGE 2020k).

Der Indikator *Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit* wurde für Steinsalz in steiler Lagerung grundsätzlich als bedingt günstig bewertet, da der Salzdiapirismus als tektonischer Prozess selbst zur Überprägung<sup>17</sup> der beteiligten Gesteine führt (BGE 2020k).

### **Kriterium 4 zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse**

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

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

---

<sup>17</sup> 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.

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).

### **Kriterium 5 zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften**

Das Kriterium zur *Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften* dient der Beurteilung, inwiefern die Errichtung eines Endlagerbergwerks das jeweilige Wirtsgestein schädigt und unter Umständen zur Entstehung erhöhter Permeabilität<sup>18</sup> 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.

### **Kriterium 6 zur Bewertung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten**

Mit der Bewertung der *Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten* soll sichergestellt werden, dass es 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

<sup>18</sup> Als Permeabilität bezeichnet man die Durchlässigkeit der Struktur für andere Stoffe wie z.B. Gase oder Flüssigkeiten.

erfolgt die Bewertung als bedingt günstig, über 100 als weniger günstig. Dabei wird „aufgrund des Fehlens von ortsbezogenen In-situ-Messwerten [...] das Gebirge als unverritzt betrachtet (BGE 2020j). 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 technogener<sup>19</sup> 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 Risschließung* 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.

### **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

---

<sup>19</sup> 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.

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 geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (BGE 2020f) erläutert die BGE, dass bei der Bewertung der Gasbildung neben dem Wasserangebot 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.

### **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.

### **Kriterium 9 zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich**

Schadstoffe, die im Endlager nach der Einlagerung freigesetzt werden, sollen möglichst im ewG 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 ewG in „möglichst reinem, homogenem Steinsalz“ sind auf Grund der Bildungsbedingungen des Gesteins „keine großen Mengen an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche wie Tonminerale und Eisen- und Mangan-Hydroxide und -Oxihydrate zu erwarten“ (BGE 2020j).

Der Indikator *Ionenstärke des Grundwassers* wird als günstig bewertet. Im Referenzdatensatz (BGE 2020j) wird dargestellt, dass Grundwässer in der Umgebung von Salzstöcken durch Ablaugungsprozesse in der Regel hohe Ionenstärken aufweisen.

Zur Beurteilung des Indikators *Öffnungsweite der Gesteinsporen im Nanometerbereich* liegen nur wenige Daten zur Größe von Poren in Steinsalz oder deren Öffnungsweiten vor. Da Steinsalz eine sehr geringe Porosität besitzt und vorhandene Poren Fluidinkclusionen 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.

## **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 ewG 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 CO<sub>2</sub>-Konzentration „im Promillebereich“ (BGE 2020j) liege. „Zuverlässige Aussagen zu eventuell erhöhten CO<sub>2</sub>-Vorkommen“ seien jedoch nur aufgrund standortspezifischer Daten möglich.

Die Gesamtbewertung des Kriteriums erfolgt mit nicht günstig.

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

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

Der Indikator *Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den ewG ergeben könnten* wird anhand von Literatur sowie Daten aus der Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen bewertet. Dabei werden Scheitelstörungen im Deckgebirge der Salzstöcke, wie in Kapitel 0 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.

## 6.1 Anwendung der Abwägungskriterien für das Teilgebiet 046 (Salzstock Lisa)

Wie oben erläutert wurden die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 10 für alle identifizierten Gebiete in Zechsteinsalinen auf Grundlage eines Referenzdatensatzes 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, dem Landkreis Leer oder dem Salzstock Lisa im Speziellen abgestützt.

Die Beurteilung von acht der elf geowissenschaftlichen Abwägungskriterien mittels Referenzdaten wird im Folgenden jeweils kurz angesprochen, der Schwerpunkt liegt jedoch auf den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien, die jeweils eine individuelle Bewertung anhand gebietspezifischer Daten oder Fachliteratur durch die BGE erfahren haben. Abschließend erfolgt eine Einordnung aller geowissenschaftlichen Abwägungskriterien in einem Fazit.

### **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 Leer. Die Abwägungskriterien 1, 4, 5, 6, 7 und 8 wurden als günstig, die Abwägungskriterien 9 und 10 als nicht günstig bewertet (siehe hierzu Kapitel 6).

### **Individuelle Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anhand gebietspezifischer Daten oder Fachliteratur**

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

#### Kriterium 2 zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper

Die *Konfiguration der Gesteinskörper* wurde für das Teilgebiet Lisa (046) als „günstig“ eingestuft (BGE 2020s). Die *Barrierenmächtigkeit* wird mit günstig bewertet, da bei der vorliegenden maximalen Mächtigkeit von 1020 m eine Fläche von 54,7 km<sup>2</sup> mit einer Mächtigkeit von mindestens 300 m ausgewiesen werden kann. Als Mindestflächenbedarf werden, wie in Kapitel 0 ausgeführt, 3 km<sup>2</sup> 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 Kapitel 0). Zur Bewertung der *Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* wird davon ausgegangen, dass innerhalb des identifizierten Gebietes, welches zwischen 480 und 1500 m unter GOK liegt, potentiell ein ewG 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 54,7 km<sup>2</sup> deutlich oberhalb des doppelten angenommenen Flächenbedarfs von 3 km<sup>2</sup> für einen ewG liegt.

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

### Kriterium 3 zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit

Für die Bewertung der *räumlichen Charakterisierbarkeit* wurde laut Kompaktsteckbrief zum Teilgebiet 046 (BGE 2020p) eine individuelle Bewertung für jedes identifizierte Gebiet von der BGE vorgenommen. 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. beim Salzstock Lisa 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 2020s). Begründung hierfür ist die fehlende „Differenzierung in der Bewertung der verschiedenen identifizierten Gebiete“ (BGE 2020s).

### 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 Lisa (046) als bedingt günstig. Es wurden drei Indikatoren gebietsspezifisch betrachtet. Die Gesamtbewertung des Kriteriums richtet sich aufgrund der besonderen Bedeutung (BGE 2020s) dieser gebietsspezifischen Betrachtung nach der schlechtesten Bewertung der Indikatoren.

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, 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 2020s) „als potentiell erosionshemmend betrachtet werden“ (BGE 2020s).

Obwohl Nachweise zu Störungen innerhalb des identifizierten Gebietes vorliegen (siehe dazu auch Kapitel 4.1), 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 Schlussfolgerungen und Bewertung zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien für das Teilgebiet 046 (Salzstock Lisa)

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 ewG 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. Trotz der in Kapitel 5.1 dargestellten Diskrepanz zwischen den Angaben zur Tiefenlage im Zwischenbericht Teilgebiete und Literaturangaben kann die Bewertung des Kriteriums als hinreichend plausibel für Schritt 1 in Phase 1 des Standortauswahlverfahrens angenommen werden.

Die Bewertung der *räumlichen Charakterisierbarkeit*, **Kriterium 3**, erfolgte pauschal. Die herangezogenen Informationen hätten ohne weiteres auch in den Referenzdatensatz Eingang finden können. Eine individuelle Bewertung, wie im Teilgebietssteckbrief angegeben (BGE 2020s), 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 ewG 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 ewG 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 von Jaritz (1983) dargestellt, wird das Deckgebirge über dem Salzstock Lisa „von einem kräftigen Scheitelgraben durchsetzt“ (siehe auch Kapitel 4.1). Diese Annahme wird auch durch die Schichtenverzeichnisse der Bohrungen Nordsee (D) M 1 und Nordsee (D) A 1 gestützt. Während in der Bohrung M 1, etwa 5 km westlich des Salzstocks Lisa gelegen, quartäre Sedimente mit einer Mächtigkeit von nur etwa 12 m angetroffen wurden (Bohransatzpunkt bei 29 m ü. NN, Wasser bis 38 m Teufe, Quartär bis 49,5 m Teufe), wurden in der Bohrung A 1 an der Westflanke des Salzstocks Lisa 142 m mächtige quartäre Gesteine erbohrt. Dieser Unterschied kann als möglicher Hinweis auf eine Grabenfüllung im Deckgebirge des Salzstocks Lisa gedeutet werden.

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. Vor dem Hintergrund des Bewertungszeitraums von einer Million Jahren kann von einem durch einen Scheitelgraben geschädigten Deckgebirge möglicherweise nicht der bestmögliche Schutz gewährleistet werden.

### 6.3 Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien auf die Teilgebiete 006 (Unterjura-Tongestein) und 007 (Unterkreide-Tongestein), Schlussfolgerungen und Bewertung in Kurzform

Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 1, 5, 6, 7, 8, 9 und 10 wurden für alle identifizierten Gebiete in Tongesteinen auf Grundlage von Referenzdaten bewertet. Die Bewertung erfolgte entsprechend jeweils identisch für alle Gebiete in Tongestein und– abgesehen von Kriterium 5 – jeweils als günstig.

Das geowissenschaftliche Abwägungskriterium 5 wurde für das Wirtsgestein Tongestein anhand von Referenzdaten grundsätzlich als nicht günstig bewertet. Im Referenzdatensatz wird dazu festgehalten, dass „Tongesteine [...] sehr unterschiedlich ausgeprägt sein“ können und „der Verfestigungsgrad [...] dabei eine wichtige Rolle für die Gebirgsstabilität“ spielt. „Um die nötige

Hohlraumstabilität herzustellen, ist in Tongesteinen ein Ausbau der Strecken nötig“ (BGE 2020j). Je tiefer der Standort für ein mögliches Endlager gewählt wird, desto höher muss die Gebirgsdruckfestigkeit des Gesteins im Endlagerbergwerk sein. Die Druckfestigkeit in Tongesteinen hängt stark vom Wassergehalt ab. Jüngere, häufig nur teilverfestigte Tongesteine weisen eine sehr geringe Druckfestigkeit auf, „so dass hier ein massiver Gebirgsausbau nötig ist, um die Standsicherheit zu gewährleisten“ (BGE 2020j). Deshalb wird der Indikator zur Aufnahme der Beanspruchung des Gebirges aus der Auffahrung ohne planmäßigen tragenden Ausbau von der BGE als nicht günstig bewertet und auch die Gesamtbewertung des Kriteriums als nicht günstig vorgenommen.

### **Individuelle Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anhand gebietsspezifischer Daten oder Fachliteratur**

Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 2, 3, 4 und 11 wurden individuell bewertet (BGE 2020n; 2020o). Dazu wurden jeweils gebietsspezifische Daten oder Fachliteratur herangezogen. Diese Bewertungen wurden jeweils für das gesamte Teilgebiet einheitlich vorgenommen und unterscheiden nicht zwischen den Teilgebietssegmenten.

#### Kriterium 2 zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper

Zur Bewertung der *Konfiguration der Gesteinskörper* wurden vier Indikatoren untersucht: Die *Barriermächtigkeit 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 Bewertung erfolgte „anhand gebietsspezifischer Daten“ der beiden Teilgebiete (BGE 2020q; 2020r) als günstig. Die fünf zugrundeliegenden Indikatoren des Kriteriums wurden als günstig eingestuft; es wird davon ausgegangen, dass in den beiden Teilgebieten mit einer Fläche von je deutlich mehr als 10.000 km<sup>2</sup> und einer maximalen Mächtigkeit von 1200 m die Ausweisung eines geeigneten ewG, der den Anforderungen des StandAG genügt, möglich ist. Für die Bewertung des Indikators *Vorhandensein von Gesteinsschichten mit hydraulischen Eigenschaften und hydraulischem Potenzial, die die Induzierung beziehungsweise Verstärkung der Grundwasserbewegung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich ermöglichen können* (Potentialbringer) liegen „gebietsspezifische Daten in den zu betrachtenden Teufen nicht in ausreichendem Umfang vor“ (BGE 2020q; 2020r). Die BGE geht jedoch davon aus, dass „ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich ohne Anschluss an Potentialbringer möglich ist“ und bewertet diesen Indikator jeweils als günstig.

#### Kriterium 3 zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit

Zur Bewertung der Indikatoren dieses Kriteriums für das Teilgebiet 007 sind „grundsätzlich [...] standortbezogene Daten aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich [...] notwendig“ (BGE 2020r). Aufgrund der großen Gesamtfläche des Teilgebiets und durch die Heranziehung „grundsätzliche Aussagen anhand einer Reihe von wissenschaftlichen Publikationen“ (BGE 2020r) wird davon ausgegangen, dass ein möglicher ewG auf einer Mindestfläche von 10 km<sup>2</sup> ausgewiesen werden kann. Für das Teilgebiet 006 erfolgte „die Bewertung der Indikatoren [...] anhand von Fachliteratur“ (BGE 2020q). Das Kriterium wird sowohl für Teilgebiet 006 als auch für Teilgebiet 007 mit günstig bewertet.

Im Steckbrief des Teilgebiets 007 wird zur Bewertung des geowissenschaftlichen Abwägungskriteriums 3 die Fläche mit 15.158,1 km<sup>2</sup> angegeben. Diese Angabe steht im Widerspruch zu an anderer Stelle (BGE 2020o; 2020e) angegebenen Fläche von 14.914 km<sup>2</sup>. Auch in Anlage 1A zum

Fachbericht geowissenschaftliche Abwägungskriterien (BGE 2020b) findet sich die abweichende Flächenangabe bei der Darstellung der Abwägung von Kriterium 3. Es wird davon ausgegangen, dass es sich um einen Fehler handelt und die Fläche sowohl des durch Anwendung der Mindestanforderungen identifizierten Gebietes 202\_02IG\_T\_f\_kru als auch des Teilgebiets 007 jeweils 14.914 km<sup>2</sup> beträgt.

#### Kriterium 4 zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse

Auch das Kriterium 4 wurde für beide Teilgebiete „anhand von Fachliteratur“ (BGE 2020q; 2020r) beurteilt und alle Indikatoren als günstig eingestuft. Gleichzeitig wird in Anhang 4.2.4.2 des Fachberichts zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (BGE 2020k) für Gesteine des Unterjura sowie in Anhang 4.3.3.2 für die Unterkreide festgehalten, dass Veränderungen der Mächtigkeit (Indikator *Langfristige Stabilität der Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs*) in der jüngeren Vergangenheit durch die Bildung elsterzeitlicher subglazialer Rinnen stattgefunden haben können. Darüber hinaus werden Änderungen der Gebirgsdurchlässigkeit (Indikator *Langfristige Stabilität der Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs*) durch halokinetische sowie tektonische Prozesse für möglich gehalten. Entsprechend kann auch für dieses Kriterium die Bewertung als günstig nur als pauschal für die gesamte Fläche der beiden Teilgebiete 006 und 007 verstanden werden.

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

Das Kriterium 11 wird für beide Teilgebiete im Zwischenbericht „anhand gebietspezifischer Daten“ (BGE 2020q; 2020r) als bedingt günstig eingestuft. Dabei wird der Indikator *Ausprägung struktureller Komplikationen* als bedingt günstig eingestuft, da es zwar Nachweise zu atektonischen Strukturen und Störungen im identifizierten Gebiet gebe, deren hydraulische Wirksamkeit jedoch „anhand der vorliegenden Informationen“ (BGE 2020q; 2020r) nicht bewertbar sei. Sollten diese strukturellen Komplikationen potenziell hydraulisch wirksam sein, müsste der Indikator gemäß Anlage 11 des StandAG als ungünstig bewertet werden.

Obwohl die weiteren Indikatoren des Kriteriums 11 *Überdeckung des ewG mit grundwasserhemmenden Gesteinen* sowie *Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des ewG* mit günstig bewertet werden konnten, erfolgt die Gesamtbewertung des Kriteriums für beide Teilgebiete als bedingt günstig. Als Begründung wird angeführt, dass „große Teile des identifizierten Gebiets [...] einen Abstand von größer als 150 Metern zwischen der Oberfläche der endlagerrelevanten Gesteine und der Basis des Quartär“ aufweisen (BGE 2020r; 2020q). Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, dass „für einen Teil des identifizierten Gebietes [...] die Abdeckung mit Punktdaten aus dem 3D-Modell unvollständig“ sei. Auch diese Bewertung kann entsprechend nur als vorläufige Einschätzung angesehen werden.

Die Ausweisung der Teilgebiete 006 und 007 erfolgte ohne Berücksichtigung standortspezifischer Informationen. Entsprechend wurden auch vorliegende Daten zum Untergrund des Landkreises Leer nicht in die Bewertung einbezogen. Auf Ungewissheiten bei der Bewertung weist die Vorhabenträgerin im Zwischenbericht Teilgebiete an verschiedenen Stellen hin. Sollten die Segmente der Teilgebiete 006 und 007 im Landkreis Leer im weiteren Verfahren als Standortregionen für die über-tägige Erkundung ausgewiesen werden, ist zu prüfen, ob der notwendige Flächenbedarf für die Errichtung eines Endlagers in Tonstein in beiden Teilgebieten vorhanden ist (siehe dazu Kapitel 5.1), ob die mineralogische und sedimentologische Zusammensetzung der Gesteine des Unterjura und der Unterkreide im Landkreis Leer die Anforderungen an ein Wirtsgestein für eine Endlager für

hochradioaktive Abfälle erfüllt, und ob die Teufenlage der betreffenden Gesteine auf dem Gebiet des Landkreises Leer die Errichtung eines Endlager zulässt. So wird beispielsweise in der Schweiz von einer maximalen Tiefe eines Endlagers in Tongestein „im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ von weniger als 1000 m ausgegangen (siehe zum Beispiel die Argumentation in (ENSI 2017)).

## 7 Prüfung von Daten und Literatur

### Im Zwischenbericht Teilgebiete verwendete Quellen

Der Anwendung der Mindestanforderungen, die zur Ausweisung der identifizierten Gebiete im Landkreis Leer 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 zum Teilgebiet 046 in dessen 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 des Salzstocks, dessen flächenhafter Erstreckung sowie der Mächtigkeit des Gesteinskörpers. Nach der Darstellung im Fachbericht zur Anwendung der 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 Teile der Ergebnisse des Forschungsvorhabens der BGR InSpEE<sup>20</sup> (BGR 2016), als Quellen dienten. Soweit aus den veröffentlichten Abschlussberichten des Vorhabens InSpEE und der genannten Veröffentlichung zum Geotektonischen Atlas ersichtlich ist der Salzstock Lisa darin nicht explizit behandelt. Inwieweit das Datenblätter zu Strukturinformationen des Salzstocks Lisa, das im Rahmen von InSpEE erstellt wurde, jeweils zur Bewertung herangezogen wurde, ist nicht nachvollziehbar. Wie in Kapitel 5.1 ausgeführt besteht jedoch eine Diskrepanz von 80 m zwischen der Angabe zur Tiefenlage des Strukturtops des Salzstocks im InSpEE-Datenblatt und im Zwischenbericht Teilgebiete. Das weist darauf hin, dass die Informationen aus dem Datenblatt nicht berücksichtigt wurden. Eine Begutachtung der 3D-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 des Salzstocks Lisa korreliert werden können.

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 führt<sup>21</sup>. 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 das Teilgebiet 046, Salzstock Lisa, sind diese Angaben auf allen Ebenen identisch mit den Literaturangaben zu allen anderen bisher von den Autoren geprüften

---

<sup>20</sup> 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](https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Nutzung_tieferer_Untergrund_CO2Speicherung/Projekte/Nutzungspotenziale/Abgeschlossen/InSpEE_en.html)

<sup>21</sup> zuletzt geprüft am 21.07.2021

Teilgebieten in Steinsalz in steiler Lagerung, bspw. zu den Teilgebieten 024, 028, 030, 032, 033, 034. Ein Großteil der verwendeten Quellen ist online zugänglich, die meisten davon kostenfrei. Einige der angegebenen Quellen sind Bücher oder Zeitschriftenveröffentlichungen, die nur über Bibliotheken oder antiquarisch verfügbar sind. Direkten Bezug zum Salzstock Lisa hat nur eine der Quellen. Die Veröffentlichung „Eignung von Salzstöcken in Niedersachsen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle“ (Jaritz 1983) enthält wenige Informationen zum Salzstock Borkum-Nord; mit dieser Bezeichnung wird der Salzstock Lisa in dieser Abhandlung der BGR beschrieben.

Bei der Anwendung von Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien werden die Gesteinseigenschaften von Steinsalz ausschließlich in generischer Weise berücksichtigt. Spezifische Informationen zu den Gesteinen des Salzstocks Lisa wurden nicht berücksichtigt. Eine Prüfung der verwendeten Daten auf Konsistenz mit den Bedingungen im Salzstock Lisa 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 des Teilgebiets 046, Salzstock Lisa, erhobene Daten, bspw. aus der Erdölexploration und vorliegenden Studien, in die Kriterienanwendung eingegangen sind.

### **Weitere Quellen**

Im Rahmen einer kurzen Literaturdurchsicht wurde in den Datenbanken von Fachbibliotheken nach Literatur mit Bezug zum Salzstock Lisa bzw. Borkum-Nord gesucht, die keinen Eingang in den Zwischenbericht Teilgebiete hat. Es konnten dabei jedoch keine zusätzlichen Quellen ermittelt werden.

## 8 Zusammenfassende Bewertung

Die Methodik zur Ausweisung des Teilgebietes 046, Salzstock Lisa, 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 im Umfeld des Salzstocks Lisa der Ausschluss mehrerer aktiver Störungszonen sowie einer Tiefbohrung. Die Bearbeitung der Ausschlusskriterien *Seismische Aktivität* und *Grundwasseralter* sollte, wie in Kapitel 4.1 dargelegt, im weiteren Verfahren angepasst werden.

Alle Mindestanforderungen werden seitens der BGE für das Teilgebiet 046 sowie die Teilgebiete 006 und 007 als erfüllt angesehen. Die Anwendung der Mindestanforderungen auf Teilgebiete in Steinsalz in steiler Lagerung vernachlässigt aber bisher aufgrund der Datenlage generell den komplexen Internbau von Salinaren. Darüber hinaus wurden Informationen einer Bohrung in der Flanke des Salzstocks Lisa nicht berücksichtigt, die nahelegen, dass innerhalb der endlagerrelevanten Tiefe unter Umständen kein zur Ausweisung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs geeignetes Vorkommen von Steinsalz vorhanden ist. Die in der Bohrung angetroffenen Zechsteinsedimente bestehen demnach im Wesentlichen aus Kalisalz.

Die Anwendung der Mindestanforderungen auf Gebiete in Tongestein erfolgte aufgrund sehr pauschaler Annahmen zu Tongesteinen und jeweils für stratigraphische Einheiten, die sich über weite Teile Norddeutschlands erstrecken. Aussagen zur Gültigkeit der Bewertung für die Segmente der Teilgebiete, die sich innerhalb des Landkreises Leer befinden, sind auf diese Weise kaum möglich. Es zeigt sich aber, dass das Teilgebiet 007 im Landkreis Leer kaum über eine ausreichende flächenhafte Ausdehnung verfügt, um darin ein Endlager zu errichten und einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich auszuweisen.

Bei der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien wurden im Wesentlichen pauschale Bewertungen anhand von Referenzdatensätzen vorgenommen, die für alle Gebiete mit dem Wirtsgestein Steinsalz bzw. für alle Gebiete mit dem Wirtsgestein Tonstein identisch genutzt wurden.

Für den Salzstock Lisa wurden drei der elf geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 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.

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 gebietspezifischen Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 2 und 11 für den Salzstock Lisa 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 dem Schichtenverzeichnis der Bohrung Nordsee (D) A 1 wurden nicht genutzt. Gleiches gilt für Informationen aus der Fachliteratur, die auf einen massiven Scheitelgraben im Deckgebirge des Salzstocks hinweisen (Jaritz 1983). Die Informationen aus den Schichtenverzeichnissen der Bohrungen Nordsee (D) M 1 und Nordsee (D) A 1 scheinen diese Annahme zu stützen.

Die Sonderstellung von Scheitelstörungen, die zwar im Deckgebirge von Salzstöcken zum Ausschluss nach § 22 Abs. 2 Nr. 2 führen, nicht aber zum Ausschluss der Salzstöcke selbst, wird mit dem duktilen Verhalten von Steinsalz begründet, das eine Fortsetzung der Störungen in den Salzstock hinein verhindere. Wie in Kapitel 4.1 ausgeführt, bedarf dieses Vorgehen einer vertieften Betrachtung und möglicherweise Revision.

Wie in Kapitel 5.1 dargestellt, weicht die Angabe zur Tiefenlage des Salzstocks Lisa im Zwischenbericht Teilgebiete deutlich von Literaturdaten ab, auch unter Berücksichtigung der von der BGE jeweils addierten Salzscheibe. Diese Diskrepanz sollte aufgelöst werden.

Hinsichtlich der Bewertung des geowissenschaftlichen Abwägungskriteriums 11, *Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge*, ist zu hinterfragen, inwieweit ein durch Scheitelstörungen und einen massiven Scheitelgraben zerblocktes Deckgebirge in der Lage ist, hydraulischen und mechanischen Schutz gegen Erosion und das Eindringen von Grundwasser zu bieten.

Die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien für die Segmente der Teilgebiete 006 und 007 auf dem Gebiet des Landkreises Leer erfolgte ausschließlich aufgrund pauschaler Annahmen zu Tongestein und allgemeinen Informationen zu den Gesteinen der stratigraphischen Einheiten Unterjura und Unterkreide in Norddeutschland. Aufgrund der derzeitigen Datenlage kann nicht bewertet werden, inwiefern die der Ausweisung als Teilgebiete zugrundeliegenden Annahmen auf die Gesteine des Unterjura und der Unterkreide im Landkreis Leer zutreffen.

Unter Berücksichtigung der Anwendungsmethodik der Vorhabenträgerin BGE und der Tatsache, dass keine standortspezifischen Informationen außer dem geologischen 3D-Modell von Niedersachsen herangezogen wurden, erscheint die Ausweisung des Salzstocks Lisa als Teilgebiet im ersten Schritt der Phase 1 des Standortauswahlverfahrens plausibel. Im weiteren Verfahren sollten jedoch grundsätzlich jeweils alle vorliegenden Informationen zur lokalen Geologie herangezogen werden, um Standortregionen für die übertägige Erkundung zu ermitteln.

Bis zur Ausweisung von Standortregionen gemäß § 14 StandAG soll die mit der Fachkonferenz Teilgebiete begonnene Öffentlichkeitsbeteiligung nach einem Beschluss der Fachkonferenz weitergeführt werden, um keine Beteiligungslücke entstehen zu lassen. Die Vorbereitungsgruppe des dritten Beratungstermins hat seitens der Fachkonferenz das Mandat erhalten, mit dem Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) ein Konzept dazu zu erarbeiten.

Neben der Teilnahme an Veranstaltungen im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung besteht für den Landkreis Leer die Möglichkeit zu einem direkten Austausch mit der Vorhabenträgerin. Fragen und Anmerkungen, die sich aus dem vorliegenden Gutachten ergeben, können direkt an die BGE

herangetragen werden. Des Weiteren hat das Land Niedersachsen ein Begleitforum Endlagersuche<sup>22</sup> eingerichtet, das sich aus niedersächsischer Perspektive mit dem Standortauswahlverfahren auseinandersetzt.

### Relevante Fragestellungen

Aus der Prüfung der Ausweisung des Salzstocks Lisa als Teilgebiet 046 im Rahmen des Standortauswahlverfahrens für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle sowie der Unterjura- und Unterkreidegesteine in Norddeutschland können einige konkrete Fragestellungen an die BGE als Vorhabenträgerin des Standortauswahlverfahrens abgeleitet werden:

- Wie sind die deutlichen Unterschiede hinsichtlich der Tiefenangaben zum Salzstock Lisa zwischen dem Zwischenbericht Teilgebiete und dem Datenblatt des Forschungsvorhabens InSpEE zu erklären?
- Warum wurde das Schichtenverzeichnis der Bohrung Nordsee (D) A 1 nicht als entscheidungserhebliche Information zur Ausweisung des Salzstocks Lisa herangezogen, obwohl die erbohrte Abfolge der Zechsteinsedimente auf Kalisalz als Hauptbestandteil innerhalb der endlagerrelevanten Tiefe hinweist?
- Wie bewertet die BGE die Information über das Vorhandensein eines Scheitelgrabens im Deckgebirge des Salzstocks Lisa und in diesem Zusammenhang die unterschiedlichen Mächtigkeiten der quartären Sedimente in den Bohrungen Nordsee (D) A 1 und Nordsee (D) M 1, insbesondere vor dem Hintergrund der Kulmination des Salzstocks in einer Tiefe von 100 m bis 180 m und dem möglichen Fehlen einer geeigneten Salzscheibe über dem Staßfurt-Steinsalz, wie es die Ergebnisse der Bohrung Nordsee (D) A 1 nahelegen?
- Ist die Fläche des Teilgebiets 007 innerhalb des Landkreises Leer ausreichend, um einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich auszuweisen?

---

<sup>22</sup> <https://www.begleitforum-endlagersuche.de/>

## Literaturverzeichnis

- Appel, D.; Baltes, B.; Bräuer, V.; Brewitz, W.; Duphorn, K.; Gömmel, R.; Haury, H.-J.; Ipsen, D.; Jentzsch, G.; Kreusch, J.; Kühn, K.; Lux, K.-H.; Sailer, M. et al. (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte, Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte, Dezember 2002.
- Baldschuhn, R. (2001): Paläogeographie, Paläotektonik, Palaeogeography, Palaeotectonics. Unter Mitarbeit von Baldschuhn, R., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Geologisches Jahrbuch Reihe A, Allgemeine und regionale Geologie Bundesrepublik Deutschland und Nachbargebiete, Tektonik, Stratigraphie, Paläontologie, 153). Stuttgart: Schweizerbart.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2018): 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 zum Teilgebiet 006\_00TG\_188\_00IG\_T\_f\_ju, in Zwischenbericht Teilgebiete gemäß §13 StandAG (Geschäftszeichen: SG01101/16-1/2-2019#3 - Objekt-ID: 755925 - Revision: 000). Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020o): Kompaktsteckbrief zum Teilgebiet 007\_00TG\_202\_02IG\_T\_f\_kru, in Zwischenbericht Teilgebiete gemäß §13 StandAG (Geschäftszeichen: SG01101/16-1/2-2019#3 - Objekt-ID: 755925 - Revision: 000). Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020p): Kompaktsteckbrief zum Teilgebiet 046\_00TG\_090\_00IG\_S\_s\_z, in Zwischenbericht Teilgebiete gemäß §13 StandAG (Geschäftszeichen: SG01101/16-1/2-2019#3 - Objekt-ID: 755925 - Revision: 000), 28.09.2020, zuletzt geprüft am 18.08.2021.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020q): Steckbrief 006\_00TG\_188\_00IG\_T\_f\_ju, Wirtsgestein: Tongestein. Geschäftszeichen: SG02102/5-5/2-2020#12 - Objekt-ID: 829573 - Revision: 000. Peine, 28.09.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Hg.) (2020r): 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.) (2020s): Steckbrief 046\_00TG\_090\_00IG\_S\_s\_z, Steinsalz in steiler Lagerung. Geschäftszeichen: SG02102/5-5/2-2020#12 - Objekt-ID: 829573 - Revision: 000, 28.09.2020.
- BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2016): Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft), Sachbericht 03ESP323B. InSpEE, 21.03.2016.
- BGR, H. (2021): Bohrpunktkarte Deutschland. Online verfügbar unter <https://boreholemap.bgr.de/mapapps/resources/apps/boreholemap/index.html?lang=de>, zuletzt aktualisiert am 20.08.2021, zuletzt geprüft am 20.08.2021.
- Bombien, H.; Hoffers, B.; Breuckmann, S.; Helms, M.; Lademann, K.; Lange, M.; Oelrich, A.; Reimann, R.; Rienäcker, J.; Schmidt, C.; Slaby, M.-F.; Ziesch, J. (2012): Der Geotektonische Atlas von Niedersachsen und dem deutschen Nordseesektor als geologisches 3D-Modell Einleitung. In: *Gmit Geowissenschaftliche Mitteilungen*.
- Chaudry, S.; Neles, J. (2020): Kurzgutachten zur Umsetzung der Kriterien nach den §§ 22-24 StandAG in Methoden zur Kriterienanwendung durch die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. Öko-Institut e. V. Darmstadt, 24.09.2020.
- ENSI - Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (2017): Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag der in Etappe 3 SGT weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2 (ENSI 33/540). Brugg, April 2017.
- Fraktionen CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2017): Entwurf eines Gesetzes zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetze, 07.03.2017.

- Frisch, U.; Kockel, F. (2004): Der Bremen-Knoten im Strukturnetz Nordwest-Deutschlands. Stratigraphie, Paläogeographie, Strukturgeologie. In: *Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen*.
- Jähne-Klingberg, F.; Stück, H.; Bebiolka, A.; Bense, F.; Stark, L. (2019): Prognosemöglichkeiten von großräumigen Vertikalbewegungen in Deutschland (9S2018100000). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover, Oktober 2019. Online verfügbar unter [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Geowissenschaftlich\\_%20Kriterien/2019\\_10\\_28\\_prognosemoeglichkeiten\\_vertikalbewegungen\\_abschlussbericht.pdf?blob=publicationFile&v=5](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.
- LIAG - Leibniz-Institut für angewandte Geophysik (Hg.) (2016): Der Untergrund von Borkum: Geologie und Grundwasser, Ergebnisse des Interreg-Projektes CLIWAT. Hannover, 2016.
- 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.