

Für:  
Landkreis Friesland  
Postfach 1244  
26436 Jever  
Deutschland

# Geologische Bewertung der von der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) ausgewiesenen Teilgebiete in den Landkreisen Friesland und Wittmund

Auftragsnr. des Kunden: 10.70.08-21-24

Projektnr.: 0831-882213  
Erstellt von: Péter László Horváth  
Therese Mann

Datum: 04.11.2021  
Geprüft von: Christian Weiler  
Stephan Rohs  
Freigegeben von: Dr. Andreas Kahlfeld  
Revision: 01

DEEP.KBB GmbH | Büro Hannover  
Baumschulenallee 16 | 30625 Hannover  
info@deep-kbb.de | www.deep-kbb.de



Inhaltsverzeichnis

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>6</b>
<b>2 Geschichtlicher Abriss zur Endlagersuche in Deutschland.....</b>	<b>7</b>
<b>3 Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung von Teilgebieten.....</b>	<b>10</b>
3.1 Methodik der Ausweisung von Teilgebieten durch die BGE .....	10
3.2 Wirtsgesteine .....	12
3.3 Erläuterung der Ausschlusskriterien.....	13
3.3.1 Großräumige Vertikalbewegungen: .....	13
3.3.2 Aktive Störungszonen: .....	14
3.3.3 Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit .....	14
3.3.4 Seismische Aktivität .....	15
3.3.5 Vulkanische Aktivität .....	15
3.3.6 Grundwasseralter .....	15
3.4 Erläuterung der Mindestanforderungen.....	15
3.4.1 Gebirgsdurchlässigkeit.....	15
3.4.2 Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs.....	16
3.4.3 Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs .....	16
3.4.4 Fläche des Endlagers .....	16
3.4.5 Erhalt der Barrierewirkung .....	16
3.5 Erläuterung der Geowissenschaftliche Abwägungskriterien .....	16
<b>4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund .....</b>	<b>18</b>
4.1 Überblick zu den Teilgebieten .....	18
4.2 Teilgebiet 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg (Tertiäres Tongestein) .....	19
4.2.1 Darstellung des Teilgebiets.....	19
4.2.2 Ausschlusskriterien (nach § 22 StandAG) .....	21
4.2.3 Mindestanforderungen (nach § 23 StandAG) .....	23
4.2.4 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (nach § 24 StandAG).....	24
4.2.5 Fazit der Plausibilitätsprüfung .....	26
4.3 Teilgebiet 006_00TG_188_00IG_T_f_ju (Jurassisches Tongestein).....	27
4.3.1 Darstellung des Teilgebiets.....	27
4.3.2 Ausschlusskriterien (nach § 22 StandAG) .....	29

## **Inhaltsverzeichnis**

4.3.3	Mindestanforderungen (nach § 23 StandAG) .....	30
4.3.4	Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (nach § 24 StandAG).....	32
4.3.5	Fazit der Plausibilitätsprüfung .....	32
4.4	Teilgebiet 031_00TG_050_00IG_S_s_z (Permische Steinsalz im Salzstock Berdum-Jever) .....	33
4.4.1	Darstellung des Teilgebiets.....	33
4.4.2	Ausschlusskriterien (nach § 22 StandAG) .....	35
4.4.3	Mindestanforderungen (nach § 23 StandAG) .....	37
4.4.4	Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (nach § 24 StandAG).....	42
4.4.5	Fazit der Plausibilitätsprüfung .....	44
4.5	Teilgebiet 042_00TG_071_00IG_S_s_z (Permische Steinsalz im Salzstock Arngast .....)	45
4.5.1	Darstellung des Teilgebiets.....	45
4.5.2	Ausschlusskriterien (nach § 22 StandAG) .....	47
4.5.3	Mindestanforderungen (nach § 23 StandAG) .....	47
4.5.4	Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (nach § 24 StandAG).....	48
4.5.5	Fazit der Plausibilitätsprüfung .....	50
4.6	Teilgebiet 066_00TG_154_00IG_S_s_z-ro (Permische Steinsalz im Salzstock Wangerooge).....	52
4.6.1	Darstellung des Teilgebiets.....	52
4.6.2	Ausschlusskriterien (nach § 22 StandAG) .....	54
4.6.3	Mindestanforderungen (nach § 23 StandAG) .....	54
4.6.4	Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (nach § 24 StandAG).....	56
4.6.5	Fazit der Plausibilitätsprüfung .....	56
<b>5</b>	<b>Beantwortung spezieller Fragestellungen .....</b>	<b>58</b>
5.1	Teilgebiete Tongesteine – Flächengröße und Datengrundlage.....	58
5.2	Plausibilität Anwendung des gleichen Referenzdatensatzes für Teilgebiete Prätertiär und Tertiär .....	58
5.3	Einfluss von Störungszonen in Teilgebieten auf potentielle Eignung als Endlagerstätte ...	59
5.4	Abstände zu ober- und unterirdischen Schutzgütern – Zeitraum der Betrachtung im Verfahrensverlauf .....	59
5.5	Bewertung Einfluss des Küstenraums und mögliche Transgressionen auf Eigenschaften der Wirtsgesteine?.....	60
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick zum Standortauswahlverfahren .....</b>	<b>62</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>63</b>

**Abbildungsverzeichnis**

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1:	Endlagerrelevante Eigenschaften potenzieller Wirtsgesteine (BGR 2007).....	13
Abbildung 2:	Tabelle zum Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit aus Anlage 3 StandAG (StandAG 2017).....	17
Abbildung 3:	Übersicht Teilgebiete in den Landkreisen Friesland und Wittmund.....	18
Abbildung 4:	Übersichtskarte und Kurzbeschreibung des Teilgebiets 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg (BGE 2020a (Tabelle) und BGE 2020b (Grundlage für Karte)).....	19
Abbildung 5:	Geologischer Profilschnitt durch Teilgebiet 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg (verändert nach NIBIS® Kartenserver (2021a)).....	21
Abbildung 6:	Plausibilitätsprüfung geowissenschaftliche Abwägungskriterien für Teilgebiete im Wirtsgestein Tongestein (verändert nach BGE 2020a).....	25
Abbildung 7:	Übersichtskarte und Kurzbeschreibung des Teilgebiets 006_00TG_188_00IG_T_f_ju (BGE 2020a (Tabelle) und BGE 2020b (Grundlage für Karte)).....	27
Abbildung 8:	Geologischer Profilschnitt durch Teilgebiet 006_00TG_188_00IG_T_f_ju (verändert nach NIBIS® Kartenserver (2021a)).....	28
Abbildung 9:	Übersichtskarte und Kurzbeschreibung des Teilgebiets 031_00TG_050_00IG_S_s_z (BGE 2020a (Tabelle) und BGE 2020b (Grundlage für Karte)).....	33
Abbildung 10:	Perspektivische Darstellung des Teilgebiets 031_00TG_050_00IG_S_s_z im Salzstock Berdum-Jever (Basis GTA3D, Baldschuhn et al. 2001).....	34
Abbildung 11:	Darstellung des Teilgebiets 031_00TG_050_00IG_S_s_z im Salzstock Berdum-Jever aus der Vogelperspektive (Basis GTA3D, Baldschuhn et al. 2001).....	35
Abbildung 12:	Schematischer Aufbau eines Salzstocks mit Deck- und Nebengebirge sowie Scheitelstörungen (Quelle DEEP.KBB).....	39
Abbildung 13:	Einteilung der Salzstrukturen in Internbautypen / Projekt InSpEE (Pollock et al. 2016).....	40
Abbildung 14:	Reduzierte Fläche des Teilgebiets 031_00TG_050_00IG_S_s_z nach Pufferung anhand InSpEE-Methodik (BGE 2020b (Grundlage für Karte)).....	41
Abbildung 15:	Plausibilitätsprüfung geowissenschaftliche Abwägungskriterien für Teilgebiet 031_00TG_050_00IG_S_s_z (verändert nach BGE 2020a).....	43
Abbildung 16:	Übersichtskarte und Kurzbeschreibung des Teilgebiets 042_00TG_071_00IG_S_s_z (BGE 2020a (Tabelle) und BGE 2020b (Grundlage für Karte)).....	45
Abbildung 17:	Perspektivische Darstellung des Teilgebiets 042_00TG_071_00IG_S_s_z im Salzstock Arngast (Basis GTA3D, Baldschuhn et al. 2001).....	46
Abbildung 18:	Plausibilitätsprüfung geowissenschaftliche Abwägungskriterien für Teilgebiet 042_00TG_071_00IG_S_s_z (verändert nach BGE 2020a).....	50

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 19:	Übersichtskarte und Kurzbeschreibung des Teilgebiets 066_00TG_154_00IG_S_s_z-ro (BGE 2020a (Tabelle) und BGE 2020b (Grundlage für Karte)).....	52
Abbildung 20:	Perspektivische Darstellung des Teilgebiets 066_00TG_154_00IG_S_s_z-ro im Salzstock Wangerooge (Basis GTA3D, Baldschuhn et al. 2001) .....	53

## Tabellenverzeichnis

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Tiefbohrungen im Umfeld des Teilgebiets 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg (NIBIS® Kartenserver (2021b)) .....	22
Tabelle 2:	Tiefbohrungen im Umfeld des Teilgebiets 006_00TG_188_00IG_T_f_ju (NIBIS® Kartenserver (2021b)).....	30
Tabelle 3:	Tiefbohrungen auf dem Salzstock Berdum-Jever (NIBIS® Kartenserver (2021b)) .....	37
Tabelle 4:	Tiefbohrung auf dem Salzstock Wangerooge (NIBIS® Kartenserver (2021b)).....	54

## 1 Einleitung

### 1 Einleitung

Mit der Verabschiedung des Standortauswahlgesetzes – StandAG (Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle) im Jahr 2017 (Neufassung der ersten Fassung aus dem Jahr 2013) begannen auch die Arbeiten im Standortauswahlverfahren, die von der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) als Vorhabenträgerin durchgeführt werden. Die Standortsuche erfolgt dabei in drei Phasen mit zunehmender Einengung des Betrachtungsraums bei gleichzeitiger Erhöhung des Detaillierungsgrades: Von der anfänglichen Betrachtung des gesamten Bundesgebiets zu übertägig zu erkundenden Standortregionen und über untertägig zu erkundenden Standorten bis hin zu einem Vorschlag für einen Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle.

Am 28.09.2020 veröffentlichte die BGE den "Zwischenbericht Teilgebiete" (BGE, 2020a). Nach § 13 StandAG sind Teilgebiete jene Gebiete in Deutschland, die günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in einem der drei Wirtsgesteine (Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein) erwarten lassen. Die Teilgebiete resultieren aus der Anwendung von Ausschlusskriterien (§ 22 StandAG), Mindestanforderungen (§ 23 StandAG) und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (§ 24 StandAG). Mit der Veröffentlichung des Zwischenberichts Teilgebiete soll die öffentliche Teilnahme angeregt werden, so dass eine Begleitung der Arbeit und die Einordnung der Ergebnisse im Standortauswahlverfahren möglich ist.

Das Gebiet der Landkreise Friesland und Wittmund überschneidet sich mit insgesamt fünf Teilgebieten. Bei drei Teilgebieten handelt es sich um solche im Wirtsgestein Steinsalz (die Salzstöcke Arngast, Berdum-Jever und Wangerooge). Die anderen zwei Teilgebiete zählen zu großflächig verbreiteten Tongesteinen.

Die DEEP.KBB GmbH (DEEP.KBB) wurde vom Landkreis Friesland beauftragt, aus geologischer Sicht die Methodik bei der Ausweisung der Teilgebiete in den Landkreisen Friesland und Wittmund sowie die Bewertungsergebnisse auf Plausibilität zu prüfen. Die Prüfung soll anhand der verfügbaren Unterlagen und im Abgleich mit den Vorgaben des StandAG erfolgen. Des Weiteren sollen im Zuge der Bearbeitung spezielle Fragenstellungen beantwortet werden, welche die regionalen Besonderheiten im Hinblick auf Geologie und Küstennähe beleuchten sollen.

Auf dieser Grundlage soll eine zusammenfassende Bewertung der Teilgebiete in Berichtsform für die Zielgruppen Politik und Öffentlichkeit erstellt und im Fachausschuss der Landkreise vorgestellt werden.

Zum Verständnis und zur Einordnung des Standortauswahlverfahrens gibt Kapitel 2 dieses Berichts einen kurzen Überblick zum bisherigen Ablauf der Endlagersuche für radioaktive Abfälle in Deutschland.

Das Kapitel 3 befasst sich mit der Erläuterung und wo angebracht mit der Plausibilitätsprüfung der Methodik zur Ausweisung von Teilgebieten durch die BGE. Stellungnahmen des Landesamtes für Bergbau und Geologie (LBEG) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) zum Zwischenbericht Teilgebiete werden ergänzend hinzugezogen.

Im Kapitel 4 werden die fünf Teilgebiete dargestellt und deren Charakteristika beschrieben. Die Herleitung der Teilgebiete wird unter Bezug auf die Ausführungen in Kapitel 3 aus fachlicher Sicht bewertet. Hierbei werden die Erkenntnisse zur Verwendung von Referenzdaten und verfügbaren gebietsspezifischen Daten näher erläutert und bewertet.

In Kapitel 5 erfolgt die Beantwortung/Erarbeitung der in der Leistungsbeschreibung des Landkreises Friesland aufgeführten zusätzlichen Frage-/Aufgabenstellungen.

Der Bericht schließt mit einer zusammenfassenden Bewertung und einem Ausblick auf den weiteren Verlauf des Standortauswahlverfahrens.

## **2 Geschichtlicher Abriss zur Endlagersuche in Deutschland**

### **2 Geschichtlicher Abriss zur Endlagersuche in Deutschland**

Bevor weiter unten die Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung von Teilgebieten erläutert wird, soll ein kurzer Abriss zur Geschichte der Endlagerung von radioaktivem Abfall in Deutschland gegeben werden. Dieser soll zum Verständnis der seit 2017 neu geregelten Suche und Auswahl eines zukünftigen Endlagers für hochradioaktive Abfälle (HAW) beitragen. Als wesentliche Quellen wurden hierzu Dornsiepen (2015) und die Informationen auf der Webseite der BGE herangezogen.

Radioaktive Abfälle, die hauptsächlich aus der Nutzung der Atomenergie sowie zu einem kleineren Teil aus der Medizin und Forschung stammen, senden in unterschiedlicher Stärke energiereiche Strahlung aus, die nachweislich die Gesundheit von Lebewesen schädigen. Es besteht daher weltweit Konsens darüber, dass zum Schutz der Biosphäre radioaktive Abfälle für sehr lange Zeiträume (bis zu 1 Million Jahren) in ein Endlager im geologischen Untergrund verbracht werden sollen.

Das Thema der Endlagerung radioaktiver Abfälle wird in der Bundesrepublik Deutschland seit vielen Jahrzehnten kontrovers diskutiert und ist mit vielen Emotionen behaftet. Ein Grund dafür sind die vielen getroffenen politischen Entscheidungen zu den Errichtungen von Endlagern für radioaktive Abfälle mit teils negativen Folgen.

Den Anfang machte in den 1960er Jahren die in der Nähe der niedersächsischen Stadt Wolfenbüttel befindliche Schachtanlage Asse in einer aus Zechsteinsalz aufgebauten Sattelstruktur. Dieses ehemalige Kali- und Steinsalzbergwerk wurde in ein Versuchsbergwerk für die Endlagerforschung umgewandelt. Bis 1978 wurden mehr als 125.000 Gebinde (ca. 47.000 m<sup>3</sup>) mit schwach- (LAW) und mittelradioaktivem (MAW) Abfall eingelagert. Seit vielen Jahren dringt Grundwasser aus dem Nebengebirge ins Bergwerk ein. Im Jahr 2013 wurde gesetzlich die Rückholung des radioaktiven Abfalls und die Schließung des Bergwerks beschlossen.

Die ehemalige DDR entschied sich 1971 ihre radioaktiven Abfälle ebenfalls in ein ehemaliges Salzbergwerk einzulagern. Hierzu wurde die Schachtanlage Bartensleben bei Morsleben in Nähe zur damaligen innerdeutschen Grenze im heutigen Sachsen-Anhalt ausgewählt. Das Bergwerk befindet sich in der langgestreckten Allertalstruktur, einer der Asse ähnlichen, gleichfalls aus dem Zechsteinsalinar aufgebauten Sattelstruktur. Bis zum Jahr 1998 wurden ca. 37.000 m<sup>3</sup> schwach- und mittelradioaktive Abfälle eingelagert. Derzeit laufen Arbeiten zur Stabilisierung des Bergwerks und zur Verringerung der seit den 1980er Jahren kontinuierlichen Zuflüsse von Grundwasser aus dem Nebengebirge. Die Verfahren zur Stilllegung des Bergwerks sind noch nicht abgeschlossen. Der radioaktive Abfall soll nach der Stilllegung im Bergwerk verbleiben.

In den 1970er Jahren suchte die Bundesregierung nach geeigneten Standorten für ein Endlager für radioaktive Abfälle. Der Standort sollte auch die Möglichkeit für Wiederaufbereitung, Abfallaufbereitung und Zwischenlagerung einschließen. Die Salzstöcke Norddeutschlands erwiesen sich als am günstigsten. Nachdem die Bundesregierung dem Land Niedersachsen die eigenverantwortliche Suche nach einem Endlagerstandort übertrug, schlug der niedersächsische Ministerpräsident im Jahr 1977 hierzu den Salzstock Gorleben vor. Nach anfänglichen Bedenken der Bundesregierung aufgrund der Tatsache, dass sich der Salzstock auf das Gebiet der damaligen DDR fortsetzt, begannen 1979 die Untersuchungen zur Eignung als Endlager, zunächst mit Explorationen von der Oberfläche aus, später auch untertägig in einem Erkundungsbergwerks. Die Untersuchungen wurden bis zu einem zehnjährigen Moratorium im Jahr 2000 fortgesetzt.

Mit dem Inkrafttreten des StandAG in seiner ersten Fassung im Jahr 2013 wurde auch die Erkundung in Gorleben beendet. Der Salzstock Gorleben ist nach Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien gemäß § 24 des StandAG kein Teilgebiet geworden. Damit wird der Salzstock Gorleben für jede weitere Betrachtung im Rahmen der zukünftigen Suche nach einem Endlager ausgeschlossen. Die Stilllegung des Erkundungsbergwerks ist in Vorbereitung.

## **2 Geschichtlicher Abriss zur Endlagersuche in Deutschland**

Zwischen 1975 und 1982 wurde das ehemalige Eisenerzbergwerk Schacht Konrad in der Nähe der niedersächsischen Stadt Salzgitter auf die Eignung zur Endlagerung von radioaktivem Abfall untersucht. Tonsteine der Unteren Kreide befinden sich über dem Bergwerk und wirken als mächtige Barriere, so dass die tonigen Schichten den Einlagerungshorizont nach oben großflächig abdichten. Nach einem 20 Jahre dauernden Planfeststellungsverfahren mit Bürgerbeteiligung erteilt das Land Niedersachsen 2002 den Planfeststellungsbeschluss zur Einlagerung von ca. 300.000 m<sup>3</sup> schwach- und mittelradioaktivem Abfall. Letzte Klagen hierzu werden mit einem Beschluss des Bundesverwaltungsgerichts beendet. Damit ist der Schacht Konrad das erste nach Atomrecht genehmigte Endlager Deutschlands und wird zu diesem Zweck derzeit umgebaut.

Die Bundestagswahl 1998 und der damit verbundene Regierungswechsel brachte einige grundlegende Änderungen in der deutschen Atompolitik. Im Jahr 2000 wurde im sogenannten Atomkonsens mit den Energieerzeugern der Ausstieg aus der Nutzung der Atomenergie beschlossen, die Erkundungen in Gorleben zur Klärung von konzeptionellen und sicherheitstechnischen Fragen vorerst ausgesetzt und der Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd) ins Leben gerufen.

Der AkEnd, ein fachlich-wissenschaftliches Gremium, hatte das Ziel, erstmals in der Geschichte der Bundesrepublik Deutschland neue wissenschaftliche und gesellschaftliche Wege zur Lösung des Endlagerproblems für alle Arten radioaktiver Abfälle zu finden. Seitens der Politik waren die Vorgaben, dass die radioaktiven Abfälle in tiefen geologischen Formationen in Deutschland in ein einziges Endlager eingelagert werden sollten, welches bis 2030 betriebsbereit sein sollte. Die Empfehlungen des AkEnd sahen u.a. einen politisch und rechtlich festgelegten gesellschaftlichen Diskurs, die Beteiligung der Bevölkerung in allen Verfahrensschritten sowie die Transparenz des Auswahlverfahrens mittels einer Informationsplattform vor. Es wurden verschiedene geo- und sozialwissenschaftliche Kriterien zur Auswahl von Endlagerstandorten erarbeitet. Das im späteren Verfahren (siehe weiter unten) angewendete Prinzip der „weißen Landkarte“ sowie der Vergleich mehrerer Standorte mit unterschiedlichen Wirtsgesteinen wurde bereits vom AkEnd vorgeschlagen.

Eine praktische Umsetzung der Ergebnisse und Empfehlungen des AkEnd fand jedoch zunächst nicht statt. Während 2010 für kurze Zeit der "Ausstieg vom Ausstieg" aus der Atomenergie festgelegt wurde, kam es infolge der Reaktorkatastrophe in Fukushima (Japan) zur Rücknahme der beschlossenen Laufzeitverlängerung für deutsche Kernkraftwerke. Ferner wurde der Weg zur Verabschiedung des StandAG und damit die Entwicklung eines neuen, an geologischen Kriterien orientierten Verfahrens zur Endlagersuche geebnet. Das 2013 verabschiedete Gesetz sah hierzu zunächst die Einrichtung der sogenannten Kommission „Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ vor. Diese Kommission, die sich aus Vertretern der Wissenschaft, von gesellschaftlichen Gruppen, der Industrie und aus der Politik zusammensetzte, arbeitete von 2014 bis 2016 an einem Bericht, der auf sämtliche entscheidungserhebliche Fragestellungen zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle eingeht. Es wurden ferner wirtsgesteinsspezifische Auswahl- und Abwägungskriterien erarbeitet und sich auf eine umfassende Bürgerbeteiligung verständigt.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Endlagerkommission novelliert der Bundestag und Bundesrat das StandAG aus dem Jahr 2013. Das überarbeitete Gesetz erscheint im Jahr 2017 (StandAG 2017) und schreibt nun eine mehrphasige Suche nach einem Standort mit bestmöglicher Sicherheit und eine umfassende Beteiligung der Öffentlichkeit insbesondere in den betroffenen Standortregionen fest. Ferner werden wissenschaftliche Ausschluss-, Mindest- und Abwägungskriterien definiert und ein lernendes Verfahren angelegt, das eine Revision von Entscheidungen ermöglicht und eine Rückholbarkeit der eingelagerten Abfälle für einen längeren Zeitraum festlegt. Die Festlegung des Standortes wird für das Jahr 2031 angestrebt.

Die im Jahr 2016 gegründete Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) wird mit der Durchführung des Standortauswahlverfahrens beauftragt. Zusätzlich ist die BGE verantwortlicher Betreiber der deutschen Endlagerprojekte Konrad und Morsleben sowie der Schachtanlage Asse.

## **2 Geschichtlicher Abriss zur Endlagersuche in Deutschland**

Am 28.09.2020 veröffentlicht die BGE den Zwischenbericht Teilgebiete, den ersten wichtigen Schritt auf dem Weg zu einem Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland.

Das StandAG hat das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) als Kontroll- und Aufsichtsbehörde bei der Suche nach einem Endlager bestimmt. Das BASE bewertet die Vorschläge und Erkundungsergebnisse der BGE und schlägt nach Prüfung der Bundesregierung den Endlagerstandort vor. Es begleitet den Suchprozess aus wissenschaftlicher Sicht und überwacht, dass die Suche so abläuft, wie sie im Gesetz festgelegt ist. Als weitere Aufgaben soll das BASE umfassend über das Verfahren informieren und die für die Standortauswahl wesentlichen Inhalte für alle Verfahrensbeteiligten frühzeitig und dauerhaft zur Verfügung stellen. Es organisiert die gesetzlich festgelegten Konferenzen und Gremien. Es bietet darüber hinaus Beteiligungs- und Dialogangebote und evaluiert die Instrumente und Verfahren der Öffentlichkeitsbeteiligung.

Der deutsche Bundestag legt per Gesetz die Standortregionen, die übertägig erkundet werden sollen (§ 15 StandAG), die Standorte, die untertägig erkundet werden sollen (§ 17 StandAG) und den Standortvorschlag (§ 20 StandAG) fest. Der endgültige Standort wird per Bundesgesetz entschieden.

### 3 Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung von Teilgebieten

## 3 Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung von Teilgebieten

Das in Deutschland geplante zukünftige Endlager für hochradioaktive Abfälle soll unterirdisch errichtet werden. Das hierfür per Gesetz vorgesehene Standortauswahlverfahren bezieht die Bürgerrinnen und Bürger als Mitgestalter des Verfahrens im Grundsatz ein. Für ein prinzipielles Verständnis der gesamten Endlagerthematik sind Kenntnisse zur Physik radioaktiver Strahlung, ingenieurtechnisches Wissen zu Bergwerken im Allgemeinen und zu den Anforderungen an ein Endlagerbergwerk im Besonderen sowie zu Grundlagen der Geologie Deutschlands erforderlich.

Der vorliegende Bericht beschäftigt sich mit der Erläuterung zur Herleitung der Teilgebiete im Allgemeinen und im Besonderen mit den Teilgebieten, die das Gebiet der Landkreise Friesland und Wittmund berühren und damit vornehmlich mit geologischen Fragestellungen. Das Kapitel beinhaltet eine zusammenfassende Erläuterung der Methodik zur Ausweisung von Teilgebieten durch die BGE, gefolgt von einer ausführlicheren Beschreibung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien, die für die in Kapitel 4 geführte Erläuterung der Teilgebiete in Friesland und Wittmund von Belang ist.

### 3.1 Methodik der Ausweisung von Teilgebieten durch die BGE

Mit der Verabschiedung des sogenannten Standortauswahlgesetzes (StandAG) wird in Deutschland die zukünftige Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in einem mehrstufigen ergebnisoffenen Verfahren geregelt. Die Suche beginnt praktisch von neuem, ohne Berücksichtigung dessen, dass in der Vergangenheit bereits umfassende Kenntnisse zu einem bestimmten Wirtsgestein oder zu einen/zu einigen bestimmte/n Standort/en erarbeitet worden sind. Es gilt das Prinzip der „weißen Landkarte“, die sich auf ganz Deutschland bezieht.

In einem ersten Schritt des Standortauswahlverfahrens sollte zunächst die Verbreitung der potentiellen **Wirtsgesteine**, Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein, in Deutschland ermittelt werden. Hierzu dient nach StandAG § 2 Abs. 18 und § 13 Abs. 1 die Ausweisung von Teilgebieten, die günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung hochradioaktiver Abfälle erwarten lassen.

Mit der Durchführung des Standortauswahlverfahrens wurde die im Jahr 2016 gegründete BGE beauftragt. Im § 3 des StandAG sind die Aufgaben der BGE (im Gesetz als Vorhabenträger bezeichnet) geregelt. Die erste Aufgabe ist die Ermittlung von Teilgebieten. Näheres hierzu regelt der § 13 des StandAG (Ermittlung von Teilgebieten).

Die BGE stützt sich in erster Hinsicht auf die von den zuständigen Behörden des Bundes und der Länder zur Verfügung gestellten geologischen Daten des gesamten Bundesgebietes. Hier handelt es sich sowohl um analoge als auch um digitale Daten wie beispielsweise geologische Karten, Daten, die mit Tiefbohrungen gewonnen wurden, sowie geologische 3D-Modelle des Untergrundes. In dieser Phase der Standortermittlung werden somit schon existierende Daten ausgewertet. Neue Daten werden mit entsprechenden Erkundungsmaßnahmen erst in den späteren Verfahrensschritten gewonnen.

Die Teilgebiete resultieren aus der Anwendung von Ausschlusskriterien (§ 22 StandAG), Mindestanforderungen (§ 23 StandAG) und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (§ 24 StandAG), welche nachstehend genannt und in den Kapiteln 3.3 bis 3.4 ausführlich erläutert werden.

### **3 Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung von Teilgebieten**

Auf die vorliegenden Geodaten und Informationen, die sich auf das gesamte Bundesgebiet beziehen, wurden wie in § 13 StandAG beschrieben, zunächst die **geowissenschaftlichen Ausschlusskriterien** nach § 22 StandAG angewandt. Die Ausschlusskriterien umfassen:

- großräumige Hebungen der Erdoberfläche,
- aktive Störungszonen (z.B. Brüche und Versätze in Gesteinsschichten),
- Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit, seismische Aktivität (Erdbeben),
- vulkanische Aktivität und
- junges Grundwasseralter (deutet auf Austausch mit Erdoberfläche/Biosphäre hin).

Gebiete, auf die mindestens eines dieser Ausschlusskriterien zutrifft, sind nicht geeignet.

In einem weiteren Schritt wurden auf die verbleibenden Gebiete die **Mindestanforderungen** nach § 23 StandAG angewandt. Folgende Mindestanforderungen finden Anwendung:

- die Gebirgsdurchlässigkeit (Wasserdurchlässigkeit des Wirtsgesteins im Gebirgsverband),
- die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs,
- die minimale Tiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (also den Abstand zur Erdoberfläche),
- die angenommene Mindestfläche des Endlagers sowie
- den Erhalt der Barrierewirkung (Verhinderung der Ausbreitung von radioaktiven Stoffen) einschließen.

Gebiete, in denen mindestens eines der Mindestanforderungen nicht erfüllt ist, sind nicht geeignet.

Die nach Anwendung der geologischen Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen verbliebenen 181 Gebiete, bilden die sogenannten identifizierten Gebiete, auf die in einem letzten Arbeitsschritt die **geowissenschaftlichen Abwägungskriterien** nach § 24 StandAG angewendet wurden. Anhand dieser insgesamt elf Kriterien wurde die geologische Gesamtsituation eines Gebietes hinsichtlich der Eignung als Endlagerstandort vergleichend bewertet. Die Kriterien beziehen sich auf

- den Transport radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich,
- die Konfiguration i.w.S. (räumliche Anordnung) der Gesteinskörper,
- die räumliche Charakterisierbarkeit,
- die langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse,
- die günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften,
- die Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten,
- die Gasbildung,
- die Temperaturverträglichkeit,
- das Rückhaltevermögen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich,
- die hydrochemischen Verhältnisse und
- den Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge.

### **3 Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung von Teilgebieten**

Für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien standen der BGE in dieser Phase des Standortauswahlverfahrens nur zum Teil erforderliche Daten zur Verfügung. Die Differenz zwischen vorliegenden gebietsspezifischen Daten und denen für die Bewertung der elf Kriterien benötigten Daten wurde mit Hilfe sogenannter wirtsgesteinsspezifischer Referenzdatensätze (gleichwertige Daten als Vorlage) geschlossen. Hierzu waren umfangreiche Literaturrecherchen notwendig.

Aus den identifizierten Gebieten resultieren nach Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien die Teilgebiete als vorläufiger Arbeitsstand.

Die Ergebnisse dieser etwa drei Jahre andauernden Arbeiten wurden im Zwischenbericht Teilgebiete zusammengefasst und am 28.09.2020 von der BGE veröffentlicht. Es wurden insgesamt 90 Teilgebiete mit einer Gesamtfläche von ca. 241.000 km<sup>2</sup> ausgewiesen.

### **3.2 Wirtsgesteine**

Nach § 1 StandAG soll ein Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle ermittelt werden, an dem ein Endlagerbergwerk in tiefen geologischen Formationen errichtet werden soll. Als Wirtsgesteine kommen Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein in Betracht. Die genannten Gesteine weisen unterschiedliche Eigenschaften in Hinblick auf Ihre Eignung als Wirtsgesteine auf (Abbildung 1).

Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein sind Gesteine, die in Deutschland im Untergrund weit verbreitet sind und in internationalen Endlagerkonzepten teils seit Jahrzehnten untersucht werden, weshalb diese auch für die Suche nach einem möglichen Endlager für hochradioaktive Abfälle als Wirtsgesteine ausgewählt wurden.

Im Fall von **Steinsalz** bestehen in Deutschland aufgrund der weit über hundertjährigen Salzbergbaugeschichte umfangreiche Kenntnisse zu Eigenschaften, die eine Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen ermöglichen oder begünstigen. Es sollten hierzu auch die zahlreichen Erfahrungen aus den Bergwerken an den Standorten Asse, Morsleben und Gorleben nicht unerwähnt bleiben. Steinsalz entsteht durch die Verdunstung von Meerwasser. Wird Meerwasser eingedampft, entstehen auch andere Sedimente und Salze bzw. Salzgesteine, wie zum Beispiel Karbonate, Anhydrit oder Kalium- und Magnesiumsalze, welche letztendlich den inneren Aufbau eines Salinars (vorwiegend aus Salzgesteinen aufgebauter Gesteinskomplex) maßgeblich mitbestimmen. Grundsätzlich wird bei dem Wirtsgestein Steinsalz aufgrund seiner strukturellen Entwicklung zwischen flacher, das heißt einer flachen Lagerungsform (Schichtensalz, Salzkissen) und bedingt durch den Salzaufstieg, der steilen Lagerung, z.B. in Salzstöcken und Salzmauern, unterschieden. Durch das Verfallen der Schichten (Steinsalz und andere Sedimente), ist eine gute Erkundung der Salzvorkommen notwendig, um herauszufinden wo genau und in welcher Ausprägung sich bevorzugte Steinsalzsichten befinden.

Im Vergleich zum Kenntnisstand zu Steinsalz sind die endlagerspezifischen Erfahrungen über in Deutschland vorkommende **Tongesteinsformationen** oder **Kristallingesteine** (z.B. Granit, Gneis) u.a. auch wegen der mäßigen Bergbauerfahrung gering (im Fall von Kristallingesteinen gibt es zumindest Beispiele aus dem Erzbergbau). Hier bestehen daher seit vielen Jahren enge Forschungsk Kooperationen z.B. seitens der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) beispielsweise mit der Schweiz, Frankreich und Schweden, die ihre Endlager voraussichtlich in Tonstein oder Kristallingestein errichten werden.

### 3 Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung von Teilgebieten

<i>Eigenschaft</i>	<i>Steinsalz</i>	<i>Ton/Tonstein</i>	<i>Kristallingestein (z. B. Granit)</i>
Temperaturleitfähigkeit	hoch	gering	mittel
Durchlässigkeit	praktisch undurchlässig	sehr gering bis gering	sehr gering (ungeklüftet) bis durchlässig (geklüftet)
Festigkeit	mittel	gering bis mittel	hoch
Verformungsverhalten	viskos (Kriechen)	plastisch bis spröde	spröde
Hohlraumstabilität	Eigenstabilität	Ausbau notwendig	hoch (ungeklüftet) bis gering (stark geklüftet)
In-situ Spannungen	lithostatisch isotrop	anisotrop	anisotrop
Lösungsverhalten	hoch	sehr gering	sehr gering
Sorptionsverhalten	sehr gering	sehr hoch	mittel bis hoch
Temperaturbelastbarkeit	hoch	gering	hoch

günstige Eigenschaft
  ungünstige Eigenschaft
  mittel

Abbildung 1: Endlagerrelevante Eigenschaften potenzieller Wirtsgesteine (BGR 2007)

### 3.3 Erläuterung der Ausschlusskriterien

#### 3.3.1 Großräumige Vertikalbewegungen:

Großräumige Vertikalbewegungen, also Hebungen von Gebieten oder Regionen, spielen in Hinblick auf lange Zeiträume eine Rolle, da die Oberfläche und die gehobenen Gesteinsschichten stetiger Abtragung unterliegen und die Erosion in ehemals tiefer liegenden Schichten fortschreitet. Das StandAG setzt ab einer Hebungsrate von im Mittel 1 mm pro Jahr die Grenze für dieses Kriterium. Ein heute in 1.000 m Tiefe errichtetes Endlager wäre nach Ablauf von 1 Million Jahren bei dieser Abtragsrate nahe der Oberfläche.

### 3 Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung von Teilgebieten

Im Dokument „Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG“ (BGE 2020e) führt die BGE aus: *„Die Studie „Prognosemöglichkeiten von großräumigen Vertikalbewegungen für Deutschland“ (Jähne-Klingberg et al. 2019) gibt den aktuellen Stand der Wissenschaft in Bezug auf die Prognose von großräumigen Vertikalbewegungen in Deutschland innerhalb der nächsten eine Million Jahre wieder und bildet die Grundlage für die Anwendung des Ausschlusskriteriums. Die BGE schließt sich der Einschätzung von Jähne-Klingberg et al. (2019) an und kommt zu dem Ergebnis, dass auf Basis des aktuellen Prozessverständnisses in Deutschland innerhalb des Nachweiszeitraums von einer Million Jahren wahrscheinlich keine Hebungsbeiträge von 1000 m erreicht werden. Es werden daher auf Basis des Ausschlusskriteriums „großräumige Vertikalbewegungen“ keine Gebiete ausgeschlossen.“*

Für das LBEG erscheinen diese Ausführungen der BGE laut seiner Stellungnahme zum Zwischenbericht Teilgebiete (LBEG 2021) „nach der ersten Sichtung nachvollziehbar“.

Die BGR bemerkt in ihrer Stellungnahme zum Zwischenbericht Teilgebiete (BGR 2021a) bezogen auf Jähne-Klingberg et al. (2019), dass eine „direkte Diskussion zur Anwendung des Ausschlusskriteriums auf Deutschland nicht erfolgt“.

Damit wird weder vom LBEG noch von der BGR im Grundsatz gegen die Entscheidung der BGE argumentiert, keine Gebiete in Deutschland im Sinne dieses Kriteriums auszuschließen.

#### 3.3.2 Aktive Störungszonen:

In der Geologie versteht man unter einer Störung (auch Verwerfung genannt) einen horizontalen oder vertikalen Versatz zwischen Gesteinsverbänden. Der Versatzbetrag kann wenige Zentimeter bis mehrere Hunderte Meter betragen. Eine Störung ist zu verstehen als eine Reaktion des Gesteinskörpers auf Spannungen in der Erdkruste. Sind mehrere zueinander in Beziehung stehende Störungen vorhanden, spricht man meist von einer Störungszone, die eine Erstreckung bis zu mehreren Kilometern aufweisen kann und damit regional bedeutsam ist. Das Ausschlusskriterium „aktive Störungszone“ setzt einen Mindestbetrag an Bewegung entlang einer Störungszone voraus. Für die Sicherheit der Endlagerung sind sie bedeutsam, da entlang einer Störung Wegsamkeiten beispielweise für Wasser ins Endlager oder für Radionuklide (radioaktive Teilchen) aus dem Endlager in Richtung Oberfläche bestehen könnten.

An einer Störung kann über lange geologische Zeiträume hinweg keine Bewegung mehr stattgefunden haben und es sich somit um eine "inaktive Störung" handeln. Insbesondere in den letzten 34 Millionen Jahre haben sich in Mitteleuropa heute noch aktive und großräumige Störungszonen ausgebildet. Von Störungen oder Störungszonen, die nachweislich in den letzten 34 Millionen entstanden sind, kann vermutet werden, dass sie auch in Zukunft noch aktiv sein werden.

Die BGE hat geologische Daten mit Hinweisen auf aktive Störungszonen ausgewertet. Im Ausschlusskriterium aktive Störungszonen wird zwischen **tektonischen** Störungszonen und **atektonischen** Vorgängen differenziert. Die Begriffe tektonische Störungszonen und atektonische Vorgänge werden ausführlich in den entsprechenden Kapiteln 4.2.2.1 der Teilgebiete (4.2.2.1, 4.3.2.1 und 4.4.2.1) beziehungsweise auf die dort auftretenden Besonderheiten erläutert.

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

Gebiete und Regionen, in denen gegenwärtig oder früher Bergbau betrieben wurde oder wird, werden aus der Standortsuche ausgenommen. Nach § 22 StandAG können bergbauliche Tätigkeiten negative Einflüsse auf den Spannungszustand und die Permeabilität des Gebirges haben. Auch dürfen vorhandene alte Bohrungen die Funktion der Barrieren eines Endlagers, die den sicheren Einschluss gewährleisten, nicht beeinträchtigen. Die BGE hat um jeden Bohrpfad und Bohrendpunkt einen Sicherheitsabstand mit einem Radius von 25 m angelegt, um mögliche Lageungenauigkeiten der Bohrungen zu berücksichtigen sowie auch potentielle Schädigungen des angrenzenden Gesteins zu erfassen.

### **3 Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung von Teilgebieten**

Weiterhin werden Gebiete ausgeschlossen, welche von bergbaulichen Aktivitäten zur Gewinnung von festen Rohstoffen im Tagebau, Tiefbau (in Bergwerken) und mittels Kavernensolung betroffen sind.

#### **3.3.4 Seismische Aktivität**

Ein Gebiet ist per Definition nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn das örtliche seismische Potential größer ist als in Erdbebenzone 1 nach der DIN EN 1998-1/NA:2011-01. Die BGE hat hierfür die auszuschließenden Gebiete, also jene für die dieses Kriterium zutrifft, direkt aus der „Karte der Erdbebenzonen“ übernommen (DIN-EN 1998-1/NA:2011-01). Demnach existieren in Deutschland fünf Regionen, in denen eine entsprechende seismischen Aktivität möglich ist und die somit ausgeschlossen wurden. Diese Regionen liegen alle außerhalb der Landkreise Friesland und Wittmund.

#### **3.3.5 Vulkanische Aktivität**

Ein Gebiet ist per Definition nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn geologisch junger (quartärer) Vulkanismus vorliegt oder zukünftig vulkanische Aktivität über einen Nachweiszeitraum von einer Million Jahre zu erwarten ist. Basierend auf einer Literaturrecherche nennt die BGE verschiedene Regionen Deutschlands, in denen vulkanische Aktivität aus der jüngeren Erdgeschichte nachgewiesen wurde. Die Gebiete der Landkreise Friesland und Wittmund sind demnach Regionen, in denen kein Vulkanismus vorkommt. Auch eine Prognose mit Blick auf zukünftig zu erwartender vulkanischer Aktivität innerhalb des Nachweiszeitraums von einer Million Jahre kann seitens der BGE mit Hilfe der Studie von May (2019) abgeschätzt werden.

#### **3.3.6 Grundwasseralter**

Das Kriterium Grundwasseralter beinhaltet, dass keine Grundwässer im Bereich des Endlagers existieren, die am bestehenden hydrogeologischen Kreislauf teilnehmen. Damit soll verhindert werden, dass Grundwasserbewegungen und damit einhergehend eine mögliche Ausbreitung von Radionukliden entstehen. Das Kriterium wurde in dieser Phase des Verfahrens nur punktuell angewendet in Bereichen, die über das Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“ bereits ausgeschlossen wurden (LBEG 2021). Im Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020a) heißt es hierzu: *„Das Ausschlusskriterium Grundwasseralter bezieht sich gemäß § 22 Abs. 2 Nr. 6 StandAG direkt auf den ewG [einschlusswirksamer Gebirgsbereich] oder Einlagerungsbereich. Da zu deren räumlicher Ausdehnung zum Zeitpunkt der Anwendung des Ausschlusskriteriums noch keine Informationen vorlagen, ist ein großräumiger Ausschluss von Gebieten auf Basis des Ausschlusskriteriums nicht zielführend.“*

### **3.4 Erläuterung der Mindestanforderungen**

#### **3.4.1 Gebirgsdurchlässigkeit**

Die Gebirgsdurchlässigkeit bezieht sich sowohl auf die Durchlässigkeit von Gesteinen gegenüber Flüssigkeiten als auch gegenüber Gasen. Beim Entweichen von beispielsweise im Endlagerbereich gebildeten Gasen oder bei Zutritt von Grundwasser in ein Endlager können sich Wegsamkeiten für Radionuklide ergeben. Als Messgröße für die Durchlässigkeit eines Gesteins gegenüber Gasen oder Flüssigkeiten wird der Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert) bestimmt. Laut § 23 StandAG muss der kf-Wert im einschlusswirksamen Gebirgsbereich weniger als  $10^{-10}$  m/s betragen. Die BGE nimmt in der gegenwärtigen Phase des Standortauswahlverfahrens an, dass aufgrund bekannter Eigenschaften Steinsalz in steiler Lagerung als auch Tongestein eine ausreichend geringe Gebirgsdurchlässigkeit besitzen.

### 3 Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung von Teilgebieten

#### 3.4.2 Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Die Mindestanforderung gilt im jetzigen Verfahrensschritt als erfüllt, wenn die Wirtsgesteinsformation eine Mächtigkeit (Schichtdicke) von mindestens 100 m aufweist.

#### 3.4.3 Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Die Mindestanforderung gilt erfüllt, wenn die Oberfläche eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mindestens 300 Meter unter der Geländeoberfläche liegt. Weiterhin muss bei Steinsalz in steiler Lagerung zusätzlich über dem einschlusswirksamen Gebirgsbereichs eine Salzschutzschicht ("Salzschwebe") von mindestens 300 m Dicke eingehalten werden.

#### 3.4.4 Fläche des Endlagers

Die von der BGE festgelegte Größe von 3 km<sup>2</sup> für ein Endlager im Wirtsgestein Steinsalz und eine Größe von 10 km<sup>2</sup> im Wirtsgestein Tongestein ist angelehnt an die Begründung zum Gesetzentwurf BT-Drs. 18/11398 (2017). Das StandAG benennt keine konkrete Größe für die Flächenmaße eines Endlagerbergwerks.

#### 3.4.5 Erhalt der Barrierewirkung

Zum Erhalt der Barrierewirkung heißt es in § 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG: „*Es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, insbesondere die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs über einen Zeitraum von einer Million Jahren zweifelhaft erscheinen lassen.*“

Der Erhalt der Barrierewirkung beschreibt demnach den einschlusswirksamen Gebirgsbereich als geologische Barriere mit einem dauerhaften Schutz und absolutem Schadstoffrückhaltepotenzial. So fern Informationen vorliegen, welche den dauerhaften Erhalt der Barriere nicht ermöglichen, wird ein Gebiet entsprechend ausgeschlossen.

### 3.5 Erläuterung der Geowissenschaftliche Abwägungskriterien

Mit Hilfe der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ist es möglich, ein nach Anwendung der Ausschlusskriterien (§ 22 StandAG) und Mindestanforderungen (§ 23 StandAG) eingegrenztes Gebiet umfassend auf seine Eignung für die Anlage eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle zu bewerten. Im StandAG werden insgesamt elf geowissenschaftliche Abwägungskriterien benannt. Die Kriterien werden einzeln in den jeweiligen Teilgebieten betrachtet, inhaltlich erläutert und beziehen sich auf

- den Transport radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich
- die Konfiguration i.w.S. (räumliche Anordnung) der Gesteinskörper,
- die räumliche Charakterisierbarkeit,
- die langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse,
- die günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften,
- die Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten,
- die Gasbildung,
- die Temperaturverträglichkeit,

### 3 Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung von Teilgebieten

- das Rückhaltevermögen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich,
- die hydrochemischen Verhältnisse und
- den Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge.

Die meisten der Kriterien sind weiter unterteilt in „Bewertungsrelevante Eigenschaften“, „Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums“ und eine zugehörige Wertungsgruppe. Die elf Kriterien werden durch insgesamt 40 Indikatoren (zwischen 1 und maximal 6 Indikator(en) je Kriterium) beschrieben, welche in die Wertungsgruppen „günstig“, „bedingt günstig“, „weniger günstig“ oder „ungünstig“ eingeteilt sind. Die elf geowissenschaftlichen Kriterien sind in den Anlagen 1 bis 11 des StandAG detailliert beschrieben. Die Beschreibung eines der in den Anlagen des StandAG aufgeführten Kriteriums mit vier Indikatoren ist beispielhaft in Abbildung 2 wiedergegeben.

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	ungünstig
Ermittelbarkeit der Gesteinstypen und ihrer charakteristischen Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Variationsbreite der Eigenschaft der Gesteinstypen im Endlagerbereich	gering	deutlich, aber bekannt beziehungsweise zuverlässig erhebbar	erheblich und/oder nicht zuverlässig erhebbar
	Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften	gleichmäßig	kontinuierliche, bekannte räumliche Veränderungen	diskontinuierliche, nicht ausreichend genau vorhersagbare räumliche Veränderungen
	Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit	weitgehend ungestört (Störungen im Abstand > 3 km vom Rand des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs), flache Lagerung	wenig gestört (weitständige Störungen, Abstand 100 m bis 3 km vom Rand des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs), Flexuren	gestört (engständig zerblockt, Abstand < 100 m), gefaltet
Übertragbarkeit der Eigenschaften im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)	Fazies regional einheitlich	Fazies nach bekanntem Muster wechselnd	Fazies nach nicht bekanntem Muster wechselnd

**Abbildung 2: Tabelle zum Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit aus Anlage 3 StandAG (StandAG 2017)**

Für die Anwendung der elf geowissenschaftlichen Abwägungskriterien standen der BGE zum einen gebietspezifische Daten zur Verfügung, mit denen eine individuelle Bewertung möglich war, zum anderen mussten Annahmen getroffen werden, die auf wirtsgesteinsspezifischen Referenzdatensätzen beruhen.

In den späteren Phasen des Standortauswahlverfahrens wird im Zuge von über- und untertägigen Erkundungen in den festgelegten Standortregionen ein deutlich erweiterter Datensatz gebietspezifischer Daten zur Verfügung stehen.

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

#### 4.1 Überblick zu den Teilgebieten

Im Gebiet der Landkreise Friesland und Wittmund wurden insgesamt fünf Teilgebiete ausgewiesen. Bei drei Teilgebieten handelt es sich um die Salzstöcke Arngast, Berdum-Jever und Wangerooge. Diese räumlich abgegrenzten Salzstrukturen enthalten als Wirtsgestein Steinsalz, das stratigraphisch dem Oberrotliegend-Zechstein bzw. Zechstein angehört. Die anderen zwei Teilgebiete bilden großflächig verbreitete Tongesteine des Unteren Jura und des Alttertiärs. Da die tertiären Tongesteine stratigraphisch jünger sind als die Formationen der anderen Teilgebiete, überlagern diese alle anderen Teilgebiete (Abbildung 3).

Die Teilgebiete werden in den folgenden Kapiteln dargestellt, die zu ihrer Ausweisung angewendeten Kriterien und Anforderungen nach StandAG erläutert und in Bezug auf Plausibilität geprüft. Die Bewertung der Teilgebiete schließt jeweils mit einem Fazit zur Plausibilitätsprüfung ab.

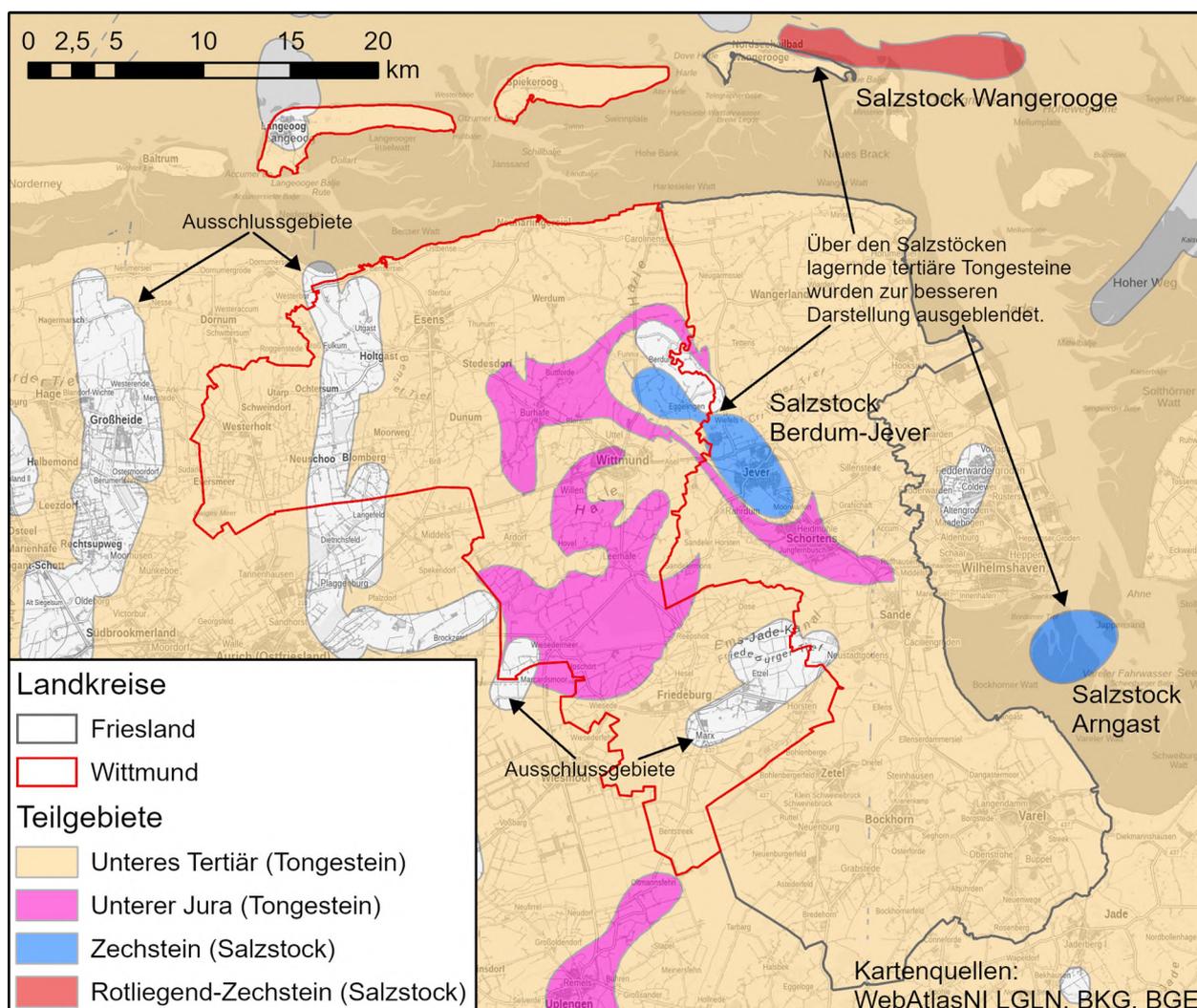
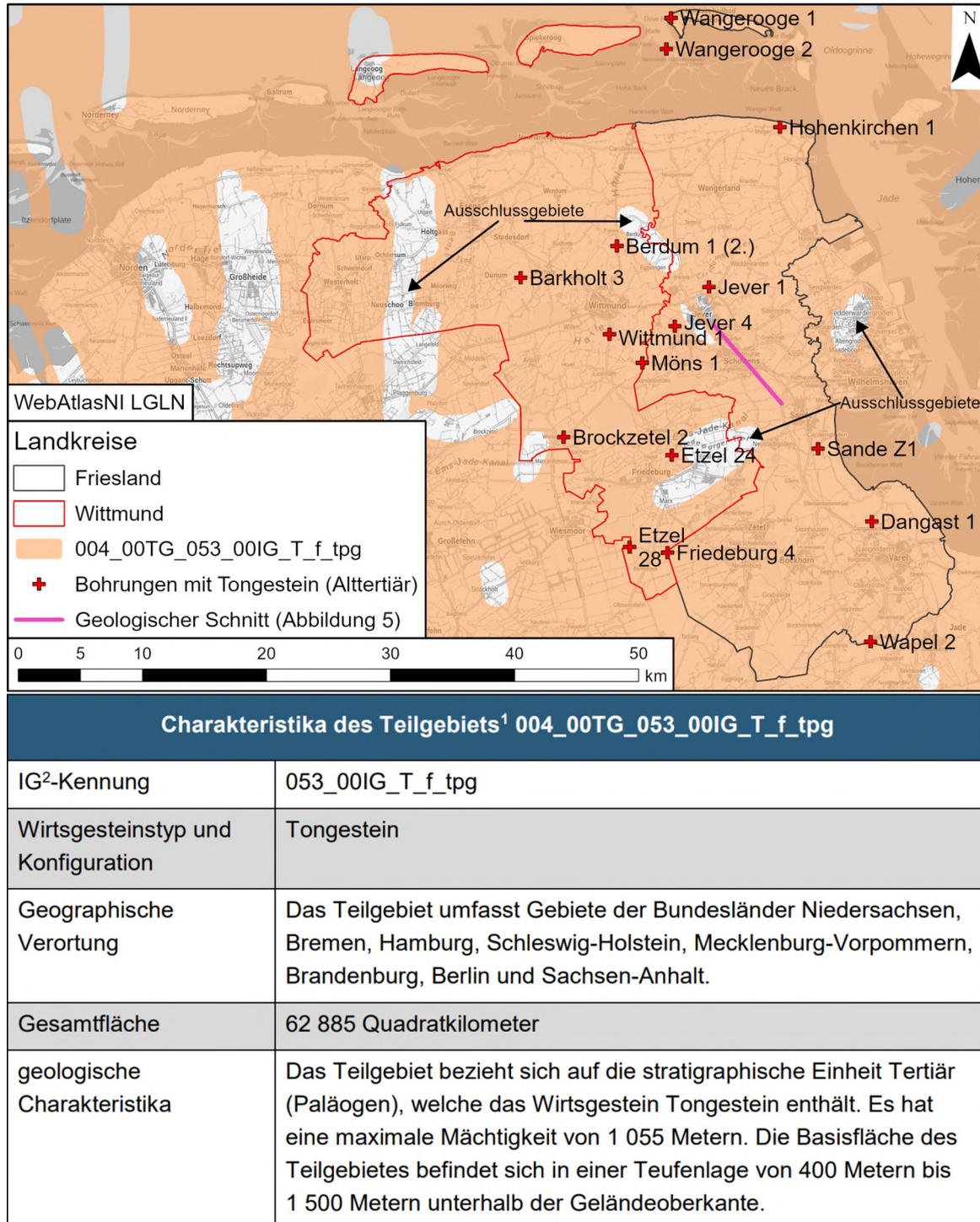


Abbildung 3: Übersicht Teilgebiete in den Landkreisen Friesland und Wittmund

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

### 4.2 Teilgebiet 004\_00TG\_053\_00IG\_T\_f\_tpg (Tertiäres Tongestein)

#### 4.2.1 Darstellung des Teilgebiets



**Abbildung 4: Übersichtskarte und Kurzbeschreibung des Teilgebiets 004\_00TG\_053\_00IG\_T\_f\_tpg (BGE 2020a (Tabelle) und BGE 2020b (Grundlage für Karte))**

#### **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

Das von der BGE ausgewiesene Teilgebiet 004\_00TG\_053\_00IG\_T\_f\_tpg ist annähernd 63.000 km<sup>2</sup> groß und erstreckt sich über die Fläche von acht Bundesländern. Die Landkreise Friesland und Wittmund werden bis auf einige Bereiche flächendeckend vom Teilgebiet eingenommen. Die Lücken im Teilgebiet befinden sich im Grenzbereich der beiden Landkreise sowie im Westen des Landkreises Wittmund und stellen abgeschlossene Gebiete dar wie z.B. aktive Störungszonen. In Abbildung 4 ist die Verbreitung des Teilgebiets und der Ausschlussgebiete im Bereich der beiden Landkreise dargestellt.

Das Teilgebiet enthält das Wirtsgestein Tongestein und umfasst die stratigraphischen Stufen des Thanetium aus dem oberen Paläozän und des Ypresium aus dem unteren Eozän. Beide Stufen gehören dem Alttertiär an. In den Ablagerungen des Alttertiärs dominieren Tonsteine, die je nach Tiefenlage teilweise verfestigt bis fest sind und bereichsweise auch sandige Partien führen können.

Das Teilgebiet wurde von der BGE im Wesentlichen auf Basis der Auswertungen des geologischen 3D-Modells GTA3D (Baldschuh, Binot, Fleig, & Kockel, 2001) im Abgleich mit Bohrungsdaten erstellt. Die Nachteile des geologischen Untergrundmodells sind teils vorhandene Ungenauigkeiten und die fehlende Information zu dem lithologischen Aufbau der dargestellten stratigraphischen Einheiten. Bei der Arbeit mit dem Modell ergibt sich daher oft die Situation, dass die Mächtigkeit und Ausdehnung der endlagergeeigneten Gesteinsschichten überschätzt wird. Andererseits bietet das Modell für fast ganz Niedersachsen ein annähernd getreues Bild zum Aufbau des Untergrunds bis in mehrere Tausend Meter Tiefe. Ergänzend zu den Auswertungen des geologischen 3D-Modells hat die BGE Bohrakten und Schichtenverzeichnisse stichprobenhaft auf die Verbreitung der lithologischen Abfolgen des Ypresium und/oder Thanetium geprüft.

Die Tiefenlage und Mächtigkeit des Teilgebiets im Bereich der Landkreise Friesland und Wittmund wurden anhand der Basis- und Topflächen des Oberpaläozäns bis Untereozäns aus dem GTA3D ermittelt. Zwischen etwa 300 m und 500 m befindet sich das Teilgebiet fast ausnahmslos oberhalb der Salzstöcke Berdum-Jever und Etzel oder im nahen Umfeld dieser Salzstrukturen. Die größte Verbreitung des Teilgebiets im Bereich der beiden Landkreise findet sich in einem Tiefenbereich zwischen etwa 500 m und 900 m. In Tiefen ab ca. 900 m bis 1.050 m ist das Teilgebiet vornehmlich im Süden der beiden Landkreise ausgewiesen. In größeren Tiefen bis maximal ca. 1.400 m ist das Teilgebiet fast nur noch im Bereich der Insel Wangerooge präsent.

Die das Teilgebiet überlagernden Schichten gehören dem oberen Alttertiär, dem jüngerem Tertiär und dem Quartär an. Das Teilgebiet wird von den Schichten der Oberkreide unterlagert. Die Mächtigkeit des Teilgebiets liegt im Bereich der Landkreise Friesland und Wittmund meist zwischen ca. 230 m und 280 m. Mächtigkeiten unter 200 m können nicht nachgewiesen werden. Die höchsten Mächtigkeiten mit ca. 370 m bis 390 m werden im Norden und Süden des Landkreises Friesland erreicht.

Die Abbildung 5 zeigt einen ca. 8 km langen Nordwest-Südost orientierten Profilschnitt durch den Salzstock Berdum-Jever und den daran südlich anschließenden Bereich. Im Profilschnitt befindet sich das Teilgebiet (in den Schichtenfolgen des Alttertiärs) meist zwischen ca. 600 m und 900 m Tiefe, über dem Salzstock auch in Tiefen von weniger als 500 m auf. Der geologische Schnitt zeigt auch die Lage anderer Teilgebiete, die in den Kapiteln 4.3 und 4.4 erläutert werden.

Die Tongesteine in den Schichtenfolgen des Alttertiärs im Untergrund der Landkreise Friesland und Wittmund sind als ein Teilgebiet ausgewiesen worden, da keines der in § 22 StandAG genannten Ausschlusskriterien erfüllt ist, alle in § 23 StandAG genannten Mindestanforderungen zutreffen und nach Anwendung der in § 24 und den Anlagen 1 bis 11 im StandAG aufgeführten geowissenschaftlichen Abwägungskriterien eine günstige geologische Gesamtsituation für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen.

Die Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung des Teilgebiets 004\_00TG\_053\_00IG\_T\_f\_tpg wird im Folgenden auf Ihre Plausibilität überprüft.

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

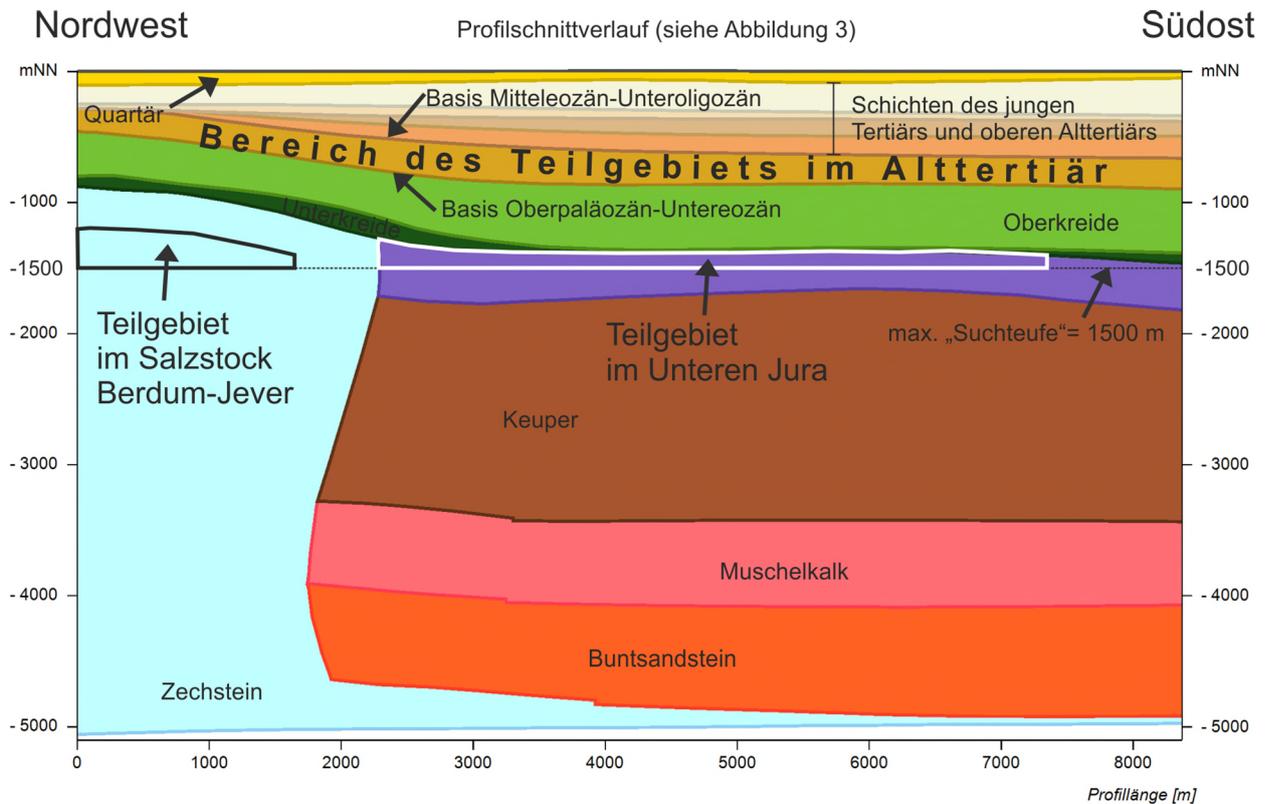


Abbildung 5: Geologischer Profilschnitt durch Teilgebiet 004\_00TG\_053\_00IG\_T\_f\_tpg (verändert nach NIBIS® Kartenserver (2021a))

#### 4.2.2 Ausschlusskriterien (nach § 22 StandAG)

Es werden diejenigen Kriterien aufgeführt und diskutiert, die für das Teilgebiet von Belang sind. Die Ausschlusskriterien großräumige Vertikalbewegungen, seismische sowie vulkanische Aktivität und Grundwasseralter gehören nicht dazu. Siehe hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 3.3.

##### 4.2.2.1 Aktive Störungszonen

###### Tektonische Störungen:

Die BGE hat die Gebiete innerhalb der Teilgebiete ausgeschlossen, in denen aktive tektonische Störungen anhand vorliegender geologischer Daten nachgewiesen werden konnten. Die ausgeschlossenen Gebiete mit aktiven tektonischen Störungen sind aus Abbildung 4 ersichtlich.

In Bezug auf die Vorgehensweise der BGE zur Anwendung des Ausschlusskriteriums „Aktive Störungszonen“ ist diese aus Sicht des LBEG für die erste Phase der Standortauswahl nachvollziehbar (LBEG 2021). Bezogen auf die Betrachtung von individuellen Störungen in Niedersachsen bemerkt das LBEG, dass „[davon auszugehen ist], dass Störungen unter der weiträumigen quartären Überdeckung Niedersachsens, die aus anderen Quellen als den von der BGE bisher verwendeten Unterlagen bekannt sind oder ermittelt werden können, nicht erfasst wurden.“ Die BGE erklärt hierauf bezugnehmend (BGE 2021a), dass es zunächst das Ziel war im Schritt 1 der Phase I der Standortauswahl eine bundesweit konsistente Karte aktiver Störungszonen zu generieren.

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

Weiterhin heißt es: „Im weiteren Verlauf des Standortauswahlverfahrens und mit Beginn der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen wird die BGE verstärkt gebietsspezifische Störungszonen im Untergrund untersuchen, vor allem in Hinblick auf ihre Aktivität und ihren Verlauf im Untergrund. So wird der Detaillierungsgrad im Laufe des Verfahrens schrittweise erhöht.“

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

In der Umgebung des Teilgebiets befinden sich weder ein Tagebau noch ein Bergwerk, die einen Einfluss auf die Eignung eines potentiellen Endlagerbereichs haben könnten. Das Kavernenfeld in Etzel wurde aus dem Teilgebiet von der BGE bereits ausgeschlossen. Anhand des NIBIS-Kartenservers lassen sich insgesamt über 160 Tiefbohrungen identifizieren, die die Schichtenfolgen des Alttertiärs erbohrt haben. Mehr als 120 dieser Bohrungen befinden sich über oder im Umfeld des Salzstocks Etzel. Von den verbleibenden wurden 16 Bohrungen ausgewählt, die sich über die beiden Landkreise verteilen und ein möglichst repräsentatives Bild über die Tiefenlage und Mächtigkeit des oberen Paläozäns wiedergeben. Die Lage der Bohrungen ist in Abbildung 4 veranschaulicht. In Tabelle 1 sind die Bohrungen aufgelistet.

**Tabelle 1: Tiefbohrungen im Umfeld des Teilgebiets 004\_00TG\_053\_00IG\_T\_f\_tpg (NIBIS® Kartenserver (2021b))**

Bohrungsname	Top Unteres Eozän [m u. GOK]	Top Paläozän [m u. GOK]	Basis Paläozän [m u. GOK]	Gesamtmächtigkeit [m]
<b>Barkholt 3</b>	643	888	932	289
<b>Berdum 1 (2.)</b>	437,75	684,7	693,7	255,95
<b>Brockzetel 2</b>	570	818	-	248
<b>Dangast 1</b>	532	-	813	281
<b>Etzel 24</b>	737	1.039	-	302
<b>Etzel 28</b>	727	998	-	271
<b>Friedeburg 4</b>	758	1046	-	278
<b>Hohenkirchen 1</b>	660	1051	-	391
<b>Jever 1</b>	330	570,4	-	240,4
<b>Jever 4</b>	648	940	-	292
<b>Möns 1</b>	584	814	824	240
<b>Sande Z1</b>	625	910	931	306
<b>Wangerooge 1</b>	1.050	1.378	-	328
<b>Wangerooge 2</b>	895	1.284	-	389
<b>Wapel 2</b>	562	906	932	370
<b>Wittmund 1</b>	545	803	-	258

#### **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

Die Schichtenfolgen oberhalb des Unteren Eozäns und unterhalb des Paläozäns sind nicht aufgeführt.

Die BGE hat um jeden Bohrfad und Bohrendpunkt einen Sicherheitsabstand im Radius von 25 m angelegt, um mögliche Lageungenauigkeiten der Bohrungen zu berücksichtigen sowie auch potentielle Schädigungen des angrenzenden Gesteins zu erfassen. Das LBEG (LBEG 2021) und die BGR (BGR 2021) können diese Methodik in ihren Stellungnahmen prinzipiell mittragen.

##### **4.2.3 Mindestanforderungen (nach § 23 StandAG)**

###### **4.2.3.1 Gebirgsdurchlässigkeit**

Als Grundlage für die Bewertung von Tongesteinen hinsichtlich der Gebirgsdurchlässigkeit hat die BGE die Studie von Hoth et al. (2007) herangezogen. In der Studie konnte ein genereller Zusammenhang zwischen Gesteinstypen (mit entsprechendem Tonanteil) und der Gebirgsdurchlässigkeit bestätigt werden. Bei der BGE heißt es hierzu (BGE 2020f): „Die Formation des *Thanetiums* und *Ypresiums* [Oberes Paläozän und Unteres Eozän] im Gebiet Niedersachsen besteht überwiegend aus Tonstein [...]. Daher kann angenommen werden, dass die Abfolge von Tonen [...] die Mindestanforderung Gebirgsdurchlässigkeit erfüllt.“ Das LBEG (LBEG 2021) ergänzt die Ausführungen der BGE mit dem Hinweis, dass aufgrund zahlreicher Versuche zur Ermittlung der Gebirgsdurchlässigkeit in Tongestein zum jetzigen Zeitpunkt davon ausgegangen werden kann, dass dieses Wirtsgestein eine Gebirgsdurchlässigkeit von kleiner  $10^{-10}$  m/s erreichen kann.

Es findet sich keine Information darüber, ob ortsspezifische Daten beispielsweise aus den in Kapitel 4.2.2.2 erwähnten Bohrungen hierzu existieren. Anhand von Datenbanken wie dem NIBIS-Kartenserver des LBEG (NIBIS® Kartenserver (2021a, b)) oder der Bohrpunktkarte der BGR (BGR 2021b) konnten über die Schichtenverzeichnisse hinaus keine weiteren Daten ermittelt werden.

###### **4.2.3.2 Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs**

Nach § 2 Abs. 1 Nr. 9 StandAG wird eine Mindestmächtigkeit von 100 m für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich gefordert. Aus Bohrungsdaten und auch vor allem aus der Literatur (BGE 2020f) ist abzulesen, dass die Schichtenfolgen des Unteren Eozäns und Oberen Paläozäns, auf die sich das Teilgebiet 004\_00TG\_053\_00IG\_T\_f\_tpg bezieht, überwiegend aus Tongestein aufgebaut sind. Zur Erfüllung der Mindestanforderung muss eine mindestens 100 m mächtige Gesteinsfolge aus Tongesteinen nachgewiesen werden.

Zur Ermittlung der Mindestmächtigkeit wurden von der BGE 3D-Daten verwendet, die die Abgrenzung und Raumlage von stratigraphischen Einheiten ausweisen, aber keine direkten Hinweise auf bestimmte Gesteinstypen liefern. Die meisten stratigraphischen Einheiten sind aus verschiedenen Gesteinstypen aufgebaut. So können im Oberen Paläozän und Unteren Eozän neben Tongestein, welches zweifelsfrei den größten Anteil einnimmt, auch andere Gesteinstypen auftreten. Aus den 3D-Daten abgeleitete Mächtigkeiten für einen bestimmten Gesteinstyp (für einen bestimmten Wirtsgesteinstyp) sind somit unter Umständen überschätzt.

Aufgrund der für die Landkreise Friesland und Wittmund mittels vorhandener Bohrungen flächendeckend ermittelten Mächtigkeiten von über 200 m für die Schichten des Oberen Paläozäns bis Unteren Eozäns (siehe Kapitel 4.2.1), ist nach derzeitigem Kenntnisstand die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Mindestanforderung von 100 m Tongestein für das Teilgebiet erfüllt wird. Dies ist aber in einem nachfolgenden Verfahrensschritt zu prüfen.

###### **4.2.3.3 Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs**

Nach § 23 StandAG muss die Oberfläche eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mindestens 300 m unter der Geländeoberfläche liegen. Das Teilgebiet 004\_00TG\_053\_00IG\_T\_f\_tpg in den Landkreisen

#### **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

Friesland und Wittmund liegt innerhalb der Schichtenfolgen des Oberen Paläozäns und Unteren Eozäns in Tiefen von meist zwischen ca. 500 m und maximal 1.400 m. Nur einige Bereiche über den Salzstöcken weisen das Teilgebiet schon in ca. 300 m Tiefe unter der Geländeoberkante auf. Die Bedingung ist somit für weite Teile der Kreisgebiete erfüllt.

##### **4.2.3.4 Fläche des Endlagers**

Im § 23 Abs. 5 Nr. 4 StandAG steht hierzu: „*ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich muss über eine Ausdehnung in der Fläche verfügen, die eine Realisierung des Endlagers ermöglicht [...]*“. Das StandAG benennt keine konkrete Größe für die Fläche eines Endlagers. Die von der BGE festgelegte Flächengröße von 10 km<sup>2</sup> für ein Endlager im Wirtsgestein Tongestein ist angelehnt an die Begründung zum Gesetzentwurf BT-Drs. 18/11398 (2017).

Das Teilgebiet 004\_00TG\_053\_00IG\_T\_f\_tpg ist in den Landkreisen Friesland und Wittmund bis auf wenige Bereiche flächendeckend vorkommend. Die Bedingung kann damit als erfüllt angesehen werden.

##### **4.2.3.5 Erhalt der Barrierewirkung**

Zum Erhalt der Barrierewirkung heißt es in § 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG: „*es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, insbesondere die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs über einen Zeitraum von einer Million Jahren zweifelhaft erscheinen lassen.*“

Da die bisherigen Erkenntnisse und Daten zum Teilgebiet den Erhalt der Barrierewirkung nicht anzweifeln lassen, kann diese Mindestanforderung somit als erfüllt angesehen werden.

#### **4.2.4 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (nach § 24 StandAG)**

Die BGE hat eine individuelle Bewertung für die Kriterien 2 (Konfiguration der Gesteinskörper), 3 (räumliche Charakterisierbarkeit), 4 (langfristige Stabilität) und 11 (Deckgebirge) anhand der vorliegenden gebietsspezifischen Daten vorgenommen. Für die anderen sieben Kriterien (1, 5 bis 10) mussten die wirtsgesteinsspezifischen Referenzdatensätze (Referenzdatensatz Tongestein (BGE 2020b)) herangezogen werden.

Die Plausibilitätsprüfung der Vorgehensweise der BGE bei der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ist unter Berücksichtigung der Stellungnahme des LBEG (LBEG 2021) und der Anmerkungen der BGR (BGR 2021) erfolgt. Weiterhin sind auch die fachlichen Einordnungen der BGE zur Stellungnahme des LBEG (BGE 2021a) und zu den Anmerkungen der BGR (BGE 2021b) in die Betrachtung mit eingeflossen. Das Resultat der Bewertung für das Teilgebiet 004\_00TG\_053\_00IG\_T\_f\_tpg ist in Abbildung 6 zusammengefasst. Diese basiert auf der Darstellung der Bewertungsergebnisse im Zwischenbericht Teilgebiete.

Das LBEG kritisiert in seiner Stellungnahme eine teilweise fehlende differenzierte Betrachtung bei der Anwendung bestimmter Berechnungsmodelle. In Bezug auf einige Indikatoren insbesondere in den Kriterien 5, 7 und 9 hätte das LBEG eine zur BGE abweichende Bewertung vorgenommen. Auf alle Wirtsgesteine bezogen bemängelt das LBEG eine teilweise unzureichende Datenbasis für bestimmte Parameter. Andererseits erkennt es an, dass für eine genauere Bewertung standortspezifische Daten erforderlich sind. Das LBEG geht im Allgemeinen davon aus, dass einige der günstigen Bewertungen anhand von gebietsspezifischen Daten korrigiert werden. In Hinsicht auf das Teilgebiet 004\_00TG\_053\_00IG\_T\_f\_tpg mit den tertiären Tongesteinen vermisst das LBEG einen eigenen Referenzdatensatz. Das LBEG ergänzt ihren Hinweis damit, dass zahlreiche Bohrungen die große Heterogenität bezüglich Bildung und Zusammensetzung der tertiären Abfolgen belegen. Die Schichtenfolgen des Alttertiärs weisen bei den Tongesteinen geringere

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

und bis in große Tiefen sehr uneinheitlich ausgebildete Verfestigungsgrade auf. Wichtige Eigenschaften (u. a. Paläotemperatur, Porosität, Permeabilität, Tonmineralbildung) unterscheiden sich bei den jüngeren Tongesteinen wesentlich von denen älterer Einheiten.

Bezugnehmend auf die Bewertungen der BGE zum Kriterium 11 „Schutz durch das Deckgebirge“ bemerkt die BGR (BGR 2021a): „Die Annahme, dass Gesteine des Tertiärs oder älter als grundwasserhemmend bzw. erosionshemmend betrachtet werden, ohne konkret die entsprechenden Gesteinstypen zu erfassen, ist insbesondere für die tertiären Tonformationen nicht zwingend zutreffend.“ Die BGE (BGE 2021b) reagiert auf die Bemerkung in ihrer Fachlichen Einordnung folgendermaßen: „Im Schritt 1 der Phase I des Standortauswahlverfahrens [...] wurde zunächst auf der Detailebene von stratigraphischen Einheiten gearbeitet und pauschale Annahmen zur Vereinfachung getroffen [...]. Petrographische und hydrogeologische Betrachtungen innerhalb der ausgewiesenen Teilgebiete werden im Schritt 2 Phase I zu einer differenzierteren Bewertung des Kriteriums 11 „Schutz durch das Deckgebirge“ [führen].“

		Indikator Bewertungen:	Ergebnis Plausibilitätsprüfung:
günstig	<b>Kriterium 1</b>		Methodik erscheint plausibel (Stellungnahme LBEG, Anmerkungen der BGR, Fachliche Einordnung der BGE sowie Referenzdatensatz berücksichtigt)
günstig	<b>Kriterium 2</b>		Methodik erscheint zum jetzigen Stand plausibel
günstig	<b>Kriterium 3</b>		Methodik erscheint zum jetzigen Stand plausibel (Anmerkungen der BGR berücksichtigt)
günstig	<b>Kriterium 4</b>		Methodik erscheint plausibel
nicht günstig	<b>Kriterium 5</b>		Methodik erscheint plausibel (Stellungnahme LBEG und Referenzdatensatz berücksichtigt)
günstig	<b>Kriterium 6</b>		Methodik erscheint plausibel (Anmerkungen der BGR und Referenzdatensatz berücksichtigt)
günstig	<b>Kriterium 7</b>		Methodik erscheint plausibel (Stellungnahme LBEG, Fachliche Einordnung der BGE und Referenzdatensatz berücksichtigt)
günstig	<b>Kriterium 8</b>		Methodik erscheint plausibel (Anmerkungen der BGR und Referenzdatensatz berücksichtigt)
günstig	<b>Kriterium 9</b>		Methodik erscheint plausibel (Stellungnahme des LBEG, Fachliche Einordnung der BGE sowie Referenzdatensatz berücksichtigt)
günstig	<b>Kriterium 10</b>		Methodik erscheint plausibel (Stellungnahme des LBEG, Anmerkungen der BGR sowie Referenzdatensatz berücksichtigt)
bedingt günstig	<b>Kriterium 11</b>		Methodik erscheint plausibel (Stellungnahme LBEG, Anmerkungen der BGR und Fachliche Einordnung BGE berücksichtigt)

■ **günstig**   
 ■ **bedingt günstig**   
 ■ **weniger günstig**   
 ■ **nicht günstig**   
 ■ **nicht anwendbar**

Abbildung 6: Plausibilitätsprüfung geowissenschaftliche Abwägungskriterien für Teilgebiete im Wirtsgestein Tongestein (verändert nach BGE 2020a)

## **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

### **4.2.5 Fazit der Plausibilitätsprüfung**

Dutzende Bohrungen im Bereich der Landkreise Friesland und Wittmund belegen das flächendeckende Vorkommen der Schichtenfolgen des Alttertiärs, auf die sich das Teilgebiet 004\_00TG\_053\_00IG\_T\_f\_tpg bezieht. Das Vorkommen von Tongesteinen innerhalb der alttertiären Folgen ist bekannt und kann stichprobenartig in einzelnen Bohrungen belegt werden. Die in der derzeitigen Phase der Standortauswahl erfolgte Bewertung des Teilgebiets beruht weitgehend auf Annahmen, die sich auf Modelldaten, Literaturangaben und Referenzdaten stützt. Für eine detailliertere Bewertung des Teilgebiets im Bereich der beiden Landkreise in Hinblick auf Eignung für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle reicht der Kenntnisstand nicht aus.

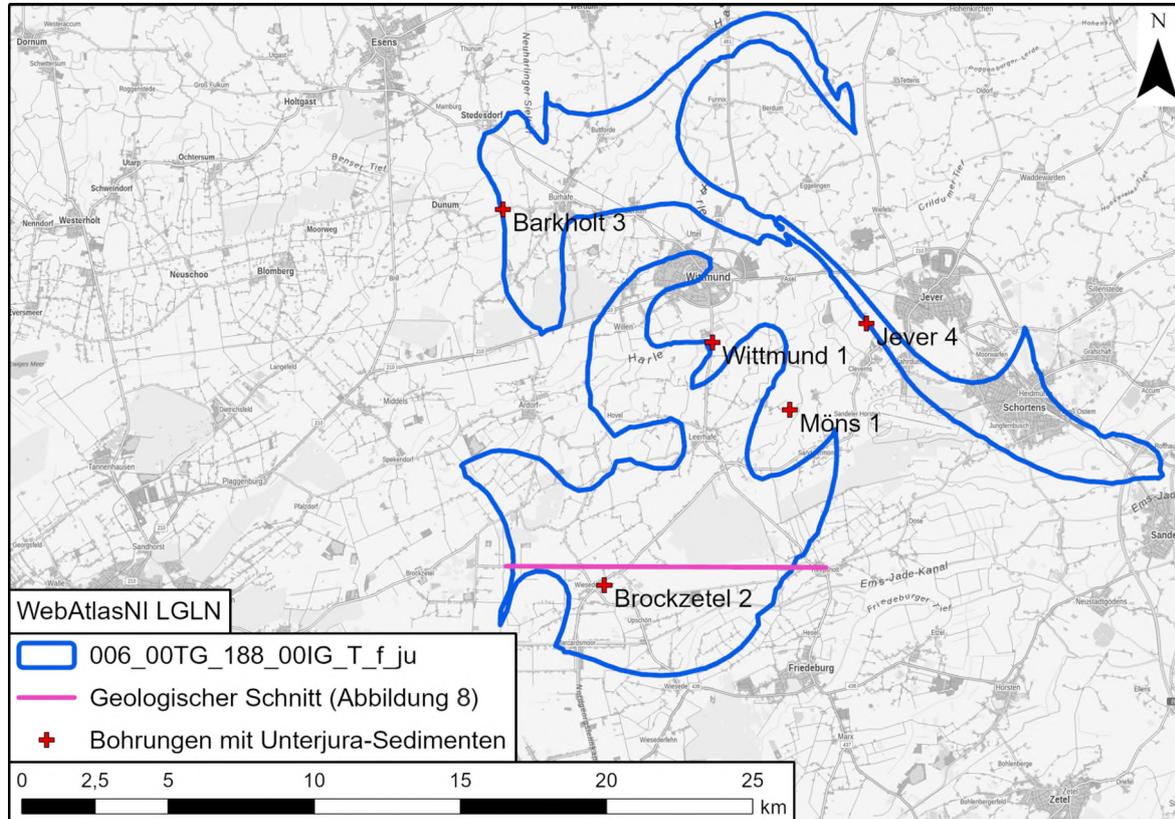
Die BGE folgte bei der Ausweisung des Teilgebiets dem Verfahrensgrundsatz, Gebiete mit einer ungenügenden Datenlage nicht schon im Vorfeld ausschließen, da erwartet wird, dass sich mit steigendem Kenntnisstand bei erneuter Anwendung der Bewertungskriterien in jeder Phase des Standortauswahlverfahrens die Zahl der ausgeschlossenen Gebiete im Laufe des Verfahrens vergrößern wird.

Dem von der BGE im „Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 2020a) ausgewiesenen Teilgebiet 004\_00TG\_053\_00IG\_T\_f\_tpg kann in der jetzigen Phase der Standortsuche eine „Nichteignung“ nicht attestiert werden. In den kommenden Phasen des Standortauswahlverfahrens werden zunehmend detailliertere Daten (vor allem ortsspezifische Daten) zur Verfügung stehen, wodurch das Teilgebiet unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien erneut einer Bewertung unterzogen werden könnte. Mit geologischen Daten oder geologischen Sachverhalten gestützte Argumente, die eine Eignung des Teilgebietes in der jetzigen Phase schon grundlegend ausschließen würden, sind nicht erkennbar.

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

### 4.3 Teilgebiet 006\_00TG\_188\_00IG\_T\_f\_ju (Jurassisches Tongestein)

#### 4.3.1 Darstellung des Teilgebiets



Charakteristika des Teilgebiets 006_00TG_188_00IG_T_f_ju	
IG-Kennung	188_00IG_T_f_ju
Wirtsgesteinstyp und Konfiguration	Tongestein
Geographische Verortung	Das Teilgebiet umfasst Gebiete der Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein, Brandenburg und Sachsen-Anhalt.
Gesamtfläche	18 564 km <sup>2</sup>
geologische Charakteristika	Das Teilgebiet bezieht sich auf die stratigraphische Einheit Unterjura, welche das Wirtsgestein Tongestein enthält. Es hat eine maximale Mächtigkeit von 1 200 Metern. Die Basisfläche des Teilgebietes befindet sich in einer Teufenlage von 400 Metern bis 1 500 Metern unterhalb der Geländeoberkante.

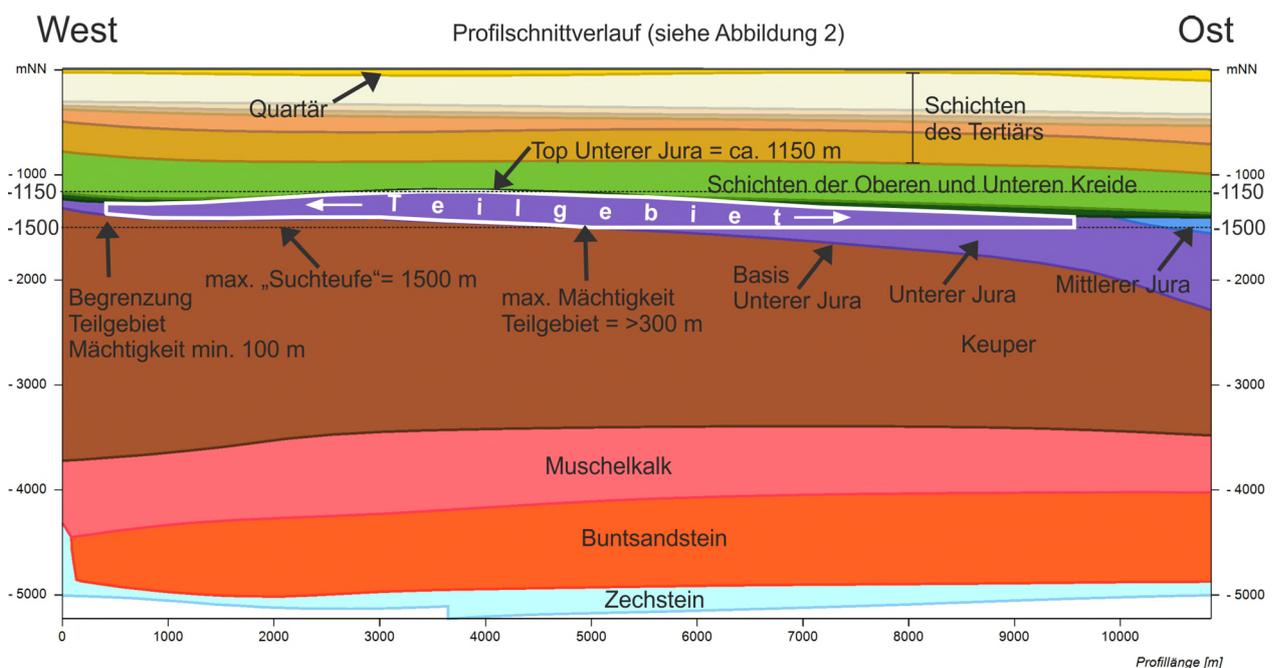
**Abbildung 7: Übersichtskarte und Kurzbeschreibung des Teilgebiets 006\_00TG\_188\_00IG\_T\_f\_ju (BGE 2020a (Tabelle) und BGE 2020b (Grundlage für Karte))**

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

Das von der BGE ausgewiesene Teilgebiet 006\_00TG\_188\_00IG\_T\_f\_ju ist mehr als 18.500 km<sup>2</sup> groß und erstreckt sich über die Fläche von sechs Bundesländern. Im Bereich der Landkreise Friesland und Wittmund gliedert sich dieses Teilgebiet in zwei separate Flächen. Eine dieser Teilgebietsflächen hat eine Größe von ca. 61 km<sup>2</sup> und liegt zwischen den Orten Stedesdorf und Schortens. Die andere Teilgebietsfläche hat eine Größe von etwa 89 km<sup>2</sup> und liegt zwischen den Orten Wittmund und Friedeburg (siehe Abbildung 7).

Im Bereich der Landkreise Friesland und Wittmund befindet sich das Teilgebiet in einer Tiefe zwischen etwa 1.150 m und 1.500 m unter GOK. Es wird begrenzt von der Basis- und Topfläche der stratigraphischen Einheit Unterer Jura (Lias). Der Untere Jura wird weiter in die international festgelegten Stufen Hettangium, Sinemurium, Pliensbachium und Toarcium gegliedert. Charakteristisch für die gesamte Serie des Unteren Juras in Nordwestdeutschland ist das vorherrschende Auftreten von Tongesteinen (Tonsteine und Tonmergelsteine).

Grundlage für die in Abbildung 7 dargestellte Fläche sind Auswertungen auf Basis des 3D-Modells des Geotektonischen Atlas (Baldschuhn et al. 2001). Dieses geologische Modell zeigt die Ausdehnung und Raumlage von insgesamt 14 stratigraphischen Einheiten in Form eines dreidimensionalen Abbilds des Untergrunds. In Abbildung 8 ist ein geologischer Profilschnitt durch das Teilgebiet etwa im Bereich der größten Mächtigkeit des unteren Jura dargestellt. Der Verlauf des Profilschnitts ist aus Abbildung 8 ersichtlich.



**Abbildung 8: Geologischer Profilschnitt durch Teilgebiet 006\_00TG\_188\_00IG\_T\_f\_ju (verändert nach NIBIS® Kartenserver (2021a))**

Das Teilgebiet befindet sich wie dargestellt innerhalb der Schichtenfolgen des Unteren Juras. Es wird zur Tiefe hin von der Basis des Unteren Juras oder von der „maximalen Suchteufe“ in 1.500 m unter GOK begrenzt. Unterhalb der Basis des Teilgebiets lagern somit noch Schichtenfolgen des Unteren Juras oder bereits stratigraphisch ältere. Die Oberfläche wird von der Topfläche des Unteren Juras gebildet. Über dem Teilgebiet lagern somit jüngere Schichtenfolgen bis zum Quartär.

#### **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

Sowohl die Top- als auch die Basisfläche des Unteren Juras sind nicht eben ausgebildet, wodurch auch die Tiefenlage beider Flächen in Bezug zur Erdoberfläche variiert. Die Mächtigkeit der Schichtenfolgen, also der Abstand zwischen der Top- und der Basisfläche des Unteren Juras schwankt ebenfalls. Dies bedingt Unterschiede der Mächtigkeit innerhalb des Teilgebiets. Im Bereich des Profilschnitts ist das Teilgebiet >300 m mächtig. Die Begrenzung des Teilgebiets entspricht einer Mindestmächtigkeit von 100 m.

Ein begrenzter Bereich im Untergrund der Landkreise Friesland und Wittmund, die sich auf die stratigraphische Einheit Unterer Jura bezieht und das Wirtsgestein Tongestein enthält, ist als Teilgebiet ausgewiesen, da keines der in § 22 StandAG genannten Ausschlusskriterien erfüllt ist, alle in § 23 StandAG genannten Mindestanforderungen zutreffen und nach Anwendung der in § 24 und den Anlagen 1 bis 11 im StandAG aufgeführten geowissenschaftlichen Abwägungskriterien eine günstige geologische Gesamtsituation für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen.

Die Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung des Teilgebiets 006\_00TG\_188\_00IG\_T\_f\_ju wird im Folgenden auf Ihre Plausibilität überprüft.

##### **4.3.2 Ausschlusskriterien (nach § 22 StandAG)**

Es werden diejenigen Kriterien aufgeführt und diskutiert, die für das Teilgebiet von Belang sind. Die Ausschlusskriterien großräumige Vertikalbewegungen, seismische sowie vulkanische Aktivität und Grundwasseralter gehören nicht dazu. Siehe hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 3.3.

###### **4.3.2.1 Aktive Störungszonen:**

###### **Tektonische Störungen:**

Die BGE hat diejenigen Gebiete innerhalb der Teilgebiete ausgeschlossen, in denen aktive tektonische Störungen anhand vorliegender geologischer Daten nachgewiesen werden konnten. Die ausgeschlossenen Gebiete mit aktiven tektonischen Störungen sind aus Abbildung 3 ersichtlich.

In Bezug auf die Vorgehensweise der BGE zur Anwendung des Ausschlusskriteriums „Aktive Störungszonen“ ist diese aus Sicht des LBEG für die erste Phase der Standortauswahl nachvollziehbar (LBEG 2021). Bezogen auf die Betrachtung von individuellen Störungen in Niedersachsen bemerkt das LBEG, dass „[davon auszugehen ist], dass Störungen unter der weiträumigen quartären Überdeckung Niedersachsens, die aus anderen Quellen als den von der BGE bisher verwendeten Unterlagen bekannt sind oder ermittelt werden können, nicht erfasst wurden.“ Die BGE erklärt hierzu bezugnehmend (BGE 2021a), dass es zunächst das Ziel war, im Schritt 1 der Phase I der Standortauswahl eine bundesweit konsistente Karte aktiver Störungszonen zu generieren. Weiterhin heißt es: „Im weiteren Verlauf des Standortauswahlverfahrens und mit Beginn der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen wird die BGE verstärkt gebietspezifische Störungszonen im Untergrund untersuchen, vor allem in Hinblick auf ihre Aktivität und ihren Verlauf im Untergrund. So wird der Detaillierungsgrad im Laufe des Verfahrens schrittweise erhöht.“

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

In der Umgebung des Teilgebiets befinden sich weder ein Tagebau noch ein Bergwerk, die einen Einfluss auf einen potentiellen Endlagerbereich haben könnten. Anhand des NIBIS-Kartenservers (NIBIS® Kartenserver (2021b)) ließen sich insgesamt fünf Tiefbohrungen ausfindig machen. Zwei der Bohrungen (Barkholt 3 und Brockzetel 2) durchörterten das Teilgebiet. Die anderen drei Bohrungen liegen an den Rändern bzw. außerhalb des Teilgebiets. Die Lage der Bohrungen ist in Abbildung 7 veranschaulicht. In Tabelle 2 sind die Bohrungen aufgelistet.

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

Tabelle 2: Tiefbohrungen im Umfeld des Teilgebiets 006\_00TG\_188\_00IG\_T\_f\_ju (NIBIS® Kartenserver (2021b))

Bohrungsname	Top [m u. GOK]	Unterer Jura	Basis [m u. GOK]	Unterer Jura	Mächtigkeit Jura [m]	Unterer Jura
<b>Barkholt 3</b>	1.359		1.413		54	
<b>Brockzetel 2</b>	1.208		1.404,5		196,5	
<b>Jever 4</b>	1.459		1.730		271	
<b>Möns 1</b>	1.218		1.287		69	
<b>Wittmund 1</b>	1.365		1.414		49	

Die Schichtenfolgen oberhalb und unterhalb des Unteren Juras sind nicht aufgeführt.

Die BGE hat um jeden Bohrfeld und Bohrendpunkt einen Sicherheitsabstand mit einem Radius von 25 m angelegt, um mögliche Lageungenauigkeiten der Bohrungen zu berücksichtigen sowie auch potentielle Schädigungen des angrenzenden Gesteins zu erfassen. Das LBEG (LBEG 2021) und die BGR (BGR 2021) können diese Methodik in ihren Stellungnahmen prinzipiell mittragen.

#### 4.3.3 Mindestanforderungen (nach § 23 StandAG)

##### 4.3.3.1 Gebirgsdurchlässigkeit

Wie die BGE in einer untersetzenden Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020f) erläutert, wurden zur Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit für Tongesteine des Unteren Juras in den Bundesländern Niedersachsen, Bremen und Hamburg Daten aus der Literatur und aus einigen Bohrungen herangezogen. Auf Grundlage dieser in Betracht gezogenen Daten erwartet daher die BGE, dass die Mindestanforderung Gebirgsdurchlässigkeit für Tongestein im Unteren Jura für die verbleibenden Gebiete erfüllt ist. Das LBEG kritisiert diese Herangehensweise in seiner Stellungnahme nicht. Es ergänzt die Ausführungen der BGE mit dem Hinweis, dass aufgrund zahlreicher Versuche zur Ermittlung der Gebirgsdurchlässigkeit in Tongestein zum jetzigen Zeitpunkt davon ausgegangen werden kann, dass dieses Wirtsgestein eine Gebirgsdurchlässigkeit von kleiner  $10^{-10}$  m/s erreichen kann (LBEG 2021).

Es findet sich keine Information darüber, ob ortsspezifische Daten beispielsweise aus den in Kapitel 4.3.2.2 erwähnten Bohrungen hierzu existieren. Anhand von Datenbanken wie dem NIBIS-Kartenserver des LBEG (LBEG 2021b) oder der Bohrpunktkarte der BGR konnten über die Schichtenverzeichnisse hinaus keine weiteren Daten ermittelt werden.

##### 4.3.3.2 Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Nach § 2 Abs. 1 Nr. 9 StandAG wird eine Mindestmächtigkeit von 100 m für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich gefordert. Zur Anwendung dieser Anforderung schreibt die BGE in einem ihrer Methodensteckbriefe (BGE 2020c): „Im Zuge der Phase I, die die Ausweisung der Teilgebiete einschließt, können weder ewG [einschlusswirksamer Gebirgsbereich] noch Einlagerungsbereich konkret räumlich beschrieben werden. Auf Grundlage einfacher generischer Annahmen zur Konfiguration von ewG und Wirtsgestein wird im Rahmen der Ausweisung der Teilgebiete davon ausgegangen, dass der ewG vom Wirtsgestein vollends aufgenommen werden kann und damit der ewG durch Gesteinstypen aufgebaut wird, die den nach StandAG zu betrachtenden Wirtsgesteinen entsprechen.“

#### **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

Daraus kann gefolgert werden, dass für das vorliegende Teilgebiet eine mindestens 100 m mächtige Gesteinsfolge aus Tongesteinen nachgewiesen werden muss, um die Anforderung zu erfüllen. Wie in Kapitel 4.3.1 beschrieben ist, hat die BGE das Teilgebiet anhand eines geologischen 3D-Modells ausgewiesen, welches die räumliche Lage von stratigraphischen Einheiten im Untergrund abbildet. Für die weitere Beurteilung der Ergebnisse hat die BGE Bohrdaten der BGR-Studie Hoth et al. (2007) hinsichtlich der Mächtigkeiten größer 100 m für die Ablagerungen im Unteren Jura geprüft. Es handelt sich dabei um Daten von insgesamt fünf Bohrungen, die in den ausgewiesenen Flächen in Niedersachsen über die gesamte Schichtenfolge des Unteren Juras Mächtigkeiten von mehr als 100 m zeigen und alle zwischen ca. 130 km und 215 km von den Teilgebieten in Friesland und Wittmund entfernt liegen. Weitere Bohrungen, die die BGE für die Betrachtung der Sedimentabfolge des Unteren Juras herangezogen hat, sind bis auf eine Ausnahme (Bohrung Etzel 24) allesamt über 140 km entfernt. Die BGE hat somit die Mindestanforderung „Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ anhand von 3D-Daten, Literatur- und Referenzbohrungen für das gesamte in Norddeutschland ausgewiesene Teilgebiet als erfüllt betrachtet.

Es finden sich keine Informationen darüber, ob die BGE die in Kapitel 4.3.2.2 erwähnten Bohrungen für die Ausweisung des Teilgebiets herangezogen hat. Zu den erwähnten Bohrungen sind über die Schichtenverzeichnisse hinaus keine weiteren Daten frei verfügbar. Anhand der vorhandenen Daten kann jedoch festgestellt werden, dass in der Bohrung Barkholt 3 die durchteuften Schichten des Unteren Juras eine Mächtigkeit von 54 m aufweisen, aber dennoch innerhalb des von der BGE ausgewiesenen Teilgebiets liegen. Dies verdeutlicht die Ungenauigkeiten, die ein 3D-Modell wie das GTA3D aufweisen kann.

Die Erfüllung der Mindestanforderung einer 100 m mächtigen Tongesteinsfolge kann wahrscheinlich nur anhand der Bohrungen Brockzetel 2 und Jever 4 (ca. 50 m westlich außerhalb des Teilgebiets) unter Vorbehalt der Kenntnis eines detaillierten Schichtenverzeichnisses bestätigt werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand haben neben den Bohrungen Barkholt 3 und Brockzetel 2 keine weiteren Tiefbohrungen die Schichten des Unteren Juras im Bereich der in den Landkreisen Friesland und Wittmund ausgewiesenen Flächen des Teilgebiets 006\_00TG\_188\_00IG\_T\_f\_ju durchörtert.

##### **4.3.3.3 Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs**

Nach § 23 StandAG muss die Oberfläche eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mindestens 300 m unter der Geländeoberfläche liegen. Das Teilgebiet in den Landkreisen Friesland und Wittmund liegt innerhalb der Schichtenfolgen des Unteren Juras in Tiefen zwischen ca. 1.150 m und 1.500 m. Damit ist diese Bedingung erfüllt.

##### **4.3.3.4 Fläche des Endlagers**

Im § 23 Abs. 5 Nr. 4 StandAG steht hierzu: „*ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich muss über eine Ausdehnung in der Fläche verfügen, die eine Realisierung des Endlagers ermöglicht [...]*“.

Das StandAG benennt keine konkrete Größe für die Fläche eines Endlagers. Die von der BGE festgelegte Flächengröße von 10 km<sup>2</sup> für ein Endlager im Wirtsgestein Tongestein ist angelehnt an die Begründung zum Gesetzentwurf BT-Drs. 18/11398 (2017).

Ein großer Bereich des zwischen den Ortschaften Stedesdorf und Schortens ausgewiesenen Teilgebiets befindet sich im Randbereich des Salzstocks Berdum-Jever. Das Teilgebiet ist hier stellenweise nur wenige hundert Meter breit. Nach Hoth et al. (2007) sind langgestreckte, schmale Flächen wegen des damit verbundenen unverhältnismäßigen hohen Erkundungsaufwands als nicht untersuchungswürdig bewertet worden. Dazu kommt noch, dass die Schichtenfolgen des Unteren Juras im Zuge des Aufstiegs der Salzstruktur an deren Flanken angeschleppt sein könnten. Nach Hoth et al. (2007) sind solche Gebiete wegen ihres komplizierten geologischen Baus, ihrer mangelnden Charakterisierbarkeit und damit verbundenen unverhältnismäßigen Erkundungsaufwand als ebenfalls nicht untersuchungswürdig eingestuft.

#### **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

Es erscheint daher eher wahrscheinlich, dass die Bedingung für die Fläche eines Endlagers vornehmlich in der Teilfläche des Teilgebiets südlich und ggf. nordwestlich von Wittmund gegeben ist.

##### **4.3.3.5 Erhalt der Barrierewirkung**

Zum Erhalt der Barrierewirkung heißt es in § 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG: „*es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, insbesondere die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs über einen Zeitraum von einer Million Jahren zweifelhaft erscheinen lassen.*“

Da die bisherigen Erkenntnisse und Daten zum Teilgebiet den Erhalt der Barrierewirkung nicht anzweifeln, kann diese Mindestanforderung somit als erfüllt angesehen werden.

##### **4.3.4 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (nach § 24 StandAG)**

Die BGE hat nach Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien eine identische Bewertung für die Teilgebiete im Unteren Jura und im Alttertiär vorgenommen. Die in den Beschreibungen zu den Teilgebieten gezeigten grafischen Darstellungen sind gleich und auch die Erklärungen im Wortlaut sind bis auf einige Flächen-, Tiefen- und Mächtigkeitsangaben identisch. Dementsprechend wird hier auf die Ausführungen in Kapitel 4.2.4 verwiesen.

##### **4.3.5 Fazit der Plausibilitätsprüfung**

Die Schichtenfolgen des Unteren Juras, auf das sich das Teilgebiet bezieht, wurde in einigen Tiefbohrungen innerhalb der Landkreise Friesland und Wittmund nachgewiesen. Aus der Literatur ist bekannt, dass die Schichtenfolgen des Lias überwiegend Ton- und Tonmergelsteine führen (Hoth et al. 2007, Müller & Reinhold 2011). Die frei zugänglichen Schichtenverzeichnisse der meisten Bohrungen enthalten nur wenige bis keine Angaben zum Gesteinstyp. Referenzbohrungen wie beispielsweise bei Hoth et al. (2007) angegeben, belegen jedoch das Vorkommen ausreichend mächtiger Tongesteinslagen im Unteren Jura. In wie weit Kenntnisse aus Bohrungen zur Wirtsgesteinseignung der Lias-Tongesteine aus den beiden Landkreisen vorliegen, kann nicht geprüft werden.

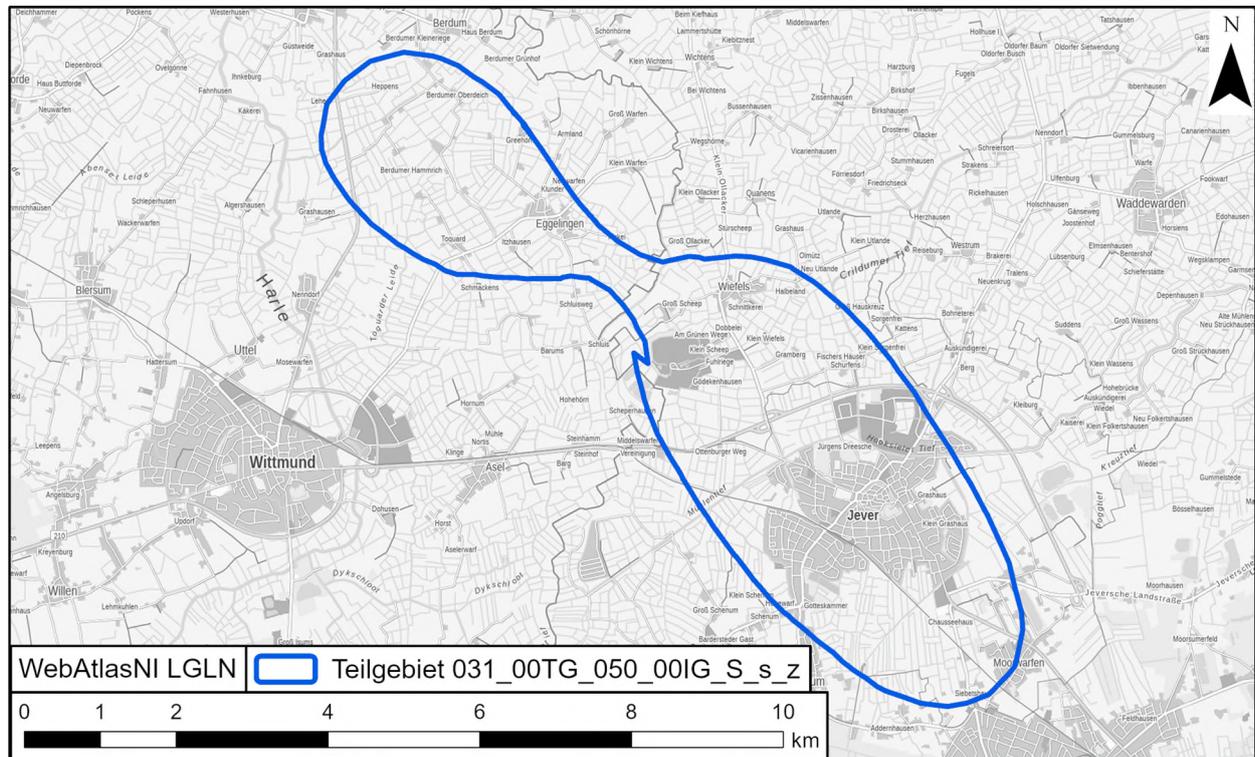
Die teils nur wenige Hunderte Meter breiten Bereiche des Teilgebiets, die sich insbesondere im Randbereich des Salzstocks Berdum-Jever befinden, sind vermutlich für die Anlage eines Endlagers nicht geeignet.

Dem von der BGE im „Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 2020a) ausgewiesenen Teilgebiet 006\_00TG\_188\_00IG\_T\_f\_ju kann in der jetzigen Phase der Standortsuche eine „Nichteignung“ nicht attestiert werden. In den kommenden Phasen des Standortauswahlverfahrens werden zunehmend detailliertere Daten (vor allem ortsspezifische Daten) zur Verfügung stehen, wodurch das Teilgebiet unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien erneut einer Bewertung unterzogen werden könnte. Mit geologischen Daten oder geologischen Sachverhalten gestützte Argumente, die eine Eignung des Teilgebietes in der jetzigen Phase schon grundlegend ausschließen würden, sehen wir nicht.

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

### 4.4 Teilgebiet 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z (Permische Steinsalz im Salzstock Berdum-Jever)

#### 4.4.1 Darstellung des Teilgebiets



#### Charakteristika des Teilgebiets<sup>1</sup> 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z

IG <sup>2</sup> -Kennung	050_00IG_S_s_z
Wirtsgesteinstyp und Konfiguration	Steinsalz in steiler Lagerung
Geographische Verortung	Das Teilgebiet befindet sich im Norden von Niedersachsen, ca. 13 km nordwestlich des Jadebusens.
Gesamtfläche	26 Quadratkilometer
geologische Charakteristika	Das Teilgebiet befindet sich im Zechstein der Salzstruktur Berdum-Jever und weist eine Mächtigkeit von 400 Metern auf. Das Teilgebiet befindet sich in einer Teufenlage von 1 120 Metern bis 1 500 Metern unterhalb der Geländeoberkante.

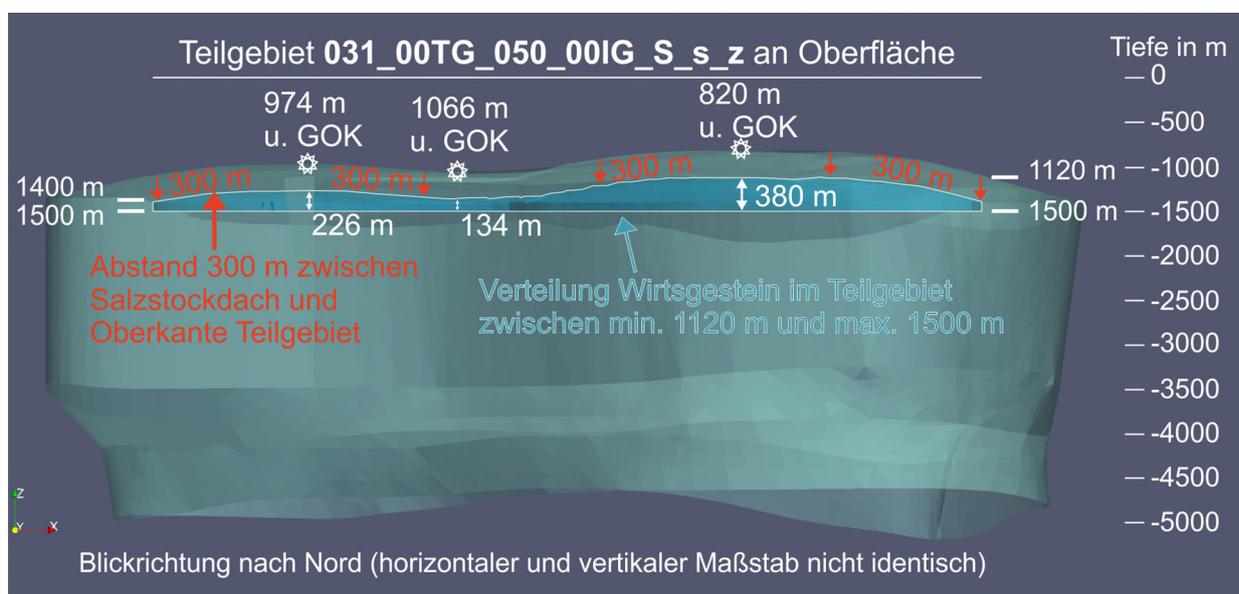
Abbildung 9: Übersichtskarte und Kurzbeschreibung des Teilgebiets 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z (BGE 2020a (Tabelle) und BGE 2020b (Grundlage für Karte))

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

Das Teilgebiet befindet sich in einer Tiefe zwischen 1.120 m und 1.500 m unter GOK. Es erstreckt sich auf einer Fläche von 26 km<sup>2</sup> nördlich der Stadt Schortens über die Stadt Jever bis zum Dorf Berdum und ist Teil des Salzstocks Berdum-Jever (Abbildung 9).

Der Salzstock Berdum-Jever wird aus überwiegend steil stehenden Schichten des Zechsteinsalinars (Oberes Perm) aufgebaut, hat eine Längserstreckung von ca. 14 km in Richtung Nordwest-Südost und eine Breite von ca. 5 km in Richtung Südwest-Nordost. Diese Salzstruktur hat eine vertikale Erstreckung (Höhe) von >4.300 m und reicht an ihrer höchsten Erhebung (Kulminationspunkt) in ihrem südöstlichen Abschnitt bis auf ca. 820 m unter GOK. In seinem zentralen Bereich liegt das Dach (Top) des Salzstocks bei ca. 1.066 m unter GOK und der nordwestliche Abschnitt reicht bis auf ca. 974 m unter GOK. Diese Werte lassen sich mit Hilfe des 3D-Modells des Geotektonischen Atlas (GTA3D) ermitteln, eines auch von der BGE zur Ermittlung der Teilgebiete eingesetztes geologisches Untergrundmodells.

Die Salzstruktur Berdum-Jever ist zusammen mit dem ausgewiesenen Teilgebiet in Abbildung 10 als dreidimensionaler Körper mit Blickrichtung nach Nordosten auf die Längsachse dargestellt.



**Abbildung 10: Perspektivische Darstellung des Teilgebiets 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z im Salzstock Berdum-Jever (Basis GTA3D, Baldschuhn et al. 2001)**

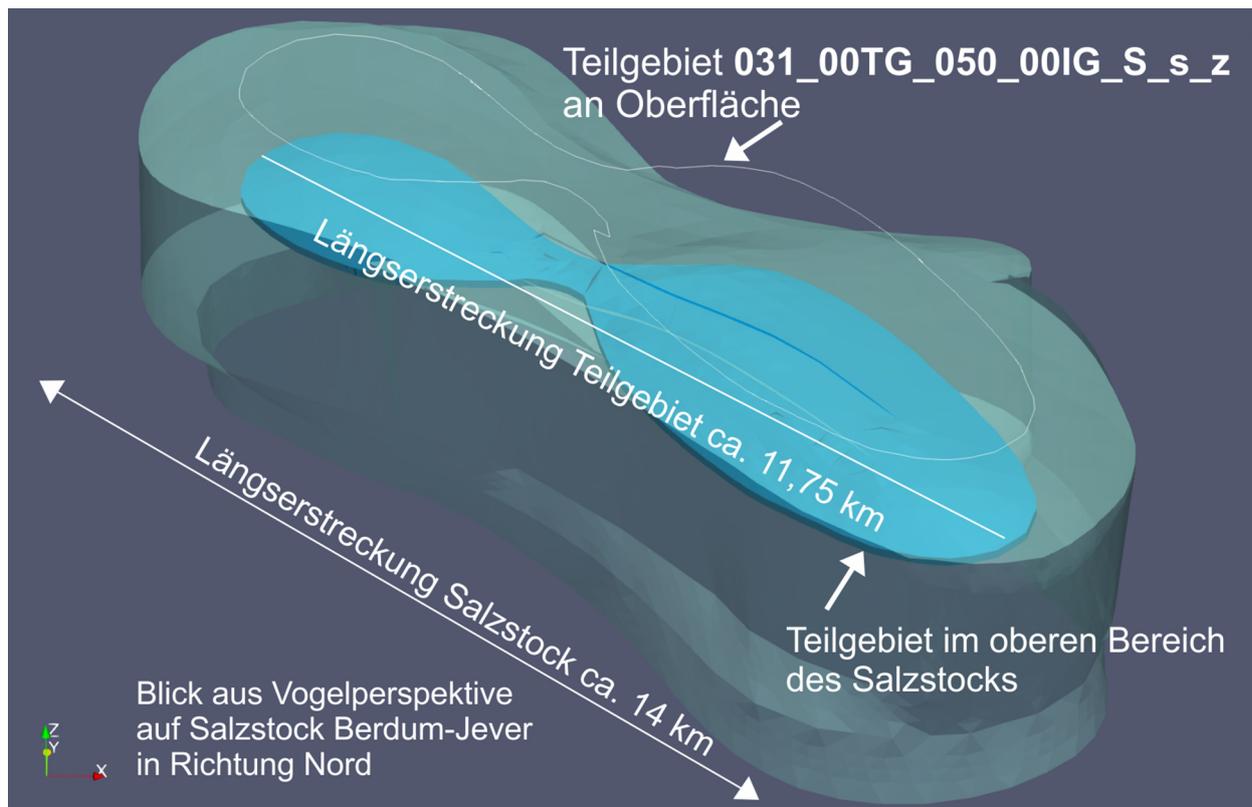
Das Teilgebiet befindet sich im oberen Bereich des Salzstocks. Die Oberkante des Teilgebiets befindet sich von jedem beliebigen Punkt des Salzstockdachs aus gesehen 300 m tiefer. Diese Salzgesteinsfolge zwischen dem Salzstockdach und der Oberkante des Teilgebiets entspricht der sogenannten Salzscheibe von 300 m Mächtigkeit, einer Mindestanforderung nach § 23 StandAG. Da das Salzstockdach keine ebene Fläche ist, weist auch die Oberkante des Teilgebiets dadurch eine wechselnde Tiefenlagen im Bezug zur Erdoberfläche auf.

Mit der Festlegung einer sogenannten maximalen Suchteufe (maximale Tiefe eines Teilgebiets) von 1.500 m unter GOK (BGE 2020a) liegt auch die Basis des Teilgebiets durchgängig in dieser Tiefe. Daraus ergibt sich auch eine wechselnde Mächtigkeit (Abstand zwischen Basis und Top) des Teilgebiets wie aus Abbildung 10 ersichtlich ist. Im Südosten ist das Teilgebiet maximal 380 m mächtig, im zentralen Bereich ungefähr 134 m und im nordwestlichen Abschnitt findet sich eine Mächtigkeit von bis zu 226 m. Der Rand des Teilgebiets entspricht einer Mindestmächtigkeit von 100 m (Mindestanforderung nach § 23 StandAG).

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

Die Abbildung 11 zeigt das Teilgebiet im Salzstock Berdum-Jever in einer Schrägansicht auf das 3D-Modell.

Der Salzstock Berdum-Jever bzw. wie erläutert ein bestimmter Bereich der Salzstruktur ist als Teilgebiet ausgewiesen, da keines der in § 22 StandAG genannten Ausschlusskriterien erfüllt ist, alle in § 23 StandAG genannten Mindestanforderungen zutreffen und nach Anwendung der in § 24 und den Anlagen 1 bis 11 im StandAG aufgeführten geowissenschaftlichen Abwägungskriterien eine günstige geologische Gesamtsituation für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen.



**Abbildung 11: Darstellung des Teilgebiets 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z im Salzstock Berdum-Jever aus der Vogelperspektive (Basis GTA3D, Baldschuhn et al. 2001)**

Die Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung des Teilgebiets 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z wird im Folgenden auf Ihre Plausibilität überprüft.

#### 4.4.2 Ausschlusskriterien (nach § 22 StandAG)

Es werden diejenigen Kriterien aufgeführt und diskutiert, die für das Teilgebiet von Belang sind. Die Ausschlusskriterien großräumige Vertikalbewegungen, seismische sowie vulkanische Aktivität und Grundwasseralter gehören nicht dazu. Siehe hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 3.3.

## **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

### **4.4.2.1 Aktive Störungszonen:**

#### **Tektonische Störungen:**

Viele norddeutsche Salzstrukturen wie auch die Salzstrukturen Berdum-Jever besitzen in den Deckgebirgsschichten über dem Salzkörper sogenannte Scheitelstörungen. Sie sind im Zuge der Aufwölbung und damit einhergehenden Dehnung des Deckgebirges während der Bildung des Salzstocks entstanden. Nach aktuellem Wissensstand (Stück et al. 2020) enden diese Störungen im Hutgestein (Caprock) der Salzstrukturen. Eine Fortsetzung der Störungen in den Salzstock ist nicht zu erwarten. Steinsalz reagiert unter Druck mit plastischer Verformung ("Kriechen"). Dieses Kriechverhalten führt dazu, dass entstandene Risse und Hohlräume im Steinsalz langfristig geschlossen werden. Aufgrund der Tatsache, dass sich die Scheitelstörungen nur auf das Deckgebirge beschränken und sich wie erläutert nicht in das Salzgebirge fortsetzen, ist keine Beeinträchtigung der Barrierewirksamkeit des Wirtsgesteins bei Salzstöcken zu erwarten.

#### **Atektionische bzw. aseismische Vorgänge:**

Das StandAG erwähnt in § 22 Abs. 2 neben den aktiven Störungszonen auch atektonische und aseismische Vorgänge, die nicht mit Spannungen in der Erdkruste im regionalen Maßstab in Verbindung stehen. Die BGE nennt als wesentlichen atektonischen Vorgang Lösungsprozesse im Untergrund, bei denen Hohlräume entstehen, die ab einem gewissen Ausmaß einstürzen und zum Nachbruch des überlagernden Gesteins führen können. Der unterirdische Lösungsprozess von Salzgesteinen wird als Subrosion oder Auslaugung bezeichnet.

Als Hutgestein (Gipshut, Caprock) wird ein Gestein bezeichnet, das durch Subrosion in Folge der Einwirkung von Grundwasser auf das Salzgestein entstanden ist. Bei der Lösung der Salzgesteine wurden die leichtlöslichen Stein- und Kalisalze unter Zurücklassung der schwer- oder nichtlöslichen Bestandteile wie Anhydrit und Ton abgeführt. Der Caprock ist somit aus den Relikten dieser Lösungsprozesse zusammengesetzt. Die Grenze zwischen dem Caprock und dem darunterliegenden Salzgebirge, die das Niveau der Ablaugung markiert, wird als Salzspiegel bezeichnet (Abbildung 12). Im untersten Bereich des Caprocks direkt oberhalb des Salzspiegels finden sich die jüngsten, aus dem Lösungsvorgang gebildeten Schichten. Die ältesten Schichten befinden sich demnach am Top (Firste) des Caprocks. In Abbildung 12 ist die Lage und Ausbildung eines Caprocks (dort als Gipshut bezeichnet) und der zugehörige Salzspiegel schematisch in einem Salzstock dargestellt.

Wie die BGE bemerkt, finden somit atektonische Vorgänge in einem Salzstock hauptsächlich im Bereich des Salzspiegels statt. Das LBEG ergänzt in seiner Stellungnahme (LBEG 2021), dass Subrosion auch im Hutgestein stattfindet.

Aus wenigen Tiefbohrungen (4.2.2.2), die in den Salzstock Berdum-Jever niedergebracht wurden, ist bekannt, dass der Caprock zwischen ca. 6 m und 16 m mächtig ist.

Der heutige Salzspiegel des Salzstocks Berdum-Jever markiert einen früheren Ablaugungshorizont, als sich das Salzstockdach im Vergleich zu heute in geringerer Tiefe befand und wo Grundwässer mit Lösepotenzial (Süß- oder Brackwasser) noch vorkommen. Der Salzstock wurde im Laufe der letzten Millionen Jahre stetig durch jüngere Ablagerungen überdeckt. In der Tiefe des heutigen Salzspiegels sind eher sogenannte Tiefenwässer vorkommend, die stark salzhaltig sind und deren Fähigkeit, Salze zu lösen, äußerst gering ist. Eine nennenswerte Subrosion im Bereich des heutigen Salzspiegels des Salzstocks Berdum-Jever ist damit eher unwahrscheinlich.

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

In der Umgebung des Teilgebiets befinden sich weder ein Tagebau noch ein Bergwerk, die einen Einfluss auf die Eignung eines potentiellen Endlagerbereichs haben könnten. Innerhalb des Salzstocks befinden sich auch keine Kavernen, also für die Salzgewinnung oder Speicherung von beispielsweise Erdöl und Erdgas künstlich geschaffene (mittels Wasser ausgesolte) Hohlräume. Von den im Bereich des Salzstocks

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

Berdum-Jever niedergebrachten Tiefbohrungen sind insgesamt sechs bis in den Caprock bzw. ins Salinar der Struktur vorgedrungen. Die Bohrungen sind in Tabelle 3 aufgelistet und in Abbildung 14 im Bezug zum Salzstock bzw. zum Teilgebiet dargestellt. Die Schichtenfolgen oberhalb des Salzstocks sind weggelassen. Die BGE hat um jeden Bohrfad und Bohrendpunkt einen Sicherheitsabstand mit Radius von 25 m angelegt, um mögliche Lageungenauigkeiten der Bohrungen zu berücksichtigen sowie auch potentielle Schädigungen des angrenzenden Gesteins zu erfassen. Das LBEG (LBEG 2021) und die BGR (BGR 2021a) können diese Methodik in ihren Stellungnahmen prinzipiell mittragen.

**Tabelle 3: Tiefbohrungen auf dem Salzstock Berdum-Jever (NIBIS® Kartenserver (2021b))**

Bohrungsname	Top (Caprock) [m u. GOK]	Salzstock	Basis Caprock (Salzspiegel) [m u. GOK]	Endteufe [m u. GOK]	Bohrung
<b>B1 Klein Wiefels</b>	936		942	1.600	
<b>Berdum 1</b>	1.034,8		Nicht erreicht	1.046	
<b>Berdum 2</b>	975,5		Nicht erreicht	991,3	
<b>Jever 1</b>	1.115,8		1.132	1.137,4	
<b>Jever 1001</b>	1.090		Keine Angabe	1.702	
<b>Jever 1002</b>	Schichtenverzeichnis nicht verfügbar			2.100	

#### 4.4.3 Mindestanforderungen (nach § 23 StandAG)

##### 4.4.3.1 Gebirgsdurchlässigkeit

Nach § 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG muss die Gebirgsdurchlässigkeit weniger als  $10^{-10}$  m/s betragen. Wie im Zwischenbericht Teilgebiete bzw. im Bericht zu den Methoden und Ergebnissen der Anwendung der Mindestanforderungen (BGE 2020a, c) nachzulesen ist, nimmt die BGE an, dass aufgrund der bekannten Eigenschaften von Steinsalz eine ausreichend geringe Gebirgsdurchlässigkeit vorliegt und dass „*Steinsalz praktisch undurchlässig ist*“. Das LBEG hält diese Annahme und Feststellung laut seiner Stellungnahme (LBEG 2021) für plausibel, vermisst jedoch die Quellenangaben seitens der BGE, auf die sich diese Annahme bezieht.

In der Tat gibt es seitens der Endlagerforschung Untersuchungsergebnisse zum Thema Gebirgsdurchlässigkeit für Steinsalz z.B. anhand von Erkundungen untertage in Bergwerken. Die Forschung auf diesem Gebiet wird häufig von der BGR und dem GRS (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit) durchgeführt. Die Gebirgsdurchlässigkeit kann definitionsgemäß nur in situ, also nur durch im natürlichen Gesteinsverband durchgeführte Feldversuche, bestimmt werden. Die Bestimmung kann auch in Bohrungen erfolgen. Es liegen keine Informationen über etwaige Gebirgsdurchlässigkeitsbestimmungen in den abgeteuften Bohrungen der Salzstrukturen vor. Es ist auch nicht bekannt, ob die BGE im Fall der Verfügbarkeit, diese auch angewendet hat.

Die Fragestellung bezüglich der Gebirgsdurchlässigkeit wird auch beim Kriterium zur Bewertung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten (geowissenschaftliches Abwägungskriterium) in Kapitel 4.4.4 nochmals aufgegriffen.

##### 4.4.3.2 Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Nach § 2 Abs. 1 Nr. 9 StandAG ist der einschlusswirksame Gebirgsbereich der Teil eines Gebirges, der bei Endlagersystemen, die wesentlich auf geologischen Barrieren beruhen, im Zusammenwirken mit den

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

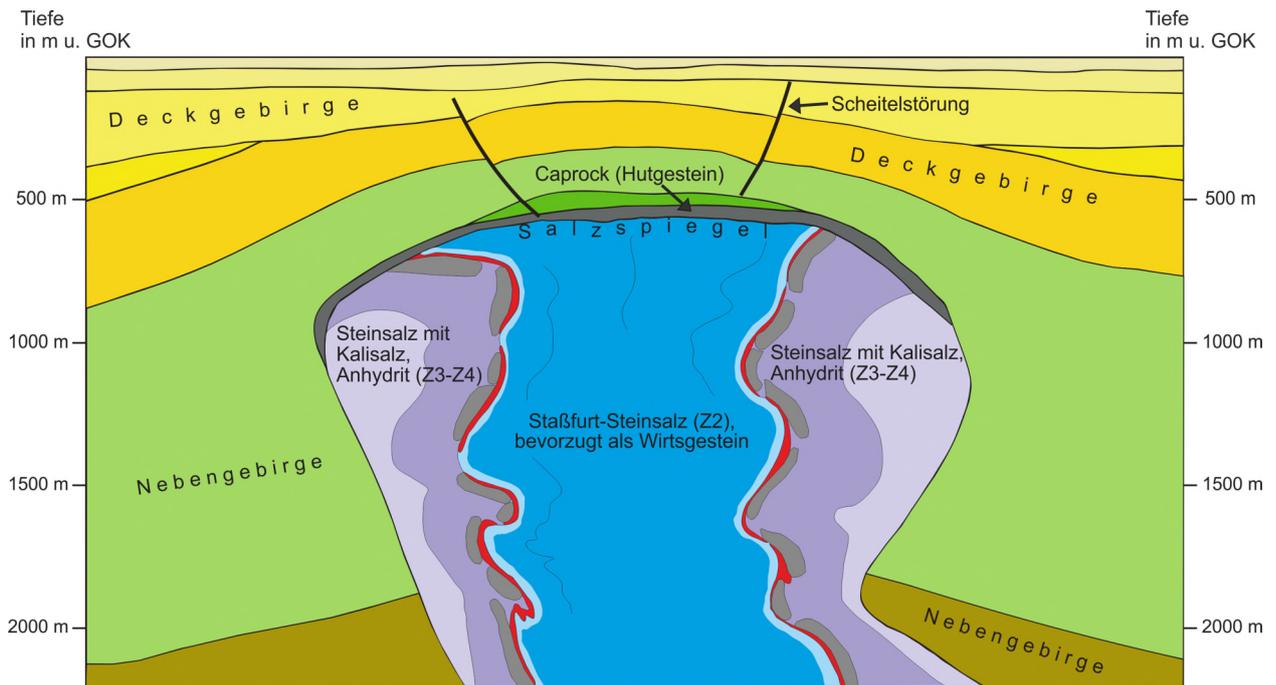
technischen und geotechnischen Verschlüssen den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle in einem Endlager gewährleistet. Dieser Gebirgsbereich muss nach § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG mindestens 100 m mächtig sein. Wie in Kapitel 4.4.1 erläutert und in der Abbildung 10 dargestellt wurde, ist diese Mindestanforderung bei der Ausweisung des Teilgebiets 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z anhand der Auswertung des geologischen 3D-Modells erfüllt.

Bei der Ausweisung des Teilgebiets im Salzstock Berdum-Jever wurde davon ausgegangen, dass das Wirtsgestein Steinsalz über die gesamte Fläche von ca. 26 km<sup>2</sup> in einer Mächtigkeit von 100 m vorhanden ist. Als Wirtsgestein kommt in den aus Zechsteinsalinar aufgebauten Salzstrukturen aufgrund der großen Mächtigkeit fast ausschließlich nur Staßfurt-Steinsalz in Betracht. Das LBEG bemerkt hierzu in seiner Stellungnahme (LBEG 2021) zur Anwendung dieser Methodik in Salzstrukturen im Allgemeinen: *„Dieses Vorgehen lässt den Internbau der Salzstrukturen bewusst außen vor [...]. Da aufgrund teilweise sehr komplexer Internbaue nur Teilbereiche von Salzstrukturen aus größeren zusammenhängenden Steinsalzbereichen bestehen, wird das Volumen von potentiell Wirtsgestein in einer Salzstruktur zum jetzigen Verfahrensstand daher voraussichtlich deutlich überschätzt.“*

Anhand des über hundertjährigen Salzbergbaus in Deutschland sowie aus dem seit den 1960er Jahren bestehenden Kavernenbetrieb sind umfangreiche Kenntnisse über den internen Aufbau insbesondere von Salzstöcken gesammelt worden. Dabei zeigt sich, dass Bereiche, die nahezu vollständig aus Steinsalz aufgebaut sind, mit für die Endlagerung nicht geeigneten Schichten aus Kalisalz und Anhydrit wechsellagern, und das sowohl übereinander als auch nebeneinander in einem Salzstock. In Abbildung 12 ist der Aufbau eines Salzstocks schematisch dargestellt. Die ursprünglich übereinander abgelagerten Schichten des Zechsteinsalinars wanderten im Zuge der Salzstockentstehung aufwärts und wurden dabei teilweise kompliziert verfaltet. In den meisten Salzstöcken konzentriert sich im zentralen Bereich das Staßfurt-Steinsalz (Zechstein 2). Die das Staßfurt-Steinsalz ursprünglich überlagernden jüngeren Schichten des Zechstein 3 und 4 (neben Steinsalz vor allem Kalisalz und Anhydrit führend) wurden zu den Seiten gedrückt und bilden heute die Ränder eines Salzstocks. Die anfangs flach abgelagerten Salinargesteine sind im Salzstock heute steil gestellt, weshalb auch von steiler Lagerung gesprochen wird.

Der Internbau jedes Salzstocks ist individuell. Die Breiten des zentralen Bereichs und der Ränder variieren und manchmal können die Randbereiche und somit Kalisalz und Anhydrit führende Schichten weit in das Zentrum eines Salzstocks vordringen. Das verkleinert den für den Bau eines Endlagers zur Verfügung stehende Wirtsgesteinsbereich.

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund



**Abbildung 12: Schematischer Aufbau eines Salzstocks mit Deck- und Nebengebirge sowie Scheitelstörungen (Quelle DEEP.KBB)**

Im Projekt InSpEE (Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Pollock et al. 2016)) wurde unter anderem das Ziel verfolgt, den Anteil des Staßfurt-Steinsalzes (z2) in den Salzstrukturen Norddeutschlands abzuschätzen. Aus der Untersuchung von Salzstrukturen mit bekanntem Internaufbau konnten insgesamt fünf verschiedene Strukturtypen (Internbautypen) abgeleitet werden. Vier der Strukturtypen werden aus dem Zechsteinsalinar aufgebaut und weisen Staßfurt-Steinsalz-Anteile zwischen 33 % und 67 % auf. In Abbildung 13 sind die InSpEE-Strukturtypen dargestellt.

Nach Pollock et al. (2016) gehört der Salzstock Berdum-Jever zum Strukturtyp Diapir (Typ 3 in Abbildung 13) und wird demnach zu 67 % aus Staßfurt-Steinsalz aufgebaut. Die genaue Verteilung der verschiedenen Salinargesteine (Steinsalz, Kalisalz, Anhydrit etc.) kann auch nach dem InSpEE-Projekt nicht beantwortet werden. Für die Methodik der Potenzialbestimmung von Salzstrukturen wurde jedoch der Ansatz entwickelt, den nutzbaren Anteil (Staßfurt-Steinsalz) jeweils in den zentralen Bereich der Salzstrukturen zu verlegen (Donadei et al. 2016). Dies entspricht im Allgemeinen den Erfahrungen insbesondere bei Diapiren.

4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

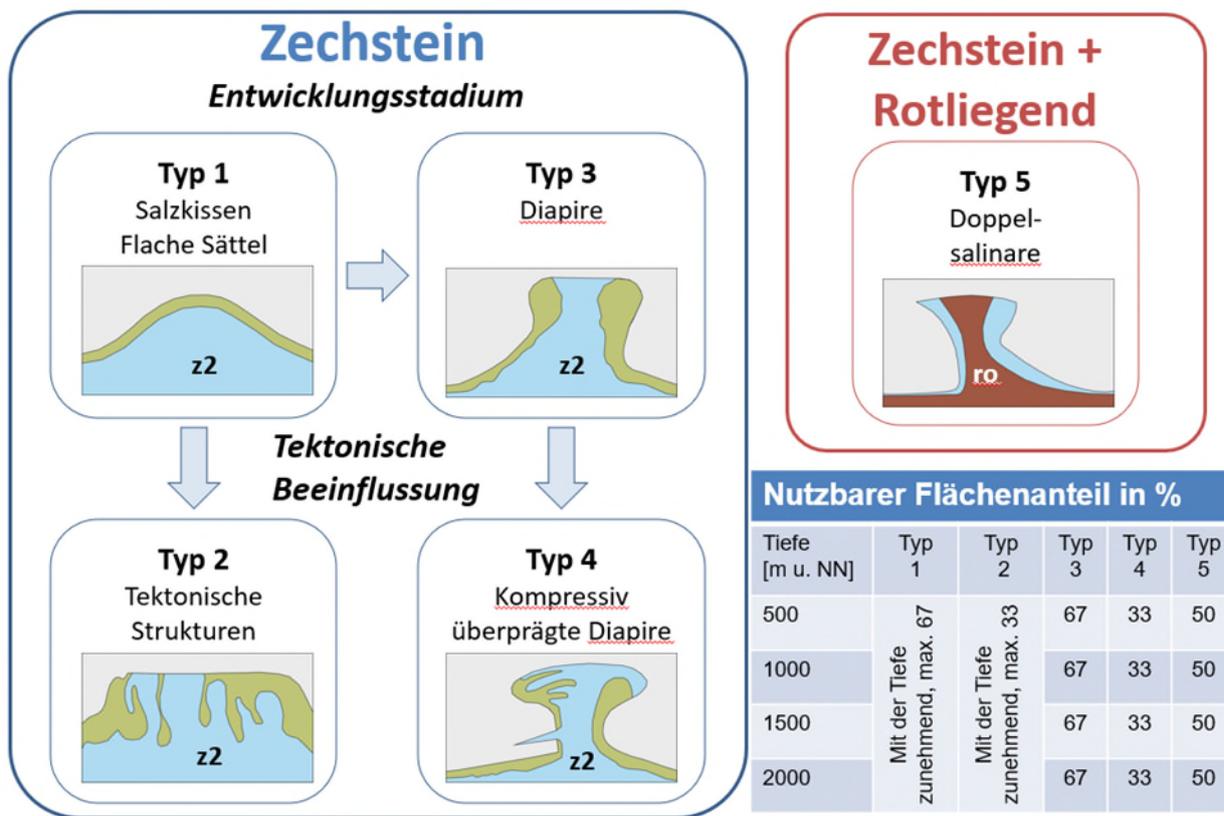


Abbildung 13: Einteilung der Salzstrukturen in Internbautypen / Projekt InSpEE (Pollock et al. 2016)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die in den Abbildungen 9 bis 11 dargestellte Fläche des Teilgebiets 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z in ihrer Ausdehnung und Mächtigkeit wahrscheinlich überschätzt wird. Um eine Abgrenzung des endlagerrelevanten Steinsalzbereiches gegenüber den Bereichen mit vermehrt auftretenden Kalisalzen und Anhydriten zu erhalten, wird hier die Methodik aus dem Projekt InSpEE (Donadei et al. 2016) anhand des Teilgebiets im Salzstock Berdum-Jever demonstriert.

In Abbildung 14 wird deutlich, dass das Teilgebiet an seiner westlichen Begrenzung sehr nahe am Salzstockrand (hier mit Rand Salzstockdach identisch) ist. Nach der oben aufgeführten Erläuterung zum Internaufbau von Salzstöcken kann davon ausgegangen werden, dass dort keine geeigneten Steinsalzvorkommen existieren. Die hellblau gefüllte Fläche ist das Ergebnis aus Pufferung des Salzstockbereichs in dem aktuell ausgewiesenen Teilgebiet in mehreren Niveauschnitten zwischen 1.120 m (Oberkante Teilgebiet) und 1.500 m (Basis Teilgebiet), so dass jeweils 67 % der Flächen verbleiben. Nach der Verschneidung der Flächen untereinander resultiert die hellblaue Fläche. Diese Fläche spiegelt möglicherweise eine realistischere Größe des zur Verfügung stehenden Anteils für die Endlagerung geeigneter Wirtsgesteinsvorkommen im Salzstock Berdum-Jever bis zur maximalen Suchteufe von 1.500 m wider.

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

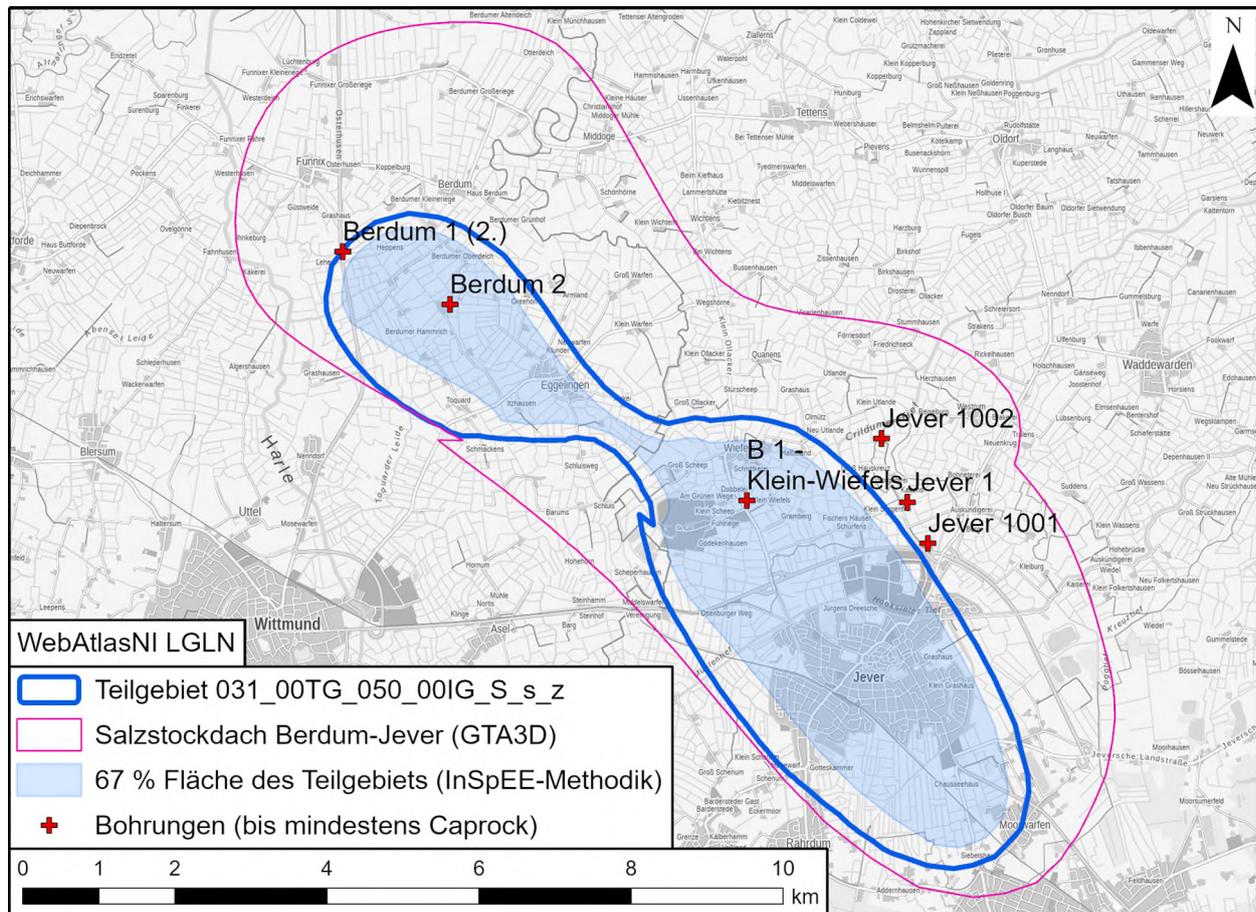


Abbildung 14: Reduzierte Fläche des Teilgebiets 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z nach Pufferung anhand InSpEE-Methodik (BGE 2020b (Grundlage für Karte))

#### 4.4.3.3 Minimale Tiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Nach § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG muss die Oberfläche eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mindestens 300 Meter unter der Geländeoberfläche liegen. Weiterhin heißt es: „soll ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich im Gesteinstyp Steinsalz in steiler Lagerung ausgewiesen werden, so muss die Salzscheibe über dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich mindestens 300 Meter mächtig sein,“.

Der Salzstock Berdum-Jever befindet sich mindestens 820 m unter der Geländeoberkante. Damit ist die erste Bedingung erfüllt.

Für die Ausweisung des Teilgebiets 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z wurde eine Salzscheibe von 300 m zwischen Salzstockdach und Oberkante des Teilgebiets berücksichtigt (Abbildung 10). Die BGE hat allerdings das mögliche Vorhandensein eines Hutgesteins (Caprock) und dessen Mächtigkeit bei dieser Methodik mit folgender Begründung außer Acht gelassen: „Da die Mächtigkeit des Hutgesteins stark variiert [...] und keine Einzelfallbetrachtung erfolgte, wird das Hutgestein zum jetzigen Zeitpunkt nicht einzeln ausgehalten. Daher erstreckt sich die Salzscheibe in dieser Phase zwischen der Oberfläche des Salzdiapirs (inklusive Hutgestein sofern vorhanden) und dem potentiellen ewG.“ Da das StandAG keinen Hinweis auf die Berücksichtigung des Hutgesteins liefert, ist die Herangehensweise der BGE nachvollziehbar.

#### **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

Wie in Kapitel 4.4.2.1 erwähnt wurde, ist der Caprock des Salzstocks Berdum-Jever nach vorhandenen Bohrdaten 6 m bis 16 m mächtig. Würde man diesen berücksichtigen, so müsste die ausgewiesene Oberfläche des Teilgebiets um mindestens 6 m tiefer gesetzt werden. Unter Berücksichtigung der Ungenauigkeiten, die in geologischen 3D-Modellen auftreten können, fallen wenige Meter Unterschiede kaum ins Gewicht. Zum augenblicklichen Stand der Standortsuche mit den verfügbaren Daten kann die Anforderung bezüglich der Salzscheibe somit als erfüllt angesehen werden.

##### **4.4.3.4 Fläche des Endlagers**

Im § 23 Abs. 5 Nr. 4 StandAG steht hierzu: „*ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich muss über eine Ausdehnung in der Fläche verfügen, die eine Realisierung des Endlagers ermöglicht [...]*“.

Das StandAG benennt keine konkrete Größe für die Fläche eines Endlagers. Die von der BGE festgelegte Flächengröße von 3 km<sup>2</sup> für ein Endlager im Wirtsgestein Steinsalz ist angelehnt an die Begründung zum Gesetzentwurf BT-Drs. 18/11398 (2017).

Wie in Kapitel 4.4.3.2 erläutert wurde, ist die ausgewiesene Fläche des Teilgebiets 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z in ihrer Ausdehnung wahrscheinlich überschätzt. Die reduzierte Fläche in Abbildung 14 hat eine Größe von ca. 18 km<sup>2</sup>. Diese bietet weiterhin die Möglichkeit für die Realisierung eines Endlagers. Die Anforderung kann damit nach jetzigem Kenntnisstand unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Daten als erfüllt angesehen werden.

##### **4.4.3.5 Erhalt der Barrierewirkung**

Zum Erhalt der Barrierewirkung heißt es in § 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG: „*es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, insbesondere die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs über einen Zeitraum von einer Million Jahren zweifelhaft erscheinen lassen.*“

Da die bisherigen Erkenntnisse und Daten zum Teilgebiet den Erhalt der Barrierewirkung nicht anzweifeln, kann diese Mindestanforderung somit als erfüllt angesehen werden.

#### **4.4.4 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (nach § 24 StandAG)**

Die BGE hat eine individuelle Bewertung für die Kriterien 2 (Konfiguration der Gesteinskörper), 3 (räumliche Charakterisierbarkeit) und 11 (Deckgebirge) anhand der vorliegenden gebietspezifischen Daten vorgenommen. Für die anderen acht Kriterien (1, 4 bis 10) mussten die wirtsgesteinsspezifischen Referenzdatensätze (Referenzdatensatz Steinsalz (BGE 2020d)) herangezogen werden.

Die Plausibilitätsprüfung der Vorgehensweise der BGE bei der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ist unter Berücksichtigung der Stellungnahme des LBEG (LBEG 2021) und der Anmerkungen der BGR (BGR 2021a) erfolgt. Das Resultat der Bewertung für das Teilgebiet 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z ist in Abbildung 15 zusammengefasst. Diese basiert auf der Darstellung der Bewertungsergebnisse im Zwischenbericht Teilgebiete.

4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

		<i>Indikator Bewertungen:</i>	Ergebnis Plausibilitätsprüfung:
<i>günstig</i>	<b>Kriterium 1</b>		Methodik erscheint plausibel (Stellungnahme LBEG und Anmerkungen der BGR sowie Referenzdatensatz berücksichtigt)
<i>günstig</i>	<b>Kriterium 2</b>		Methodik erscheint weitgehend plausibel, Einschränkung in Bezug auf Indikator „flächenhafte Ausdehnung“ (Anmerkungen BGR berücksichtigt)
<i>günstig</i>	<b>Kriterium 3</b>		Methodik erscheint plausibel (Anmerkungen der BGR berücksichtigt)
<i>günstig</i>	<b>Kriterium 4</b>		Methodik erscheint plausibel (Referenzdatensatz berücksichtigt)
<i>günstig</i>	<b>Kriterium 5</b>		Methodik erscheint plausibel (Referenzdatensatz berücksichtigt)
<i>günstig</i>	<b>Kriterium 6</b>		Methodik erscheint plausibel (Referenzdatensatz berücksichtigt)
<i>günstig</i>	<b>Kriterium 7</b>		Methodik erscheint plausibel (Referenzdatensatz berücksichtigt)
<i>günstig</i>	<b>Kriterium 8</b>		Methodik erscheint plausibel (Referenzdatensatz berücksichtigt)
<i>nicht günstig</i>	<b>Kriterium 9</b>		Methodik erscheint plausibel (Stellungnahme des LBEG sowie Referenzdatensatz berücksichtigt)
<i>nicht günstig</i>	<b>Kriterium 10</b>		Methodik erscheint plausibel (Stellungnahme des LBEG sowie Referenzdatensatz berücksichtigt)
<i>bedingt günstig</i>	<b>Kriterium 11</b>		Methodik erscheint plausibel (Stellungnahme LBEG und Anmerkungen der BGR berücksichtigt)

■ *günstig*   
 ■ *bedingt günstig*   
 ■ *weniger günstig*   
 ■ *nicht günstig*   
 ■ *nicht anwendbar*   
 ■

**Abbildung 15: Plausibilitätsprüfung geowissenschaftliche Abwägungskriterien für Teilgebiet 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z (verändert nach BGE 2020a)**

Die BGE hat in der jetzigen Phase des Standortauswahlverfahrens aufgrund fehlender gebietsspezifischer Daten die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien auf das Teilgebiet 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z hauptsächlich anhand von wirtsgesteinsspezifischen Referenzdatensätzen angewendet. Laut der Begründung der BGE „wird [auf diese Weise] gewährleistet, dass die Bewertung im oberen Bereich der physikalisch möglichen Bandbreite des Wirtsgesteins erfolgt. Dabei wird die Maxime zu Grunde gelegt, dass sich eine in der Phase I Schritt 1 des Standortauswahlverfahrens erfolgte Bewertung durch einen Informationsgewinn in späteren Phasen nicht verbessert, sondern nur beibehalten wird oder schlechter werden kann.“

#### **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

Ein weiterer Verfahrensgrundsatz der BGE ist mit der Verwendung von Referenzdatensätzen keine Gebiete mit nicht hinreichender geologischer Datenlage vorzeitig aus dem Verfahren auszuschließen. Diese Vorgehensweise erscheint plausibel.

Eine nennenswerte Einschränkung unsererseits wird gesehen bei der Anwendung des Kriteriums 2 „Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper“ und der günstigen Bewertung insgesamt. Hier nimmt die BGE zur Erfüllung des Indikators „flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit (Vielfaches des Mindestflächenbedarfs“ die Gesamtfläche des identifizierten Gebiets, also die Fläche des vorliegenden Teilgebiets an. Wie im Kapitel 4.4.3.2 erläutert, ist die Flächengröße des Teilgebiets sehr wahrscheinlich überschätzt. Die BGE betrachtet hierbei im Allgemeinen den gesamten Salzstock als endlagerrelevante Steinsalzabfolge. Diese Aussage ist wie erläutert zu hinterfragen.

##### **4.4.5 Fazit der Plausibilitätsprüfung**

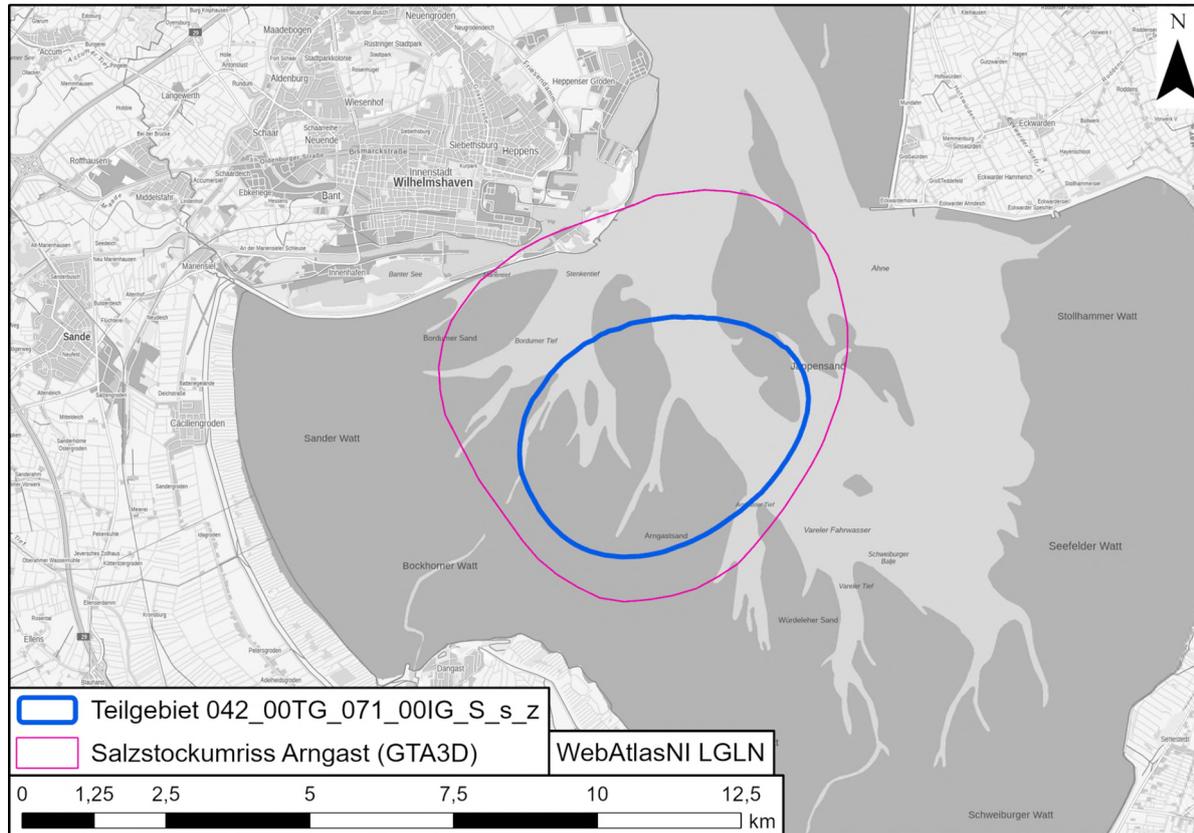
Der Erkundungsgrad des Salzstocks Berdum-Jever ist als mäßig zu bezeichnen. Entscheidend hierbei ist der geringe Kenntnisstand zum Internbau der Salzstruktur. Die Kenntnisse zur Tiefenlage und Ausdehnung des Salzstocks beruhen weitgehend auf ein geologisches 3D-Modell mit den bekannten Ungenauigkeiten. Diese Daten wurden auch überwiegend zur Anwendung der Mindestanforderungen angewandt. Zur Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien kamen im überwiegenden Maße Referenzdatensätze zum Einsatz. Der Kenntnisstand ist daher von dem, der einer detaillierteren Bewertung als potentieller Standort eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle zugrunde zu legen wäre, heute noch weit entfernt.

Dem von der BGE im „Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 2020a) ausgewiesenen Teilgebiet 031\_00TG\_050\_00IG\_S\_s\_z, welches sich im Salzstock Berdum-Jever befindet, kann in der jetzigen Phase der Standortsuche eine „Nichteignung“ nicht attestiert werden. In den kommenden Phasen des Standortauswahlverfahrens werden zunehmend detailliertere Daten (vor allem ortsspezifische Daten) zur Verfügung stehen, wodurch das Teilgebiet unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien erneut einer Bewertung unterzogen werden könnte. Mit geologischen Daten oder geologischen Sachverhalten gestützte Argumente, die eine Eignung des Teilgebietes in der jetzigen Phase schon grundlegend ausschließen würden, sehen wir nicht.

4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

4.5 Teilgebiet 042\_00TG\_071\_00IG\_S\_s\_z (Permische Steinsalz im Salzstock Arngast)

4.5.1 Darstellung des Teilgebiets



Charakteristika des Teilgebiets <sup>1</sup> 042_00TG_071_00IG_S_s_z	
IG <sup>2</sup> -Kennung	071_00IG_S_s_z
Wirtsgesteinstyp und Konfiguration	Steinsalz in steiler Lagerung
Geographische Verortung	Das Teilgebiet befindet sich im Bundesland Niedersachsen, unterhalb des Jadebusens.
Gesamtfläche	16 Quadratkilometer
geologische Charakteristika	Das Teilgebiet befindet sich im Zechstein der Salzstruktur Arngast und weist eine Mächtigkeit von 300 Metern auf. Das Teilgebiet befindet sich in einer Teufenlage von 1 210 Metern bis 1 500 Metern unterhalb der Geländeoberkante.

Abbildung 16: Übersichtskarte und Kurzbeschreibung des Teilgebiets 042\_00TG\_071\_00IG\_S\_s\_z (BGE 2020a (Tabelle) und BGE 2020b (Grundlage für Karte))

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

Das Teilgebiet 042\_00TG\_071\_00IG\_S\_s\_z befindet sich unter dem Jadebusen in Tiefen zwischen ca. 1.210 m und 1.500 m und weist eine Fläche von ca. 16 km<sup>2</sup> auf. Es liegt innerhalb der aus steil stehenden Schichten des Zechsteinsalinars (Oberes Perm) aufgebauten Salzstruktur Arngast. Die Lage des Teilgebiets und der Umriss der Salzstruktur Arngast sind in Abbildung 16 dargestellt.

Der Salzstock Arngast hat eine Längserstreckung von ca. 7,3 km in Richtung Südwest-Nordost und von ca. 6,7 km in Richtung Nordwest-Südost. Die Höhe des Salzstocks beträgt >4.300 m und die höchste Erhebung (Kulminationspunkt) liegt bei ca. 910 m unter GOK.

Die Salzstruktur Arngast ist zusammen mit dem ausgewiesenen Teilgebiet in Abbildung 17 als dreidimensionaler Körper dargestellt. Das Teilgebiet befindet sich im oberen Bereich des Salzstocks. Zwischen der Oberkante des Teilgebiets und dem Salzstockdach befindet sich die nach § 23 StandAG geforderte Salzscheibe von 300 m. Das gewölbte Salzstockdach spiegelt sich auch in der gewölbten Oberfläche des Teilgebiets wider. Die Basis des Teilgebiets ist festgelegt auf 1.500 m (maximale Suchteufe nach BGE (2020a)).

Der höchste Punkt des Teilgebiets von 1.210 m unter GOK ergibt sich aus dem sich in 910 m unter GOK befindlichen Kulminationspunkt der Struktur Arngast plus einer Salzscheibe von 300 m Mächtigkeit. Daraus resultiert eine maximale Mächtigkeit für das Teilgebiet von ca. 290 m. Die geringste Mächtigkeit ist nach § 23 StandAG auf 100 m festgesetzt, die dieses Teilgebiet an ihren Rändern aufweist.



Abbildung 17: Perspektivische Darstellung des Teilgebiets 042\_00TG\_071\_00IG\_S\_s\_z im Salzstock Arngast (Basis GTA3D, Baldschuh et al. 2001)

Der Salzstock Arngast bzw. wie erläutert ein bestimmter Bereich der Salzstruktur ist als Teilgebiet ausgewiesen, da keines der in § 22 StandAG genannten Ausschlusskriterien erfüllt ist, alle in § 23 StandAG genannten Mindestanforderungen zutreffen und nach Anwendung der in § 24 und den Anlagen 1 bis 11 im StandAG aufgeführten geowissenschaftlichen Abwägungskriterien eine günstige geologische Gesamtsituation für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen.

#### **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

Die Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung des Teilgebiets 042\_00TG\_071\_00IG\_S\_s\_z wird im Folgenden auf Ihre Plausibilität überprüft.

##### **4.5.2 Ausschlusskriterien (nach § 22 StandAG)**

Es werden diejenigen Kriterien aufgeführt und diskutiert, die für das Teilgebiet von Belang sind. Die Ausschlusskriterien großräumige Vertikalbewegungen, seismische sowie vulkanische Aktivität und Grundwasseralter gehören nicht dazu. Siehe hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 3.3.

###### **4.5.2.1 Aktive Störungszonen**

###### **Tektonische Störungen:**

Aktive Störungszonen beziehen sich im Fall von Salzstöcken auf die im Deckgebirge über diesen Salzstrukturen vorkommenden Scheitelstörungen. Weder die Modelldaten des GTA3D (Baldschuhn et al. 2001), noch die Shapedateien zu den Störungsspuren des Projekts InSpEE (von Goerne et al. 2016) zeigen Störungen im Bereich der Salzstruktur Arngast. Weitere von der BGE aufgeführte Quellen zu Datensätzen mit Störungsinformationen konnten mangels Zugangs nicht geprüft werden. Da von der BGE keine aktiven Störungszonen im Bereich des Salzstocks Arngast ausgewiesen wurden, sind entweder keine Störungen bekannt oder an vorhandenen Störungen konnte nachgewiesen werden, dass im Zeitraum Rupel bis heute, also innerhalb der letzten 34 Millionen Jahre, keine Bewegungen stattgefunden haben (nach § 22 StandAG).

###### **Atektionische bzw. aseismische Vorgänge:**

Atektionische Vorgänge können sich im Bereich des Caprocks bzw. am Salzspiegel eines Salzstocks ereignen. Die hierfür nötigen Lösungsprozesse im Steinsalz setzen das Vorhandensein von Grundwasser voraus. Aufgrund der großen Tiefe des Caprocks bzw. Salzspiegels der Struktur Arngast ist das Vorhandensein von Grundwasser mit nennenswertem Lösepotenzial unwahrscheinlich. Siehe hierzu auch die weiteren Ausführungen im Kapitel 4.4.2.1. Im Übrigen soll die nach § 23 StandAG geforderte Salzscheibe von 300 m zwischen Oberkante Teilgebiet und Salzstockdach als Schutz vor Wasserzutritt dienen.

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

Das Teilgebiet befindet sich unterhalb des Jadebusens. In der Umgebung des Teilgebiets befinden sich weder ein Tagebau noch ein Bergwerk, die einen Einfluss auf die Eignung eines potentiellen Endlagerbereichs haben könnten. Anhand von frei zugänglichen Datenbanken können im Bereich des Salzstocks Arngast keine Tiefbohrungen lokalisiert werden.

##### **4.5.3 Mindestanforderungen (nach § 23 StandAG)**

###### **4.5.3.1 Gebirgsdurchlässigkeit**

Die BGE nimmt für das Wirtsgestein Steinsalz grundsätzlich an, dass aufgrund dessen bekannter Eigenschaften die Gebirgsdurchlässigkeit ausreichend gering ist und die nach § 23 StandAG gesetzte Forderung von weniger als  $10^{-10}$  m/s erfüllt. Siehe hierzu auch die weiteren Ausführungen im Kapitel 4.4.3.1.

## 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

### 4.5.3.2 Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Die nach § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG geforderte Mächtigkeit von 100 m wurde von der BGE anhand des geologischen Modells des GTA3D (Baldschuhn et al. 2001) für das Teilgebiet im Salzstock Arngast bestimmt. Die Anforderung kann auf Grundlage dieser Daten im Prinzip als erfüllt angesehen werden. Eine ausführliche Diskussion zur Anwendung dieser Mindestanforderung erfolgte im Kapitel 4.4.3.2 am Beispiel des Teilgebiets im Salzstock Berdum-Jever.

### 4.5.3.3 Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Nach § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG muss die Oberfläche eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mindestens 300 Meter unter der Geländeoberfläche liegen. Weiterhin heißt es: „*soll ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich im Gesteinstyp Steinsalz in steiler Lagerung ausgewiesen werden, so muss die Salzscheibe über dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich mindestens 300 Meter mächtig sein*“.

Der Salzstock Arngast befindet sich mindestens 910 m unter der Geländeoberkante. Damit ist die erste Bedingung erfüllt. Für die Ausweisung des Teilgebiets 042\_00TG\_071\_00IG\_S\_s\_z wurde eine Salzscheibe von 300 m zwischen Salzstockdach und Oberkante des Teilgebiets berücksichtigt (Abbildung 17). Der Caprock der Salzstruktur, der aufgrund von fehlenden Bohrdaten nicht nachgewiesen werden kann, aber wahrscheinlich vorhanden ist, müsste gegebenenfalls bei der Auslegung der Salzscheibe mit in die Betrachtung einbezogen werden. Näheres hierzu siehe Kapitel 4.4.3.3. Zum augenblicklichen Stand der Standortsuche mit den zur Verfügung stehenden Daten kann die Anforderung bezüglich der Salzscheibe als erfüllt angesehen werden.

### 4.5.3.4 Fläche des Endlagers

Wie im Kapitel 4.4.3.3 am Beispiel des Teilgebiets im Salzstock Berdum-Jever erläutert wurde, kann die Fläche des zur Verfügung stehenden Wirtsgesteins in einem Salzstock unter alleiniger Verwendung von 3D-Modellen möglicherweise überschätzt werden, da der teils komplexe Internbau einer Salzstruktur mit den entsprechenden Auswirkungen auf die Verteilung des Wirtsgesteins vernachlässigt wird. In der derzeitigen Phase des Standortauswahlverfahren ist das Vorgehen der BGE bei der Anwendung der Mindestanforderung jedoch nachvollziehbar. Die ausgewiesene Fläche von 16 km<sup>2</sup> für das Teilgebiet erfüllt die Bedingung von 3 km<sup>2</sup> für ein Endlager.

### 4.5.3.5 Erhalt der Barrierewirkung

Zur Definition siehe Kapitel 4.4.3.5. Die BGE bemerkt hierzu (BGE 2020c): „*Soweit klare Erkenntnisse oder Daten vorliegen, dass der Erhalt der Barrierewirkung zweifelhaft erscheint, wurde die Mindestanforderung als nicht erfüllt angesehen. In allen anderen Fällen wird bis zum Vorliegen entsprechender Daten diese Mindestanforderung als erfüllt angesehen.*“ Aus den wenigen zur Verfügung stehenden Daten zum Salzstock Arngast können keine Erkenntnisse abgeleitet, die den Erhalt der Barrierewirkung anzweifeln. Die Mindestanforderung kann somit als erfüllt angesehen werden.

## 4.5.4 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (nach § 24 StandAG)

Die BGE hat eine individuelle Bewertung für die Kriterien 2 (Konfiguration der Gesteinskörper), 3 (räumliche Charakterisierbarkeit) und 11 (Deckgebirge) anhand der vorliegenden gebietsspezifischen Daten vorgenommen. Für die anderen acht Kriterien (1, 4 bis 10) mussten die wirtsgesteinsspezifischen Referenzdatensätze (Referenzdatensatz Steinsalz (BGE 2020d)) herangezogen werden.

Die Plausibilitätsprüfung der Vorgehensweise der BGE bei der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ist unter Berücksichtigung der Stellungnahme des LBEG und der Anmerkungen der BGR erfolgt. Das Resultat der Bewertung für das Teilgebiet 042\_00TG\_071\_00IG\_S\_s\_z ist in Abbildung 18

#### **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

zusammengefasst. Diese basiert auf der Darstellung der Bewertungsergebnisse im Zwischenbericht Teilgebiete.

Der Indikator 1 „Barrieremächtigkeit“ im Kriterium 2 „Konfiguration der Gesteinskörper“ wurde von der BGE als bedingt günstig eingestuft, da die geforderte Mächtigkeit von mehr als 300 m im Falle einer günstigen Bewertung für das Teilgebiet nicht vorhanden ist. Die Mächtigkeit des Teilgebiets beträgt wie in Abbildung 17 dargestellt 290 m.

Der Indikator 1 „Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den ewG ergeben könnten“ im Kriterium 11 „Deckgebirge“ hat eine günstige Bewertung erhalten, da Störungen etc. nicht nachgewiesen wurden wie in Kapitel 4.5.2.1 ausgeführt wurde.

Aufgrund weitgehender Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Teilgebieten in den Salzstöcken Berdum-Jever und Arngast wird auf die Ausführungen in Kapitel 4.4.4 verwiesen.

4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

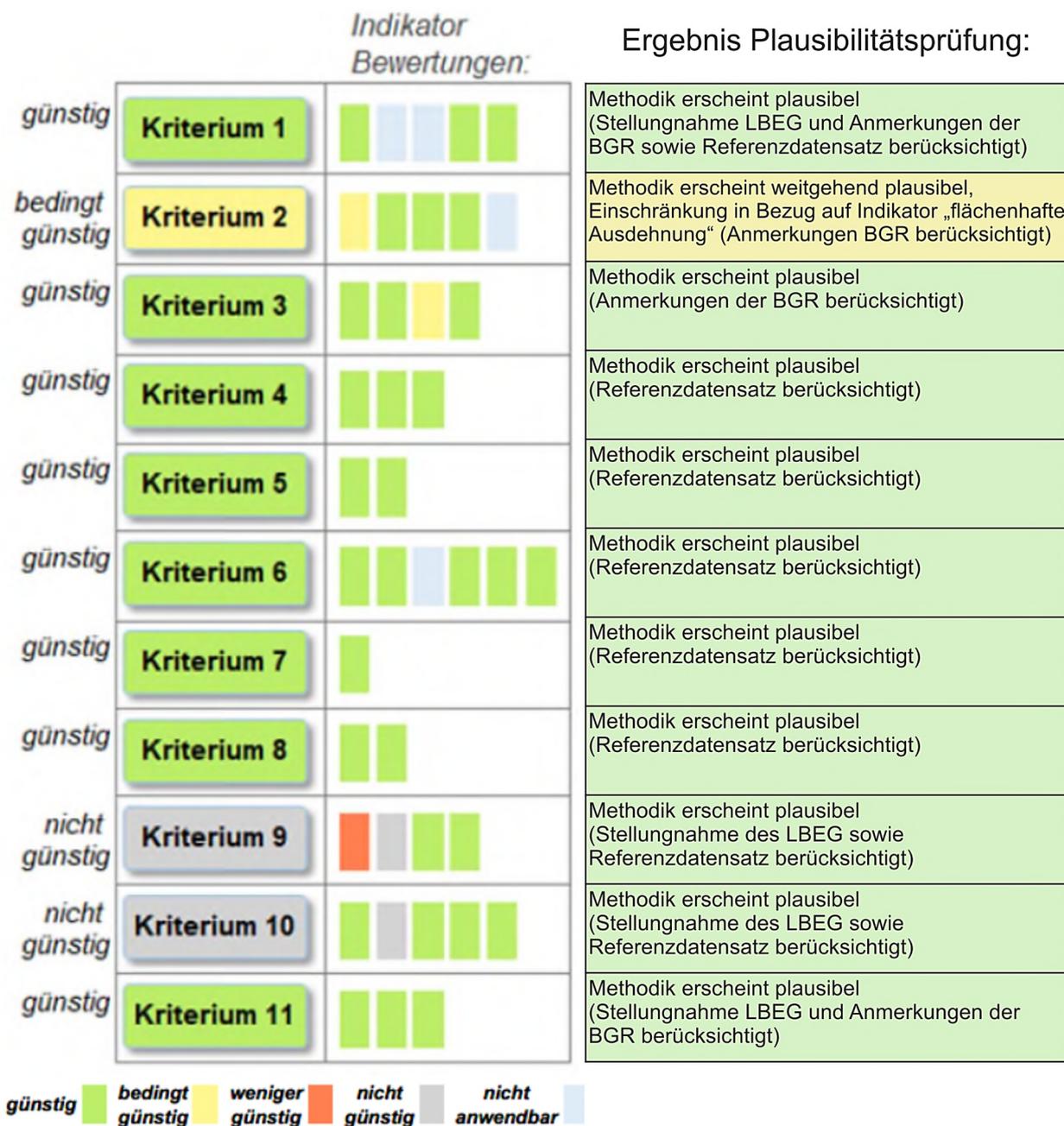


Abbildung 18: Plausibilitätsprüfung geowissenschaftliche Abwägungskriterien für Teilgebiet 042\_00TG\_071\_00IG\_S\_s\_z (verändert nach BGE 2020a)

4.5.5 Fazit der Plausibilitätsprüfung

Der Erkundungsgrad des Salzstocks Arngast ist im Vergleich zu dem des Salzstocks Berdum-Jever als schlecht zu bezeichnen. Es sind keine Tiefbohrungen bekannt, womit auch keine Informationen zum Internbau des Salzstocks zur Verfügung stehen. Derzeit sind nur die Tiefenlage und Ausdehnung des Salzstocks bekannt, die weitgehend auf ein geologisches 3D-Modell mit den bekannten Ungenauigkeiten beruhen. Diese Daten wurden auch überwiegend zur Anwendung der Mindestanforderungen angewandt. Zur Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien kamen im überwiegenden Maße Referenzdatensätze zum Einsatz. Der Kenntnisstand ist daher von dem, der einer detaillierteren Bewertung als

#### **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

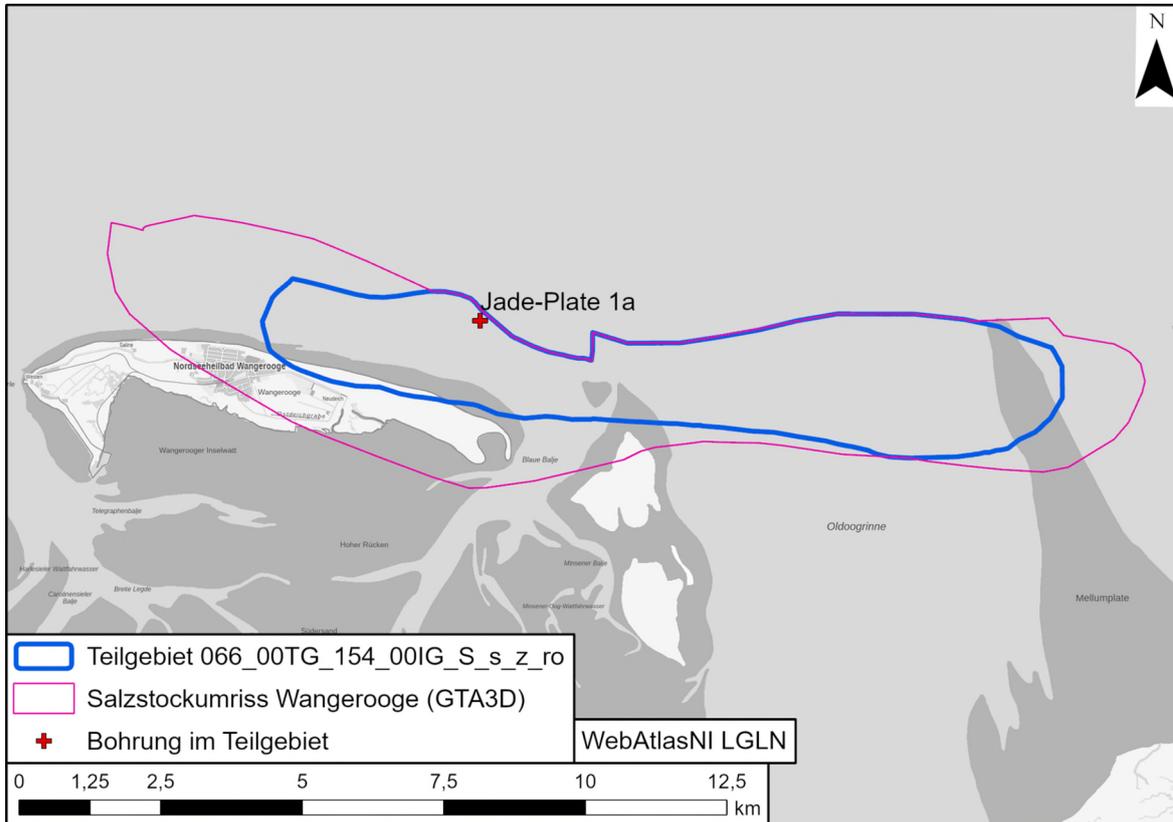
potentieller Standort eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle zugrunde zu legen wäre, heute noch weit entfernt.

Dem von der BGE im „Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 2020a) ausgewiesenen Teilgebiet 042\_00TG\_071\_00IG\_S\_s\_z, welches sich im Salzstock Arngast befindet, kann in der jetzigen Phase der Standortsuche eine „Nichteignung“ nicht attestiert werden. In den kommenden Phasen des Standortauswahlverfahrens werden zunehmend detailliertere Daten (vor allem ortsspezifische Daten) zur Verfügung stehen, wodurch das Teilgebiet unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien erneut einer Bewertung unterzogen werden könnte. Mit geologischen Daten oder geologischen Sachverhalten gestützte Argumente, die eine Eignung des Teilgebietes in der jetzigen Phase schon grundlegend ausschließen würden, sehen wir nicht.

4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

4.6 Teilgebiet 066\_00TG\_154\_00IG\_S\_s\_z-ro (Permische Steinsalz im Salzstock Wangerooge)

4.6.1 Darstellung des Teilgebiets



Charakteristika des Teilgebiets <sup>1</sup> 066_00TG_154_00IG_S_s_z-ro	
IG <sup>2</sup> -Kennung	154_00IG_S_s_z-ro
Wirtsgesteinstyp und Konfiguration	Steinsalz in steiler Lagerung
Geographische Verortung	Das Teilgebiet befindet sich im Norden des Bundeslandes Niedersachsen, nördlich angrenzend an die Insel Wangerooge unterhalb der Nordsee.
Gesamtfläche	25 Quadratkilometer
geologische Charakteristika	Das Teilgebiet befindet sich im Zechstein / Rotliegend der Salzstruktur Wangerooge und weist eine Mächtigkeit von 490 Metern auf. Das Teilgebiet befindet sich in einer Teufenlage von 1 010 Metern bis 1 500 Metern unterhalb der Geländeoberkante.

Abbildung 19: Übersichtskarte und Kurzbeschreibung des Teilgebiets 066\_00TG\_154\_00IG\_S\_s\_z-ro (BGE 2020a (Tabelle) und BGE 2020b (Grundlage für Karte))

**4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

Das Teilgebiet 066\_00TG\_154\_00IG\_S\_s\_z-ro befindet sich größtenteils unterhalb der südlichen Nordsee vor der Nordostküste der Insel Wangerooge. Es hat eine Fläche von 25 km<sup>2</sup> und liegt in Tiefen zwischen ca. 1.010 m und 1.500 m innerhalb der aus steil stehenden Schichten des Rotliegendensalinars (Unteres Perm) und Zechsteinsalinars (Oberes Perm) aufgebauten Salzstruktur Wangerooge. Die Lage des Teilgebiets und der Umriss der Salzstruktur Wangerooge sind in Abbildung 19 dargestellt.

Der Salzstock Wangerooge hat eine Längserstreckung von ca. 18 km etwa in Richtung West-Ost und eine Breite von bis zu 3 km. Die Salzstruktur hat eine vertikale Erstreckung von >3.700 m und reicht an ihrer höchsten Erhebung (Kulminationspunkt) in ihrem östlichen Abschnitt bis auf ca. 710 m unter GOK. In seinem zentralen Bereich liegt das Dach des Salzstocks bei ca. 1.060 m unter GOK und der westliche Abschnitt reicht bis auf ca. 840 m unter GOK.

Die Salzstruktur Wangerooge ist zusammen mit dem ausgewiesenen Teilgebiet in Abbildung 20 als dreidimensionaler Körper dargestellt. Das Teilgebiet befindet sich im oberen Bereich des Salzstocks. Zwischen der Oberkante des Teilgebiets und dem Salzstockdach befindet sich die nach § 23 StandAG geforderte Salzscheibe von 300 m. Da das Salzstockdach keine ebene Fläche ist, weist auch die Oberkante des Teilgebiets dadurch eine wechselnde Tiefenlagen im Bezug zur Erdoberfläche auf.

Mit der Festlegung einer sogenannten maximalen Suchteufe (maximale Tiefe eines Teilgebiets) von 1.500 m unter GOK (BGE 2020a) liegt auch die Basis des Teilgebiets durchgängig in dieser Tiefe. Daraus ergibt sich auch eine wechselnde Mächtigkeit (Abstand zwischen Basis und Top) des Teilgebiets wie aus Abbildung 20 ersichtlich ist. Im Osten ist das Teilgebiet maximal 500 m mächtig, im zentralen Bereich ungefähr 140 m und im westlichen Abschnitt kann eine Mächtigkeit von bis zu 360 m ermittelt werden. Der Rand des Teilgebiets entspricht einer Mindestmächtigkeit von 100 m (Mindestanforderung nach § 23 StandAG).



**Abbildung 20: Perspektivische Darstellung des Teilgebiets 066\_00TG\_154\_00IG\_S\_s\_z-ro im Salzstock Wangerooge (Basis GTA3D, Baldschuhn et al. 2001)**

Der Salzstock Wangerooge bzw. wie erläutert ein bestimmter Bereich der Salzstruktur ist als Teilgebiet ausgewiesen, da keines der in § 22 StandAG genannten Ausschlusskriterien erfüllt ist, alle in § 23 StandAG genannten Mindestanforderungen zutreffen und nach Anwendung der in § 24 und den Anlagen 1 bis 11 im StandAG aufgeführten geowissenschaftlichen Abwägungskriterien eine günstige geologische Gesamtsituation für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen.

Die Vorgehensweise der BGE bei der Ausweisung des Teilgebiets 066\_00TG\_154\_00IG\_S\_s\_z-ro wird im Folgenden auf Ihre Plausibilität überprüft.

#### 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

##### 4.6.2 Ausschlusskriterien (nach § 22 StandAG)

Es werden diejenigen Kriterien aufgeführt und diskutiert, die für das Teilgebiet von Belang sind. Die Ausschlusskriterien großräumige Vertikalbewegungen, seismische sowie vulkanische Aktivität und Grundwasseralter gehören nicht dazu. Siehe hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 3.3.

###### 4.6.2.1 Aktive Störungszonen

###### Tektonische Störungen:

Aktive Störungszonen beziehen sich im Fall von Salzstöcken auf die im Deckgebirge über diesen Salzstrukturen vorkommenden Scheitelstörungen. Mit Hilfe der Modelldaten des GTA3D (Baldschuhn et al. 2001) können Scheitelstörungen sowie eine große Randstörung an der Nordseite der Salzstruktur sowie weitere Störungsflächen westlich der Struktur identifiziert werden. Die BGE hat keine Störungszonen ausgeschlossen. Nach Auswertung der 3D-Daten liegen die Störungen im Umfeld der Salzstocks Wangerooge unterhalb der Basis Rupel und sind demnach älter als 34 Millionen Jahre womit sie nicht als aktive Störungszonen eingestuft werden können (siehe § 22 StandAG). Andere von der BGE aufgeführte Quellen zu Datensätzen mit Störungsinformationen konnten mangels Zugang nicht geprüft werden.

###### Atektionische bzw. aseismische Vorgänge:

Atektionische Vorgänge können sich im Bereich des Caprocks bzw. am Salzspiegel eines Salzstocks ereignen. Die hierfür nötigen Lösungsprozesse im Steinsalz setzen das Vorhandensein von Grundwasser voraus. Aufgrund der großen Tiefe des Caprocks bzw. Salzspiegels der Struktur Wangerooge ist das Vorhandensein von Grundwasser mit nennenswertem Lösepotenzial unwahrscheinlich. Siehe hierzu auch die weiteren Ausführungen im Kapitel 4.4.2.1. Im Übrigen soll die nach § 23 StandAG geforderte Salzscheibe von 300 m zwischen Oberkante Teilgebiet und Salzstockdach als Schutz vor Wasserzutritt dienen.

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

Das Teilgebiet befindet sich größtenteils unterhalb der südlichen Nordsee. In der Umgebung des Teilgebiets befinden sich weder ein Tagebau noch ein Bergwerk, die einen Einfluss auf die Eignung eines potentiellen Endlagerbereichs haben könnten. Mit Hilfe des NIBIS-Kartenservers kann eine Tiefbohrung (Jade-Plate 1) lokalisiert werden, die den Salzstock im nördlichen Bereich des Teilgebiets durchörtert. Die Bohrung ist in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Tiefbohrung auf dem Salzstock Wangerooge (NIBIS® Kartenserver (2021b))

Bohrungsname	Top (Caprock) [m u. GOK]	Salzstock Basis Caprock (Salzspiegel) [m u. GOK]	Endteufe [m u. GOK]	Bohrung
Jade-Plate 1	924,7	994,7	2.488,43	

##### 4.6.3 Mindestanforderungen (nach § 23 StandAG)

###### 4.6.3.1 Gebirgsdurchlässigkeit

Die BGE nimmt für das Wirtsgestein Steinsalz grundsätzlich an, dass aufgrund dessen bekannter Eigenschaften die Gebirgsdurchlässigkeit ausreichend gering ist und die nach § 23 StandAG gesetzte Forderung von weniger als  $10^{-10}$  m/s erfüllt. Siehe hierzu auch die weiteren Ausführungen im Kapitel 4.4.3.1.

## 4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund

### 4.6.3.2 Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Die BGE nimmt für das Wirtsgestein Steinsalz grundsätzlich an, dass aufgrund dessen bekannter Eigenschaften die Gebirgsdurchlässigkeit ausreichend gering ist und die nach § 23 StandAG gesetzte Forderung von weniger als  $10^{-10}$  m/s erfüllt. Siehe hierzu auch die weiteren Ausführungen im Kapitel 4.4.3.1.

Der Salzstock Wangerooge ist ein sogenannter Doppelsalinar, da sich die Salzstruktur sowohl aus Zechsteinsalinar als auch aus dem älteren Rotliegendesalinar zusammensetzt. Der schematische Aufbau eines Doppelsalinars ist in Abbildung 13 unter Internbautyp 5 dargestellt. Wie im Projekt InSpEE (Donadei et al. 2016) erarbeitet wurde, liegen in Doppelsalinaren die Salzgesteinsfolgen des Rotliegendesalinars im zentralen Strukturbereich, die Salzgesteine des Zechsteinsalinars konzentrieren sich hingegen meist an den Rändern. Der Anteil der beiden Salinartypen im Doppelsalinar liegt in etwa bei jeweils 50 %.

Das Rotliegendesalinar ist ein Mischgestein aus halitischen und siliziklastisch-karbonatischen Phasen, die zwischen 1 Gew.-% und 56 Gew.-% am Gesteinsanteil einnehmen können (Röhling et al. 2020). Damit weicht die Zusammensetzung des Rotliegendesalinars ab von der des Zechsteins. Die für das Wirtsgestein Steinsalz verwendeten Gebirgsdurchlässigkeitswerte beziehen sich auf Salzgesteine aus dem Zechsteinsalinar. Untersuchungen zur Gebirgsdurchlässigkeit des Rotliegendesalinars sind kaum vorhanden. Es ist bekannt, dass im Rahmen von gebirgsmechanischen Untersuchungen für einen Kavernenspeicher in einem Doppelsalinar Gebirgsdurchlässigkeitswerte abgeleitet wurden. Die Ergebnisse weichen von denen ab, die an Probenmaterial an Salzgestein aus dem Zechsteinsalinar erfolgten. Sie liegen dennoch deutlich unterhalb der Mindestforderung von  $10^{-10}$  m/s.

### 4.6.3.3 Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Nach § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG muss die Oberfläche eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mindestens 300 Meter unter der Geländeoberfläche liegen. Weiterhin heißt es: „*soll ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich im Gesteinstyp Steinsalz in steiler Lagerung ausgewiesen werden, so muss die Salzscheibe über dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich mindestens 300 Meter mächtig sein*“.

Der Salzstock Wangerooge befindet sich mindestens 710 m unter der Geländeoberkante. Damit ist die erste Bedingung erfüllt. Für die Ausweisung des Teilgebiets 066\_00TG\_154\_00IG\_S\_s\_z-ro wurde eine Salzscheibe von 300 m zwischen Salzstockdach und Oberkante des Teilgebiets berücksichtigt (Abbildung 20). Der Caprock der Salzstruktur Wangerooge weist im Bereich der Bohrung Jade-Plate 1 eine Mächtigkeit von 70 m auf. Der Caprock besteht nicht aus Steinsalz, sondern setzt sich vornehmlich aus Gesteinen wie Anhydrit, Gips und Tonstein zusammen. Es ist nach StandAG nicht definiert, ob der Caprock in die Salzscheibe miteinbezogen werden kann. Aufgrund der geringen Kenntnisse zur Mächtigkeit des Caprocks bei den meisten Salzstrukturen hat die BGE den Caprock in die Salzscheibe mit integriert.

Bei Nichteinbezug des Caprocks der Salzstruktur Wangerooge in die Salzscheibe, läge die Oberkante des Teilgebiets um 70 m tiefer. Dadurch reduziert sich die Mächtigkeit im zentralen Bereich des Teilgebiets von 140 m auf 70 m, womit die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs an dieser Stelle des Teilgebiets nicht mehr erfüllt wäre.

Im weiteren Verlauf des Standortauswahlverfahrens sollte geklärt werden, ob der Caprock einer Salzstruktur einen Teil der Salzscheibe darstellt.

### 4.6.3.4 Fläche des Endlagers

Das Teilgebiet 066\_00TG\_154\_00IG\_S\_s\_z-ro befindet sich innerhalb einer Doppelsalinarstruktur und kann demnach Bereiche sowohl mit Zechsteinsalinar als auch mit Rotliegendesalinar aufweisen. Es gibt viele Bergwerke in Norddeutschland, die innerhalb des Zechsteinsalinars angelegt wurden. Es gibt bislang keine Bergwerke im Rotliegendesalinar.

#### **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

In der derzeitigen Phase des Standortauswahlverfahren ist das Vorgehen der BGE bei der Anwendung der Mindestanforderung jedoch nachvollziehbar. Die ausgewiesene Fläche von 25 km<sup>2</sup> für das Teilgebiet erfüllt die Bedingung von 3 km<sup>2</sup> für ein Endlager.

##### **4.6.3.5 Erhalt der Barrierewirkung**

Zur Definition siehe Kapitel 4.4.3.5. Die BGE bemerkt hierzu (BGE 2020c): „Soweit klare Erkenntnisse oder Daten vorliegen, dass der Erhalt der Barrierewirkung zweifelhaft erscheint, wurde die Mindestanforderung als nicht erfüllt angesehen. In allen anderen Fällen wird bis zum Vorliegen entsprechender Daten diese Mindestanforderung als erfüllt angesehen.“ Aus den wenigen zur Verfügung stehenden Daten zum Salzstock Wangerooge können keine Erkenntnisse abgeleitet, die den Erhalt der Barrierewirkung anzweifeln. Die Mindestanforderung kann somit als erfüllt angesehen werden.

##### **4.6.4 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (nach § 24 StandAG)**

Die BGE hat eine individuelle Bewertung für die Kriterien 2 (Konfiguration der Gesteinskörper), 3 (räumliche Charakterisierbarkeit) und 11 (Deckgebirge) anhand der vorliegenden gebietsspezifischen Daten vorgenommen. Für die anderen acht Kriterien (1, 4 bis 10) wurden die wirtsgesteinsspezifischen Referenzdatensätze (Referenzdatensatz Steinsalz (BGE 2020d)) herangezogen.

Die Plausibilitätsprüfung der Vorgehensweise der BGE bei der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ist unter Berücksichtigung der Stellungnahme des LBEG und der Anmerkungen der BGR erfolgt. Das Resultat der Bewertung für das Teilgebiet 066\_00TG\_154\_00IG\_S\_s\_z-ro ist identisch mit dem für das Teilgebiet im Salzstock Berdum-Jever. Für die Darstellung der Bewertungsergebnisse wird daher auf die Abbildung 15 verwiesen. Diese basiert auf der Darstellung der Bewertungsergebnisse im Zwischenbericht Teilgebiete.

Die Referenzdatensätze basieren soweit feststellbar alle auf Daten aus dem Zechsteinsalinar.

Aufgrund weitgehender Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Teilgebieten in den Salzstöcken Berdum-Jever und Wangerooge wird auf die Ausführungen in Kapitel 4.4.4 verwiesen.

##### **4.6.5 Fazit der Plausibilitätsprüfung**

Im Gegensatz zu den Salzstöcken Berdum-Jever und Arngast wird der Salzstock Wangerooge zusätzlich aus Rotliegendesalinar aufgebaut. Der Erkundungsgrad des Salzstocks Wangerooge ist im Vergleich zu dem des Salzstocks Berdum-Jever als mäßig bis schlecht zu bezeichnen. Es ist lediglich eine Tiefbohrung bekannt, die die Schichtenfolgen des Salzstocks im nördlichen Bereich aufschließen. Der Internbau der Struktur ist daraus nicht ableitbar. Die Tiefenlage und Ausdehnung der Salzstruktur und damit auch die des Teilgebiets basieren weitgehend auf Daten aus dem geologischen 3D-Modell mit den bekannten Ungenauigkeiten. Diese Daten wurden auch überwiegend zur Anwendung der Mindestanforderungen angewandt. Zur Bewertung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien kamen im überwiegenden Maße Steinsalz-Referenzdatensätze zum Einsatz, die jedoch keine Datensätze zum Rotliegendesalinar aufweisen. Der Kenntnisstand ist daher von dem, der einer detaillierteren Bewertung als potentieller Standort eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle zugrunde zu legen wäre, heute noch weit entfernt.

Dem von der BGE im „Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 2020a) ausgewiesenen Teilgebiet 066\_00TG\_154\_00IG\_S\_s\_z-ro, welches sich im Salzstock Wangerooge befindet, kann in der jetzigen Phase der Standortsuche eine „Nichteignung“ nicht attestiert werden. In den kommenden Phasen des Standortauswahlverfahrens werden zunehmend detailliertere Daten (vor allem ortsspezifische Daten, die insbesondere den Kenntnisstand zum Rotliegendesalinar erweitern) zur Verfügung stehen, wodurch das Teilgebiet unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien erneut einer Bewertung unterzogen werden könnte. Mit geologischen Daten oder

#### **4 Erläuterung der Teilgebiete Friesland und Wittmund**

geologischen Sachverhalten gestützte Argumente, die eine Eignung des Teilgebietes in der jetzigen Phase schon grundlegend ausschließen würden, sehen wir nicht. Die Datenlage zum Teilgebiet ist zwar gering, die wenigen zur Verfügung stehenden Kenntnisse zum Rotliegendesalinar, die aus anderen Regionen Norddeutschlands stammen, sprechen derzeit nicht gegen eine Eignung.

## 5 Beantwortung spezieller Fragestellungen

### 5 Beantwortung spezieller Fragestellungen

In der Leistungsbeschreibung des Landkreises Friesland sind zusätzliche Frage-/Aufgabenstellungen aufgeführt. Diese werden im Folgenden beantwortet.

#### 5.1 Teilgebiete Tongesteine – Flächengröße und Datengrundlage

Die Frage in der Leistungsbeschreibung lautet: *„Kann man die großzügige Tonkulisse und die allgemeine, auf einem Referenzdatensatz basierende Annahmen für diese Tongebiete reduzieren? Sind Detaildaten vorhanden, die auf die einzelnen Teilgebiete in den Landkreisen Wittmund und Friesland anwendbar sind?“*

In mehr als 160 Tiefbohrungen innerhalb der Landkreise Friesland und Wittmund lassen sich Tongestein führende Schichtenfolgen des Alttertiärs (Oberes Paläogen bis Unteres Eozän) mit Mächtigkeiten von über 200 m und teils deutlich über 300 m nachweisen. Davon befinden sich etwa 120 Bohrungen im Bereich des Salzstocks Etzel und liegen wenige Hunderte Meter auseinander. Die verbleibenden Bohrungen verteilen sich über die beiden Landkreise mit Abständen von teils mehreren Kilometern untereinander. Kenntnisse zum geologischen Aufbau der Bereiche, die nicht mittels Bohrungen erkundet sind, können aus 3D-Untergrundmodellen gezogen werden. Diese basieren auf Ergebnissen aus geophysikalischen Untersuchungen von der Oberfläche aus in Abgleich mit Bohrungsdaten. Die vorhandenen Daten belegen das nahezu flächendeckende Vorkommen der als Teilgebiet ausgewiesenen tertiären Tongesteine in den Landkreisen Friesland und Wittmund. Das Teilgebiet lässt sich daher zum jetzigen Kenntnisstand nicht reduzieren.

Die in den Landkreisen abgeteuften Tiefbohrungen hatten soweit bekannt das Ziel der Erkundung von Kohlenwasserstoffen, Erzen und Salz oder der Errichtung von Speicherkavernen. Das Tertiär war dabei nicht Ziel der Bohrungen. Die Schichtenfolgen des Tertiärs und auch die der anderen stratigraphischen Einheiten wurden in der Regel durchörtert und sind meist auch nicht näher untersucht. Nach bisherigem Kenntnisstand liegen zu den in den beiden Landkreisen vorkommenden tertiären Tongesteinen keine Daten vor, die für die Beantwortung von endlagerrelevanten Fragestellungen herangezogen werden könnten. Damit ist auch keine Abwägung mit den für Tongestein allgemein zur Verfügung stehenden Referenzdaten möglich. Der geringe Kenntnisstand zu den alttertiären Tongesteinen in den Landkreisen Friesland und Wittmund lässt derzeit eine Aussage zur Nichteignung für die Anlage eines Endlagers nicht zu.

#### 5.2 Plausibilität Anwendung des gleichen Referenzdatensatzes für Teilgebiete Prätertiär und Tertiär

Die Frage in der Leistungsbeschreibung lautet: *„Der Referenzdatensatz Prätertiär und Tertiär sind weitestgehend gleich angewendet. Es ist keine Differenzierung erfolgt. Inwiefern erscheint dieses Vorgehen aus fachlicher Sicht plausibel?“*

Sowohl das LBEG als auch die BGR haben sich kritisch zur fehlenden Differenzierung bei der Anwendung der Referenzdatensätze für tertiäre bzw. prätertiäre Tongesteine geäußert. In seiner Stellungnahme (LBEG 2021) zum Zwischenbericht Teilgebiete hält das LBEG die *„Anwendung eines eigenen Referenzdatensatzes [...] für die tertiären Tongesteine [für] unbedingt erforderlich.“* Die BGR sieht in ihren Anmerkungen (BGR 2021a) die Möglichkeit, dass *„eine differenzierte Betrachtung [zwischen tertiärem und prä-tertiärem Ton] ggf. bei einigen Kriterien und Indikatoren zu einer anderen Bewertung geführt [hätte]“*.

Grundlegend kann festgehalten werden, dass die Differenzen zwischen tertiären und prätertiären Tongesteinen infolge unterschiedlicher Bildungsbedingungen, mineralogischer Zusammensetzung, Tiefenlagen und Verfestigungsgraden in unterschiedliche Eigenschaften in Bezug auf Eignung als Wirtsgestein münden.

## 5 Beantwortung spezieller Fragestellungen

### 5.3 Einfluss von Störungszonen in Teilgebieten auf potentielle Eignung als Endlagerstätte

Die Frage in der Leistungsbeschreibung lautet: „Inwiefern können für die einzelnen Teilgebiete (aktive) Störungszonen identifiziert werden? Sofern aktive Störungszonen existieren - welchen Einfluss haben diese auf eine potentielle Eignung als Endlagerstätte?“

Störungszonen aus unterschiedlichen geologischen Epochen sind in Deutschland weit verbreitet. Einige dieser Störungszonen können markante Strukturen an der Erdoberfläche bilden. Manche Mittelgebirge in Deutschland verdanken ihre Entstehung und heutige Präsenz großen Störungszonen, an denen ganze Krustenblöcke seitlich oder vertikal über große Distanzen bewegt wurden. Dennoch sind sie meist nicht mehr aktiv.

An aktiven Störungszonen können auch in der Gegenwart oder zukünftig noch Bewegungen ablaufen, wo Gesteinsverbände gegeneinander versetzt werden. Das StandAG versteht unter aktiven Störungszone solche Gebiete, in denen nachweislich oder mit großer Wahrscheinlichkeit im Zeitraum Rupel bis heute, also innerhalb der letzten 34 Millionen Jahre, Bewegungen nachgewiesen werden können.

Aktive Störungszonen stellen potentielle Wegsamkeiten für Wasser und Gase dar. Radionuklide könnten aus einem Endlager entweichen oder Wasser könnte in den Endlagerbereich eindringen. Es muss insgesamt von unberechenbaren Auswirkungen auf die Barriereeigenschaft des Wirtsgesteins ausgegangen werden.

Die BGE hat anhand der ihr zur Verfügung stehenden Daten aktive Störungszonen auch im Bereich der Landkreise Friesland und Wittmund auskartiert. Nach Aussage der BGE (BGE 2020g) „handelt es sich bei diesen Daten um sogenannte „Störungsspuren“ – Linien, die den Verlauf einer Störung an der Erdoberfläche zeigen. Die räumliche Erstreckung von Störungszonen im Untergrund, z. B. der Fallwinkel oder die maximale Tiefe, liegt der BGE für weniger als 1 % der Störungszonen vor.“ Das LBEG bemerkt in seiner Stellungnahme (LBEG 2021) dass „davon auszugehen [ist], dass Störungen unter der weiträumigen quaritären Überdeckung Niedersachsens, die aus anderen Quellen als den von der BGE bisher verwendeten Unterlagen bekannt sind oder ermittelt werden können, nicht erfasst wurden.“

Es ist davon auszugehen, dass die meisten Störungen nur über Erkundungsmethoden mittels geophysikalischer Verfahren (z.B. Seismik), Bohrungen oder innerhalb von Bergwerken sicher erfasst werden können.

### 5.4 Abstände zu ober- und unterirdischen Schutzgütern – Zeitraum der Betrachtung im Verfahrensverlauf

Die Frage in der Leistungsbeschreibung lautet: „Sind die Abstände zu Schutzgütern oberirdisch und unterirdisch dieselben? Zu welchem Zeitpunkt des Verfahrens sollte bestmöglich darauf eingegangen werden?“

Hier werden gewissermaßen Fragen der Raumordnung angesprochen, also die Koordination und Regelung unterschiedlicher bestehender oder geplanter Vorhaben obertage. Andererseits steht die Frage einer Nutzungskonkurrenz im Raum, die auch den Bereich untertage im Sinne von Abbau von Rohstoffen, Geothermie oder anderes mit einbezieht. Schutzgüter können beispielsweise bedeutende Kulturgüter, Naturschutzgebiete aber auch natürlichen Ressourcen wie Grundwasservorkommen, die einem besonders starken gesetzlichen Schutz unterliegen, sein.

## 5 Beantwortung spezieller Fragestellungen

Das StandAG sieht hierfür die Anwendung der sogenannten planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien vor. Diese werden in drei Gewichtungsgruppen unterteilt, von denen die Gewichtungsgruppe 1 am stärksten und die Gewichtungsgruppe 3 mit der geringsten Gewichtung zu werten ist. Beispielsweise zählen zur Gewichtungsgruppe 1 Wohngebiete und oberflächennahe Grundwasservorkommen. Die Gewichtungsgruppe 2 beinhaltet u.a. Naturschutzgebiete und bedeutende Kulturgüter. Der Abbau von Bodenschätzen oder eine anderweitige Nutzung des geologischen Untergrunds wird anhand der Gewichtungsgruppe 3 bewertet. Laut BGE (BGE 2020a) erfolgt die Anwendung der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien zum ersten Mal in Schritt 2 der Phase I zusammen mit der Ermittlung von Standortregionen für die übertägige Erkundung gemäß § 14 StandAG und der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß § 27 StandAG für jedes Teilgebiet, „*bevor durch die erneute Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien günstige Standortregionen ermittelt werden. Die Anwendung der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien dient vorrangig der Einengung von großen, potentiell für ein Endlager geeigneten Gebieten. Sie können auch für einen Vergleich zwischen Gebieten herangezogen werden, die unter Sicherheitsaspekten als gleichwertig zu betrachten sind (§ 25 S. 1 und 2 StandAG).*“ Die Anwendung der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien erfolgt in jeder weiteren Phase des Standortauswahlverfahrens erneut zusammen mit den Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien.

Das StandAG gibt lediglich Abstände zu vorhandener bebauter Fläche von Wohngebieten und Mischgebieten vor. Weitere Abstände benennt sie nicht.

Die Entscheidung für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle sollte in erster Hinsicht nach geologischen Kriterien fallen. Ein zu früher Ausschluss von potentiell geeigneten Standorten aufgrund der Anwendung der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien könnte für das Verfahren der Standortauswahl hinderlich sein.

In Hinblick auf ober- und untertägige Planungsaspekte stellt der Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd 2002) fest: „*Bei jeder raumbedeutsamen Maßnahme – und dazu gehört auch die Endlagerung – kommt es mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Konflikten mit bestehenden oder geplanten Flächennutzungen oder Schutzgebietsausweisungen. In der Regel wird sich diese Konfliktsituation auf die für die oberirdischen Einrichtungen des Endlagers benötigten Flächen beschränken, da sich die meisten raumordnerischen Flächen bzw. Schutzgebietsausweisungen auf die Nutzung der Erdoberfläche selbst oder oberflächennaher Ressourcen bzw. Schutzgüter, einschließlich Oberflächenwasser und Grundwasser, beziehen.*“

Die Kommission Lagerung hochradioaktiver Abfälle (Grunwald et al. 2016) bemerkt zur Thematik, dass „*vom Einlagerungsbereich selber, der in mehreren hundert Metern Tiefe liegt, keine Wirkung auf die oberhalb davon an der Tagesoberfläche vorhandenen Nutzungen ausgeht, so dass sich in dieser Hinsicht kein Nutzungskonflikt beispielsweise mit Siedlungsflächen, Naturschutzgebieten oder forst- und landwirtschaftlichen Nutzungen ergibt.*“

### 5.5 Bewertung Einfluss des Küstenraums und mögliche Transgressionen auf Eigenschaften der Wirtsgesteine?

Die Frage in der Leistungsbeschreibung lautet: „*Im Küstenraum, und insbesondere auch in den Marschgebieten ist eine marine Transgression – insbesondere mit Blick auf ein Betrachtungszeitraum von 1 Million Jahren – nicht auszuschließen. Inwiefern wäre durch die damit einhergehenden Prozesse ein Einfluss auf die für eine Endlagerstätte relevanten Eigenschaften der potentiellen Wirtsgesteine zu erwarten?*“

Aufgrund der Entwicklung des Klimas der letzten Millionen Jahre ist für den Ablauf der kommenden 1 Million Jahre mit ca. zehn weiteren Kalt- und Warmzeiten und den damit verbundenen Umgestaltungen des Untergrunds zu rechnen. Warmzeitliche Prozesse können zu einer Sedimentation mit einer entsprechenden Erhöhung des Deckgebirges führen, wenn es zu einer Überflutung bestehender Landmassen kommt.

## **5 Beantwortung spezieller Fragestellungen**

Während Kaltzeiten werden insbesondere Gletscherüberdeckungen und die damit verbundenen Prozesse zu Umgestaltungen führen. Die tieferliegenden Schichten des Untergrunds werden von den ablaufenden Prozessen in so geringem Maße erreicht, dass sie im Betrachtungszeitraum fast unverändert fortbestehen werden. Die einzige Ausnahme stellt dabei die Rinnenbildung dar, die durch Gletschereis und die abtragende Wirkung der Schmelzwässer verursacht wird und die in der Vergangenheit vereinzelt das Tiefenniveau von 500 m unter NN unterschritten hat (Mrugalla 2014).

Bei zukünftigen warmzeitlichen Transgressionen wird im norddeutschen Raum eine flache Meeresbedeckung erwartet, die nur geringmächtige Sedimentablagerungen ermöglicht. Die Wassersäule, die in einem solchen Flachmeer zusätzlich auf den Untergrund einwirkt, erzeugt über die Auflast nur geringe Spannungsänderungen. Barrieregesteine ab Tiefen von >300 m unter GOK werden von den erwarteten Spannungsänderungen nicht beeinträchtigt. Die Barriereeigenschaften eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs blieben somit unverletzt. In Folge der anthropogenen Klimaveränderungen könnte der Meeresspiegel bis zu einem Betrag von 75 m ansteigen. Der Anstieg würde langsam über einen längeren Zeitraum erfolgen, so dass keine plötzliche Auflaständerung entstehen. Die Spannungsänderungen im Untergrund wären dann vernachlässigbar (Mrugalla 2020).

Durch die Wassersäule gebe es darüber hinaus Einflüsse auf die hydrogeologischen Verhältnisse im Untergrund. U.a. käme es zu Änderungen im Grundwasserchemismus. Infolge dieser Veränderungen werden jedoch kaum Einflüsse auf Barrieregesteine in größerer Tiefe erwartet, aufgrund der dort weit verbreiteten rezent vorkommenden hochsalinaren Wässer (Mrugalla 2020).

## 6 Zusammenfassung und Ausblick zum Standortauswahlverfahren

### 6 Zusammenfassung und Ausblick zum Standortauswahlverfahren

Die Methodik der BGE zur Ausweisung der Teilgebiete in den Landkreisen Friesland und Wittmund im Abgleich mit den Vorgaben des StandAG kann generell nachvollzogen werden. Die Anwendung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien basiert im überwiegenden Maße auf Literaturdaten, auf einem geologischen 3D-Untergrundmodell und vorwiegend auf Referenzdaten, die keine ortsspezifischen Angaben enthalten. Die Größe der Teilgebiete spiegelt im Wesentlichen die aktuelle geologische Datenlage wider.

Anhand von Tiefbohrungen, die die Teilgebiete in den beiden Landkreisen aufschließen, konnten die im Zwischenbericht Teilgebiete aufgeführten Charakteristika der fünf Teilgebiete in Hinblick auf Tiefenlage und Mächtigkeit sowie das Vorkommen der Wirtsgesteine Salzgestein und Tongestein größtenteils bestätigt werden.

Auf Basis der vorliegenden geologischen Daten kann in der jetzigen Phase der Standortsuche für keines der fünf in den Landkreisen Friesland und Wittmund ausgewiesenen Teilgebiete eine Nichteignung für ein potentiell Endlager attestiert werden.

In der jetzigen Phase 1 sammelte die BGE eine Vielzahl an Daten, um diese nach gesetzlich festgelegten Kriterien auszuwerten. Der Zwischenbericht Teilgebiete lieferte das Ergebnis zum Stand dieser Arbeiten und schaffte damit eine einheitliche Informationsgrundlage für umfangreiche Diskussionen. Die im September 2020 veröffentlichten Ergebnisse des Zwischenberichts Teilgebiete wurden in drei Fachkonferenzen in der Zeit von Februar bis August 2021 mit der Öffentlichkeit diskutiert. Die Ergebnisse der Fachkonferenzen fließen in die weitere Standortauswahl ein.

Am Ende der Phase 1 wird die BGE Vorschläge für überfällig zu erkundende Standortregionen an das BASE zur Prüfung übermitteln. Der Gesetzgeber wird daraufhin entscheiden, welche dieser Vorschläge weiter erkundet werden sollen.

In der zweiten Phase erfolgt die überfällige Erkundung vor Ort. Hierfür wird der Untergrund untersucht, Bohrungen abgeteuft und geophysikalische Messungen durchgeführt.

In der dritten Phase werden an mindestens zwei Standorten Erkundungsbergwerke errichtet. Mit umfangreichen Untersuchungsprogrammen wird das Gebiet erkundet. Basierend auf den Ergebnissen wird ein bestmöglicher Endlagerstandort vom BASE vorgeschlagen, über welchen abschließend vom Bundestag per Gesetz entschieden wird.

Das StandAG gibt keinen genauen Zeitplan für den Ablauf des gesamten Standortauswahlverfahrens vor. In § 1 Absatz 5 Satz 2 StandAG wird lediglich die „Festlegung des Standortes für das Jahr 2031 angestrebt“. Auch das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE), welches die Suche nach einem Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland überwacht und beaufsichtigt, als auch das Nationale Begleitgremium, welches sich als unabhängiges Gremium mit sämtlichen Fragen des Standortauswahlverfahrens befasst und Stellungnahmen zum Verfahren abgibt, legen keine Termine für das Standortauswahlverfahren fest. Da zwischen den einzelnen Phasen des Standortauswahlverfahrens jeweils der Bundestag mitentscheidet, richtet sich der Zeitplan auch nach der jeweiligen Bestimmung per Bundesgesetz.

Laut Angaben des Nationalen Begleitgremiums ist der Bau eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle ab dem Jahr 2050 geplant.

## Literaturverzeichnis

### Literaturverzeichnis

- AkEnd (2002): *Abschlussbericht Auswahlverfahren für Endlagerstandorte Empfehlungen des AkEnd Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte*. Köln.  
<https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/berichte/ne/langfassung-abschlussbericht-akend.html>
- Baldschuhn, R., Binot, F., Fleig, S. & Kockel, F. (2001): *Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor. Strukturen, Strukturentwicklung, Paläogeographie*.- Geologisches Jahrbuch, Bd. A 153, S. 88.
- BGE (2020a): *Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE).  
<https://www.bge.de/de/endlagersuche/wesentliche-unterlagen/zwischenbericht-teilgebiete/>
- BGE (2020b): *Shape-Dateien zu den Teilgebieten gemäß §13 StandAG Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0, Lizenztext: https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0*.  
<https://www.bge.de/de/endlagersuche/wesentliche-unterlagen/zwischenbericht-teilgebiete/>
- BGE (2020c): *Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG. Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE).  
<https://www.bge.de/de/endlagersuche/wesentliche-unterlagen/zwischenbericht-teilgebiete/>
- BGE. (2020d): *Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG - Grundlagen*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE).  
<https://www.bge.de/de/endlagersuche/wesentliche-unterlagen/zwischenbericht-teilgebiete/>
- BGE (2020e): *Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG. Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE).  
<https://www.bge.de/de/endlagersuche/wesentliche-unterlagen/zwischenbericht-teilgebiete/>
- BGE (2020f): *Datenbericht Teil 2 von 4 Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG (Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete)*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE).  
<https://www.bge.de/de/endlagersuche/wesentliche-unterlagen/zwischenbericht-teilgebiete/>
- BGE (2020g): *Ausschlusskriterium "Aktive Störungszonen".- Methodensteckbrief für Forum*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE).  
[https://www.bge.de/fileadmin/user\\_upload/Standortsuche/Wesentliche\\_Unterlagen/Methodensteckbriefe\\_fuer\\_Forum/20200325\\_Endfassung\\_Steckbrief\\_Stoerungen.pdf](https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Methodensteckbriefe_fuer_Forum/20200325_Endfassung_Steckbrief_Stoerungen.pdf)
- BGE (2021a): *Fachliche Einordnung zur Stellungnahme des Niedersächsischen Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) vom 02.02.2021 zum Zwischenbericht Teilgebiete der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH vom 28.09.2020. Stand 03.06.2021*.  
[https://www.bge.de/fileadmin/user\\_upload/Standortsuche/Wesentliche\\_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungennahmen/Einordnung\\_zur\\_Stellungnahme\\_LBEG\\_zum\\_ZBTG\\_barrierefrei.pdf](https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungennahmen/Einordnung_zur_Stellungnahme_LBEG_zum_ZBTG_barrierefrei.pdf)
- BGE (2021b): *Fachliche Einordnung der BGE zur Unterlage „Anmerkungen der BGR zum Zwischenbericht Teilgebiete der BGE“ vom 19.01.2021. Stand 02.08.2021*.  
[https://www.bge.de/fileadmin/user\\_upload/Standortsuche/Wesentliche\\_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungennahmen/Einordnung\\_der\\_BGE\\_zu\\_Anmerkungen\\_der\\_BGR\\_zum\\_ZBTG\\_barrierefrei.pdf](https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungennahmen/Einordnung_der_BGE_zu_Anmerkungen_der_BGR_zum_ZBTG_barrierefrei.pdf)
- BGR (2007): *Endlagerung radioaktiver Abfälle: Untersuchung und Bewertung von Regionen mit potenziell geeigneten Wirtsgesteinformationen*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

## Literaturverzeichnis

- [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Charakterisierung\\_Wirtsgesteine\\_geotech\\_Barrieren/4\\_Wirtsgesteinsuebergreifend/2007-04-00\\_BGR\\_wirtsgest\\_dtl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Charakterisierung_Wirtsgesteine_geotech_Barrieren/4_Wirtsgesteinsuebergreifend/2007-04-00_BGR_wirtsgest_dtl.pdf?__blob=publicationFile&v=4)
- BGR (2021a): *Anmerkungen der BGR zum Zwischenbericht Teilgebiete der BGE*. Hannover. [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/BGR\\_Anmerkung/2021\\_01\\_27\\_anmerkungen\\_zum\\_zwischenbericht\\_teilgebiete.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/BGR_Anmerkung/2021_01_27_anmerkungen_zum_zwischenbericht_teilgebiete.pdf?__blob=publicationFile&v=3)
- BGR (2021b): *Bohrpunktkarte Deutschland*. <https://boreholemap.bgr.de/>
- BT-Drs. 18/11398 (2017): *Deutscher Bundestag: Gesetzentwurf zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetze*. <https://dserver.bundestag.de/btd/18/113/1811398.pdf>
- DIN-EN (1998-1/NA:2011-01): *Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter -Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau*. Berlin: Beuth. [https://www.gfz-potsdam.de/din4149\\_erdbebenzonenabfrage/](https://www.gfz-potsdam.de/din4149_erdbebenzonenabfrage/)
- Donadei, S., Fleig, S., Gast, S., von Goerne, G., Hölzner, M., Horváth, P. L., Pollok, L., Riesenberg, C., Rokahr, R. B., Schneider, G.-S. Zachow, R., Zander-Schiebenhöfer, D. & Zapf, D. (2016): InSpEE - Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) – Sachbericht, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung - Energiespeicher-Forschungsinitiative der Bundesregierung. <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT:866755853/Informationssystem-Salzstrukturen-Planungsgrundlagen?cHash=1a7c7558918368a6a58c8f908765346c>
- Dornsiepen, U. (2015): *Atom Müll - wohin?* WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), Darmstadt.
- Grunwald, A., Kleemann, U., & Sailer, M. (2016): *Planungswissenschaftliche Kriterien - Entwurf zur weiteren Diskussion Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-Drs./AG3-84*. [https://www.bundestag.de/endlager-archiv/blob/402764/efc116e7010ead295cad978dc38b4eda/drs\\_084-data.pdf](https://www.bundestag.de/endlager-archiv/blob/402764/efc116e7010ead295cad978dc38b4eda/drs_084-data.pdf)
- Hoth, P., Wirth, H., Reinhold, K., Bräuer, V., Krull, P., & Feldrappe, H. (2007): *Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands. Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen*. 2007: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR. [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Charakterisierung\\_Wirtsgesteine\\_geotech\\_Barrieren/1\\_Tongestein/2007-04-00\\_BGR\\_Tonstudie2007.pdf;jsessionid=41D6A6551E26DD1522564EBA118CFAB3.2\\_cid321?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Charakterisierung_Wirtsgesteine_geotech_Barrieren/1_Tongestein/2007-04-00_BGR_Tonstudie2007.pdf;jsessionid=41D6A6551E26DD1522564EBA118CFAB3.2_cid321?__blob=publicationFile&v=6)
- Jähne-Klingberg, F., Stück, H., Bebiolka, A., Bense, F. & Stark, L. (2019): *Prognosemöglichkeiten von großräumigen Vertikalbewegungen für Deutschland*. Abschlussbericht. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Geowissenschaftlich\\_Ausschlusskriterien/2019\\_10\\_28\\_prognosemoeglichkeiten\\_vertikalbewegungen\\_abschlussbericht.pdf;jsessionid=7687C3AA0AB972A8551F790501E914FC.1\\_cid321?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Geowissenschaftlich_Ausschlusskriterien/2019_10_28_prognosemoeglichkeiten_vertikalbewegungen_abschlussbericht.pdf;jsessionid=7687C3AA0AB972A8551F790501E914FC.1_cid321?__blob=publicationFile&v=5)

## Literaturverzeichnis

- Landesamt für Bergbau Energie und Geologie (LBEG) (2021): *Stellungnahme des Staatlichen Geologischen Dienstes von Niedersachsen. BGE-Zwischenbericht Teilgebiete (28.09.2020)*. Hannover.  
[https://uploads-ssl.webflow.com/5f4796c78ddf417e366f04d7/603673cd07949284e78c6830\\_2021-02-02\\_Stellungnahme\\_LBEG\\_BGE-Zwischenbericht-Teilgebiete.pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/5f4796c78ddf417e366f04d7/603673cd07949284e78c6830_2021-02-02_Stellungnahme_LBEG_BGE-Zwischenbericht-Teilgebiete.pdf)
- Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN) (2021): *Webatlas des Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN)*.  
<https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/>
- May, F. (2019): *Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland*. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).  
[https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Geowissenschaftlich\\_Ausschlusskriterien/2019\\_06\\_30\\_prognose\\_vulkanische\\_aktivitaet\\_kurzbericht.pdf?blob=publicationFile&v=6](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Geowissenschaftlich_Ausschlusskriterien/2019_06_30_prognose_vulkanische_aktivitaet_kurzbericht.pdf?blob=publicationFile&v=6)
- Mrugalla, S. (2014): *F+E Endlagerung Geowissenschaftliche Langzeitprognose für Norddeutschland - ohne Endlagereinfluss*. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).  
[https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Lanzeitsicherheit/2\\_Langzeitprognosen\\_Szenarienanalysen/2014-11-20\\_AnSichT\\_Langzeitprognose\\_Norddeutschland.pdf;jsessionid=AAC81CB4FDBB63B911BA7D4275401F75.1\\_cid321?blob=publicationFile&v=4](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Lanzeitsicherheit/2_Langzeitprognosen_Szenarienanalysen/2014-11-20_AnSichT_Langzeitprognose_Norddeutschland.pdf;jsessionid=AAC81CB4FDBB63B911BA7D4275401F75.1_cid321?blob=publicationFile&v=4)
- Mrugalla, S. (2020): *Standortauswahl Geologische und klimatische Langzeitentwicklung mit Relevanz für die Endlagerung wärmeentwickelnder Abfälle in Deutschland*. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).  
[https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Lanzeitsicherheit/2\\_Langzeitprognosen\\_Szenarienanalysen/2020-09-23\\_resus\\_ergebnisbericht.pdf?blob=publicationFile&v=9](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Lanzeitsicherheit/2_Langzeitprognosen_Szenarienanalysen/2020-09-23_resus_ergebnisbericht.pdf?blob=publicationFile&v=9)
- Müller, C., & Reinhold, K. (2011): *Geologische Charakterisierung tiefliegender Speicher- und Barrierehorizonte in Deutschland - Speicher-Kataster Deutschland. - Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 74*: Schweizerbart, Stuttgart.
- NIBIS® Kartenserver (2021a): *Geotektonischer Atlas 3D*. - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover. <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/>
- NIBIS® Kartenserver (2021b): *Tiefbohrungen onshore und offshore*. - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover. <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/>
- Pollok, L., Hölzner, M. & Fleig, S. (2016): *AP 2 – Erfassung des Internbaus von Salzstrukturen und geologische 3D-Modellierung*. In: Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft). Sachbericht 03ESP323B. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).  
[https://www.tib.eu/en/search?tx\\_tibsearch\\_search%5Baction%5D=download&tx\\_tibsearch\\_search%5Bcontroller%5D=Download&tx\\_tibsearch\\_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A866755853&cHash=f565f119dde92d1dacc0349b88d34b4e#download-mark](https://www.tib.eu/en/search?tx_tibsearch_search%5Baction%5D=download&tx_tibsearch_search%5Bcontroller%5D=Download&tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A866755853&cHash=f565f119dde92d1dacc0349b88d34b4e#download-mark)
- Röhling, S., Fleig, S., Gast, S., Ruales, A., Henneberg, M. & Onneken J. (2020): *Informationssystem Salz: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft) – Doppelsalinare und flach lagernde Salzsichten*. Teilprojekt Salz- und Strukturgeologie.- Bundesanst. f. Geowiss. und Rohstoffe, Sachbericht 03ET6062B: S. 234, Hannover.  
[https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Nutzung\\_tieferer\\_Untergrund\\_CO2Speicherung/Downloads/InSpEEDS\\_TP\\_Salz.pdf?blob=publicationFile&v=2](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Nutzung_tieferer_Untergrund_CO2Speicherung/Downloads/InSpEEDS_TP_Salz.pdf?blob=publicationFile&v=2)

## Literaturverzeichnis

- StandAG (2017): *Deutscher Bundestag. Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017.* [https://www.gesetze-im-internet.de/standag\\_2017/BJNR107410017.html](https://www.gesetze-im-internet.de/standag_2017/BJNR107410017.html)
- Stück, H., Bense, F., Frenzel, B., Henneberg, M., Kneuker, T., Lang, J., Mertineit, M., Noack, V. & Pollok, L. (2020): *Ausschlusskriterium "Aktive Störungzonen"*. Abschlussbericht. Hannover/Berlin: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).  
[https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Geowissenschaftlich\\_Ausschlusskriterien/2020\\_04\\_24\\_ausschlusskriterium\\_aktive\\_stoerungszonen\\_abschlussbericht.pdf;jsessionid=B8A7A6A10E9DA74D8E624A606A9AB799.2\\_cid321?\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Geowissenschaftlich_Ausschlusskriterien/2020_04_24_ausschlusskriterium_aktive_stoerungszonen_abschlussbericht.pdf;jsessionid=B8A7A6A10E9DA74D8E624A606A9AB799.2_cid321?_blob=publicationFile&v=4)
- von Goerne, G., Fleig, S., Rokahr, R. & Donadei, S. (2016): *Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (InSpEE) (Wasserstoff und Druckluft)*. Archivstück Sachbericht 03ESP323B. BGR - Institut für Geotechnik (LUH) - KBB Underground Technologies. Hannover / Jülich.  
[https://www.tib.eu/en/search?tx\\_tibsearch\\_search%5Baction%5D=download&tx\\_tibsearch\\_search%5Bcontroller%5D=Download&tx\\_tibsearch\\_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A866755853&cHash=f565f119dde92d1dacc0349b88d34b4e#download-mark](https://www.tib.eu/en/search?tx_tibsearch_search%5Baction%5D=download&tx_tibsearch_search%5Bcontroller%5D=Download&tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A866755853&cHash=f565f119dde92d1dacc0349b88d34b4e#download-mark)