

Kurzgutachten zur Umsetzung der Kriterien nach den §§ 22-24 StandAG in Methoden zur Kriterienanwendung durch die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

Im Auftrag der
Bürgerinitiative Umweltschutz Lüchow-Dannenberg e. V.

Darmstadt, 24.9.2020

Autorinnen und Autoren

Dr. Saleem Chaudry
Öko-Institut e.V.

Julia Neles
Öko-Institut e.V.

Kontakt

info@oeko.de
www.oeko.de

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

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

Büro Berlin

Borkumstraße 2
13189 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Anforderungen an die Kriterienanwendung nach StandAG	6
3	Ausschlusskriterien	7
3.1	Großräumige Vertikalbewegungen	7
3.2	Aktive Störungszonen	10
3.3	Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit	14
3.3.1	Bergbau	14
3.3.2	Bohrungen	16
3.4	Seismische Aktivität	17
3.5	Vulkanische Aktivität	18
3.6	Grundwasseralter	20
4	Mindestanforderungen	22
5	Geowissenschaftliche Abwägungskriterien	24
6	Fazit	26
	Literaturverzeichnis	28
	Anhang	30
	Anhang I. Dokumentensystematik	30

1 Einleitung

Hintergrund

Im Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG) werden in den §§ 22 – 24 Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftliche Abwägungskriterien benannt, durch deren Anwendung im Rahmen des Standortauswahlverfahrens der Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für eine Anlage zur Endlagerung der hochradioaktiven Abfälle der Bundesrepublik Deutschland gefunden werden soll. Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat in ihrer Eigenschaft als Vorhabenträgerin des Standortauswahlverfahrens ihre Methodik zur Anwendung dieser Kriterien in einer Reihe von Dokumenten dargestellt. Mit der Veröffentlichung des Zwischenberichts Teilgebiete nach § 13 StandAG, die für den 28.09.2020 angekündigt ist, wird die konkrete Anwendung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien erstmals dokumentiert und das Ergebnis im Rahmen der Fachkonferenz Teilgebiete nach § 9 StandAG zur Diskussion gestellt werden.

Zielsetzung

Die Bürgerinitiative Umweltschutz Lüchow-Dannenberg e. V. hat das Öko-Institut damit beauftragt, im Vorfeld der Veröffentlichung des Zwischenberichts Teilgebiete zu prüfen, inwieweit die Übersetzung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien des StandAG in eine Methodik zur konkreten Anwendung durch die BGE den Anforderungen des StandAG, insbesondere der §§ 12 und 13 sowie 22 – 24, entspricht. Das StandAG lässt trotz eines hohen Detailierungsgrads Spielräume zur Interpretation bzw. operativen Umsetzung der jeweiligen Kriterien und Anforderungen zu. Mögliche Abweichungen zwischen StandAG und Methodik der BGE werden, soweit dies im Rahmen einer Kurzanalyse auf Basis der im Folgenden aufgeführten, von der BGE bisher bereits veröffentlichten Darstellungen bewertbar ist, qualitativ und, wo möglich, quantitativ beschrieben. Im Rahmen dieses Kurzgutachtens kann keine umfassende Revision der veröffentlichten Methodensteckbriefe und weiteren Dokumente erfolgen. Die dargestellten Vorgehensweisen werden cursorisch geprüft und Hinweise auf Inhalte gegeben, deren praktische Umsetzung im Zwischenbericht Teilgebiete möglicherweise vertieft betrachtet werden sollte.

Datengrundlage

Grundlage für die Prüfung stellt das Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (StandAG 2017) dar. Zur Prüfung der Kriterienanwendung durch die BGE werden die folgenden Dokumente herangezogen (siehe Anhang I):

- Methodensteckbrief: Ausschlusskriterium großräumige Vertikalbewegungen
- Glossar zum Methodensteckbrief "großräumige Vertikalbewegungen"
- Methodensteckbrief "aktive Störungszonen"
- Ergänzung zum Methodensteckbrief "Aktive Störungszonen"
- Glossar zum Methodensteckbrief "Aktive Störungszonen"

- Methodensteckbrief: Teil-Ausschlusskriterium Bergbau
- Ergänzung zum Methodensteckbrief "Bergbauliche Tätigkeit"
- Methodensteckbrief: Teil-Ausschlusskriterium Bohrungen
- Methodensteckbrief: Ausschlusskriterium Seismische Aktivität
- Methodensteckbrief: Ausschlusskriterium Vulkanismus
- Methodensteckbrief zur Ausschlussmethodik "Grundwasseralter"
- Steckbrief zur Anwendungsmethodik der Mindestanforderungen
- Methodensteckbrief zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

2 Anforderungen an die Kriterienanwendung nach StandAG

Die im Standortauswahlverfahren anzuwendenden Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sind in den §§ 22 – 24 des StandAG formuliert. Nach § 13 StandAG wendet der Vorhabenträger (im Folgenden unter Bezug auf die BGE: Die Vorhabenträgerin) zur Ermittlung von Teilgebieten, „die günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen“, diese Kriterien „auf die ihm von den zuständigen Behörden des Bundes und der Länder zur Verfügung zu stellenden geologischen Daten“ an. Dabei sind zunächst die geowissenschaftlichen Ausschlusskriterien nach § 22 auf das gesamte Bundesgebiet anzuwenden. Gebiete, die diese Kriterien nicht erfüllen, werden im weiteren Suchprozess nicht mehr berücksichtigt.

Danach werden die Mindestanforderungen nach § 23 auf die verbleibenden Gebiete angewendet. Auf die so identifizierten Gebiete sind schließlich die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien anzuwenden, um zu entscheiden, welche Teilgebiete weiterhin berücksichtigt werden. Ein Vergleich von Gebieten untereinander findet zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht statt.

Zur konkreten Methodik der Kriterienanwendung, der praktischen Anwendung der Kriterien auf geologische Daten, sind im StandAG keine Angaben enthalten. Die Umsetzung der Kriterien in eine Methodik bleibt somit der Vorhabenträgerin überlassen. Lediglich in § 24 Abs. 1 ist der Hinweis enthalten, dass sich die Bewertung, ob in einem Gebiet eine günstige geologische Gesamtsituation vorliegt, durch eine sicherheitsgerichtete Abwägung der Ergebnisse zu allen Abwägungskriterien ergebe.

Die BGE hat ihre Methodik im Vorfeld der Veröffentlichung des Zwischenberichts Teilgebiete offengelegt. Eine Bewertung dieser Methodik orientiert sich zunächst an der Frage, ob die dargestellte Operationalisierung erwarten lässt, dass die Kriterien und Anforderungen nach Maßgabe des StandAG auf die vorliegenden Geodaten angewendet werden können. Weiterhin wird geprüft, ob es durch die dargestellte Methodik zum Ausschluss potenziell geeigneter Standorte kommen kann. Schließlich wird, wo möglich, die Frage der Zweckmäßigkeit einer Anwendung der jeweiligen Kriterien und Anforderungen im Verfahrensschritt Ermittlung von Teilgebieten beleuchtet.

3 Ausschlusskriterien

Alle Methodensteckbriefe zu Ausschlusskriterien sind, mit individuellen Anpassungen, wie folgt strukturiert:

- Zitat aus dem StandAG zum jeweiligen Ausschlusskriterium.
- „Was ist/sind ...?“ Eine Erläuterung zum Ausschlusskriterium.
- Ein oder zwei Abschnitte mit variablen Überschriften, unter denen weitergehende Informationen zusammengefasst werden; nicht in allen Dokumenten enthalten.
- „Warum/Wieso werden ... von der Endlagersuche ausgeschlossen?“. Eine Begründung des Ausschlusskriteriums.
- „So will die BGE das Ausschlusskriterium ... anwenden“. Die eigentliche Erläuterung zum methodischen Vorgehen.

Im letzten Abschnitt wird die Überschrift jeweils durch den folgenden Hinweis ergänzt: „Sollte sich auf Grundlage von Fachdiskussionen die Notwendigkeit einer methodischen Anpassung ergeben, kann der hier gezeigte Zwischenstand von dem Ergebnis im Zwischenbericht Teilgebiete abweichen.“ Die im Folgenden identifizierten Aspekte hinsichtlich der konkreten Anwendung der Kriterien des StandAG sind demnach nach Vorlage des Zwischenberichts Teilgebiete auf Aktualität zu überprüfen.

3.1 Großräumige Vertikalbewegungen

Das Ausschlusskriterium *Großräumige Vertikalbewegungen* wird in § 22 Abs. 2 Nummer 1 StandAG wie folgt definiert:

„Es ist eine großräumige geogene Hebung von im Mittel mehr als 1 mm pro Jahr über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahren zu erwarten“.

Im Methodensteckbrief zum Ausschlusskriterium *Großräumige Vertikalbewegungen* werden zunächst ein Begriffsverständnis großräumiger Vertikalbewegungen entwickelt und mögliche geogene Ursachen sowie deren Auslöser dargestellt. Im Anschluss wird auf großräumige Vertikalbewegungen in Deutschland eingegangen. Beginnend mit der Inversionstektonik im Erdzeitalter der Oberkreide werden Bewegungen, die anhand geologischer Befunde rekonstruiert werden können, beschrieben. Für die Alpen, den Oberrheingraben und die Eifel werden Hebungsraten und Ursachen der jeweiligen Hebungsprozesse angeführt.

Es wird sodann die Arbeit von Jähne-Klingberg et al. (2019) eingeführt, in der im Auftrag der BGE eine Bewertungsbasis für die Ausweisung des Ausschlusskriteriums *Großräumige Vertikalbewegungen* entwickelt wird. Der Methodensteckbrief wird ergänzt durch ein Glossar, in dem wesentliche geowissenschaftliche Fachtermini erläutert werden.

Begründung des Ausschlusskriteriums

Zur Begründung, warum Gebiete, die großräumige Vertikalbewegungen aufweisen, aus der Standortauswahl ausgeschlossen werden, wird im Abschnitt „Wieso werden großräumige Vertikalbewegungen von der Endlagersuche ausgeschlossen?“ ausschließlich auf den

Begründungstext des StandAG verwiesen, der darstellt, wie durch großräumige Hebung und gleichzeitige Erosion bis zu Denudation, großflächiger Abtragung der kontinentalen Oberfläche, das Endlager über den Bewertungszeitraum von einer Million Jahren freigelegt werden kann.

Erläuterung zum methodischen Vorgehen

Unter der Überschrift „So will die BGE das Ausschlusskriterium „*Großräumige Vertikalbewegungen*“ anwenden“ wird das Ausschlusskriterium erneut erläutert und mit Verweis auf „die Ergebnisse von Jähne-Klingenberg et al. (2019)“ festgestellt, dass „es voraussichtlich im Zwischenbericht Teilgebiete zu keinem Ausschluss auf Grundlage dieses Kriteriums kommen“ (BGE 2020c) wird. Informationen zur praktischen Umsetzung des Kriteriums in eine Methodik oder Handlungsanweisung sind nicht enthalten.

Die oben genannte Schlussfolgerung kann auf Grundlage der aufgeführten Arbeit (Jähne-Klingenberg et al. 2019) nur eingeschränkt nachvollzogen werden. Vielmehr wird darin dargestellt, dass „gut begründete Aussagen für das Ausschlusskriterium „großräumige Vertikalbewegung“ [...] derzeit nur unter bestimmten Annahmen [...] zur zukünftigen geodynamischen (endogenen & exogenen) Entwicklung Deutschlands und nur mit Unschärfen in der räumlichen Darstellung deutschlandweit möglich“ (Jähne-Klingenberg et al. 2019, S. 87) seien. Weiter wird aufgeführt, bei Annahme großräumiger Hebungsprozesse sei „durchaus vorstellbar, dass Erosion erst von den Rändern des Hebungsbereiches zum Zentrum hin einschneidet und im Zentrum der Hebung über lange Zeiträume nur geringe Abtragung“ stattfinde. Wiederum sei „auch vorstellbar, dass unter bestimmten klimatischen Voraussetzungen die Erosion eines Gebirgsreliefs die Hebung desselben“ (Jähne-Klingenberg et al. 2019, S. 88) übersteige.

Ein möglicher Schluss aus den dargestellten Ergebnissen kann sein, dass die Einhaltung oder Nicht-Einhaltung des Ausschlusskriteriums *großräumige Vertikalbewegungen* keine Aussagesicherheit dahingehend bietet, ob durch das Zusammenspiel von Hebung und Erosion im Bewertungszeitraum eine Freilegung des Endlagers zu befürchten ist oder nicht.

Die Autoren der Studie weisen auf die Komplexität des Systems hin und auf die wissenschaftliche Diskussion zu Einfluss und Variabilität geodynamischer Prozesse. Sie kommen zu dem Schluss, dass „die für Mitteleuropa diskutierten, vermutlich zurzeit wirkenden endogenen Prozesse [...] nach heutigem Kenntnisstand nur Hebungsraten deutlich unter 1000 Meter pro Million Jahre“ hervorbringen. Schließlich wird festgehalten, dass „verlässliche quantifizierbare flächige Zukunftsprognosen auf Basis von Modellen zu diesen komplexen geodynamischen Zusammenhängen [...] eine genauere, konsistentere und flächendeckendere Datenbasis als heute vorhanden“ verlangen.

Bewertung der Umsetzbarkeit des Ausschlusskriteriums im Rahmen der dargestellten Methodik

Aus der Darstellung des Methodensteckbriefs ist nicht ersichtlich, wie das Ausschlusskriterium *Großräumige Vertikalbewegungen* konkret auf die der Vorhabenträgerin von den Landes- und Bundesbehörden übermittelten Daten angewendet werden soll. Anders als bspw. im Methodensteckbrief zum Ausschlusskriterium *Aktive Störungszonen* ist der Darstellung zu großräumigen Vertikalbewegungen auch nicht zu entnehmen, inwiefern die der BGE vorliegende Datenbasis zur Anwendung des Kriteriums geeignet ist.

Von Jähne-Klingberg et al. (2019) wird im Auftrag der BGE auch eine Bewertung der Aussagekraft der durch die geologischen Dienste der Länder und des Bundes an die BGE übermittelten Daten für die Prognose großräumiger Vertikalbewegungen vorgenommen. Demnach erfolgte die Sichtung der vorliegenden Daten „auf Basis einer aussagekräftigen Übersichtspräsentation der BGE“ (Jähne-Klingberg et al. 2019, S. 52). Es wird weiter dargestellt, dass Teile der an die BGE gelieferten Daten von der BGR aufgrund rechtlicher Limitierungen nicht eingesehen werden konnten. Darüber hinaus konnten „aufgrund der Kürze der Projektlaufzeit und zum Teil rechtlicher Limitierungen [...] von der BGR keine Datensätze im Detail analysiert werden“. Es zeigte sich, dass „keine Übereinstimmung in der Wahl der zugrundeliegenden Bewertungsmethode für großräumige Vertikalbewegungen zwischen den SGD'en besteht“¹. Im Folgenden halten die Autoren fest, dass „die bis dato der BGE zur Verfügung gestellten Datensätze [...] keine über Gesamtdeutschland flächendeckend vergleichbare Aussage zu zukünftig zu erwartenden Vertikalbewegungen“ (Jähne-Klingberg et al. 2019, S. 53) ermöglichen.

Unklar bleibt, warum aktuell in der Eifel beobachtete Hebungen von bis zu 1,25 mm pro Jahr nicht diskutiert, sondern nur mit einem Verweis auf geringere gemittelte Hebungsraten für die vergangenen 800.000 Jahre ad acta gelegt werden. Mutmaßliche Ursachen liegen in dynamischen Prozessen der Erdkruste und des oberen Mantels begründet und sind mit langfristigen Mittelwerten unter Umständen nicht zu erfassen. Da das Gebiet Gegenstand der Anwendung des Ausschlusskriteriums *Vulkanische Aktivität* ist, kann es dennoch gerechtfertigt sein, im Methodensteckbrief *großräumige Vertikalbewegungen* nicht im Detail darauf einzugehen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Methodensteckbrief nur wenige Informationen zur konkreten Anwendung des Ausschlusskriteriums enthält. Der Schluss liegt nahe, dass die Anwendung des Ausschlusskriteriums *Großräumige Vertikalbewegungen* zur Ermittlung von Teilgebieten im Wesentlichen durch die Studie von „Prognosemöglichkeiten von großräumigen Vertikalbewegungen in Deutschland“ (Jähne-Klingberg et al. 2019) erfolgt. Eine Aussage, inwieweit die Anwendung des Ausschlusskriteriums den Anforderungen des StandAG entspricht, kann auf Basis des Methodensteckbriefs noch nicht getroffen werden. Nach Veröffentlichung des Zwischenberichts Teilgebiete sollte die Anwendung des Kriteriums entsprechend geprüft werden.

Die dargestellten Ergebnisse der differenzierten Auseinandersetzung von Jähne-Klingberg et al. (2019) mit dem Ausschlusskriterium *Großräumige Vertikalbewegungen*, den vorliegenden Wissensbeständen zu geogenen Hebungen und der der BGE zur Verfügung stehenden Datenbasis, soweit sie den Autoren zugänglich war, legen den Schluss nahe, dass eine Anwendung des Kriteriums gemäß § 13 StandAG zum jetzigen Zeitpunkt möglicherweise wenig sinnvoll ist.

Im Sinne einer konservativen Vorgehensweise sollten zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur solche Gebiete ausgeschlossen werden, für die die Erfüllung eines Ausschlusskriteriums wissenschaftlich solide nachgewiesen werden kann. Ansonsten könnten potenziell geeignete Gebiete zu früh aus dem Auswahlprozess ausscheiden. In diesem Sinne ist eine solche Vorgehensweise als konservativ anzusehen.

Es erscheint für den weiteren Standortauswahlprozess geraten, die Anwendbarkeit dieses Kriteriums zur Identifizierung des Standortes „mit der bestmöglichen Sicherheit für eine Anlage zur Endlagerung“ (StandAG 2017) im Sinne eines selbsthinterfragenden und lernenden Verfahrens einer weiteren wissenschaftlichen Diskussion zu unterziehen.

¹ SGD: Staatlicher Geologischer Dienst

3.2 Aktive Störungszonen

Das Ausschlusskriterium *Aktive Störungszonen* wird in § 22 Abs. 2 Nummer 2 StandAG wie folgt definiert:

„in den Gebirgsbereichen, die als Endlagerbereich in Betracht kommen, einschließlich eines abdeckenden Sicherheitsabstands, sind geologisch aktive Störungszonen vorhanden, die das Endlagersystem und seine Barrieren beeinträchtigen können; Unter einer „aktiven Störungzone“ werden Brüche in den Gesteinsschichten der oberen Erdkruste wie Verwerfungen mit deutlichem Gesteinsversatz sowie ausgedehnte Zerrüttungszonen mit tektonischer Entstehung, an denen nachweislich oder mit großer Wahrscheinlichkeit im Zeitraum Rupel bis heute, also innerhalb der letzten 34 Millionen Jahre, Bewegungen stattgefunden haben. Atektionische beziehungsweise aseismische Vorgänge, also Vorgänge, die nicht aus tektonischen Abläufen abgeleitet werden können oder nicht auf seismische Aktivitäten zurückzuführen sind und die zu ähnlichen Konsequenzen für die Sicherheit eines Endlagers wie tektonische Störungen führen können, sind wie diese zu behandeln“.

Im Methodensteckbrief zum Ausschlusskriterium *Aktive Störungszonen* werden zunächst die geologischen Termini Störung, Störungszone, Zerrüttungszone erläutert. Kräfte, die zur Entstehung von Störungen führen, werden aufgeführt, die Nomenklatur verschiedener Störungstypen erläutert. Im Anschluss wird auf Gebiete in Deutschland eingegangen, die in den Erdzeitaltern Tertiär und Quartär aktive Störungszonen aufweisen; ein Schwerpunkt liegt dabei auf der reaktivierenden Wirkung der alpidischen Gebirgsbildung auf bereits existierende Störungszonen wie bspw. die Grabensysteme von Oberrheingraben oder Egergraben. Unter der Überschrift *Spezialfall „Atektionische Vorgänge“* wird die Anweisung aus § 22 Abs. 2 Satz 2 StandAG durch einige Beispiele für mögliche atektonische Prozesse ausgeführt, die zu ähnlichen Konsequenzen für die Sicherheit eines Endlagers wie tektonische Störungen führen können.

Der Methodensteckbrief wird durch das Dokument *Ergänzungen zum Steckbrief für das Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“* sowie ein Glossar vervollständigt. Das Glossar erläutert wesentliche Begriffe zum Verständnis des Methodensteckbriefs.

Eine Ergänzung des Glossars zu den Begriffen *Karstgefährdungsgebiet* und *Subrosionsgebiet* um die Verkarstung von Gips und Anhydrit sowie Querverweise zwischen diesen Begriffen und dem Schlagwort *Erdfall* erscheinen hilfreich. In diesem Zusammenhang könnte auch auf die mögliche Wirkung eines Wasserzutritts zu Anhydritvorkommen im Untergrund und dessen Konsequenzen für das tektonische und Störungs-Regime in der Umgebung hingewiesen werden.

Begründung des Ausschlusskriteriums

Unter der Überschrift „Warum werden aktive Störungszonen von der Endlagersuche ausgeschlossen?“ wird auf eine mögliche erhöhte oder erniedrigte Gebirgsdurchlässigkeit innerhalb von Störungszonen gegenüber dem intakten Gestein verwiesen. Aus der Darstellung geht nicht hervor, welchen möglichen Nachteil eine „wesentlich kleinere Gebirgsdurchlässigkeit“ für das Endlagersystem und dessen Barrieren darstellen kann. Auch die Feststellung, „vor allem in grundwasserhemmenden Gesteinen“ ermöglichten Störungszonen häufig den Transport von Fluiden, wirkt verkürzt; für alle anderen Gesteine kann durch die Bildung von Klüften in Zerrüttungszonen ebenfalls von einer erhöhten Gebirgsdurchlässigkeit ausgegangen werden.

Eine Ergänzung der Begründung zum Ausschlusskriterium *Aktive Störungszonen* um einen Hinweis auf die schlechte Charakterisierbarkeit intensiv gestörter Gesteine hinsichtlich ihrer physikalischen und hydrogeologischen Eigenschaften könnte an dieser Stelle zur Verständlichkeit beitragen.

Erläuterung zum methodischen Vorgehen

In der Erläuterung zum methodischen Vorgehen bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums wird zunächst die der BGE vorliegende Datenlage dargestellt. Hier wird vermittelt, dass die vorliegenden Daten sowohl hinsichtlich der zugrundeliegenden Quellen sehr heterogen als auch zum überwiegenden Anteil nicht umfassend sind. In einem ersten Schritt soll eine Klassifizierung in aktive, inaktive und Störungszonen unbekannter Aktivität erfolgen. Das dargestellte Vorgehen, wonach die Einordnung der Daten durch die staatlichen geologischen Dienste in aktive und inaktive Störungen übernommen wird und bei unbekanntem Alter der Störungsaktivität eine Einordnung auf Grundlage des Alters der von der jeweiligen Störung versetzten Gesteine erfolgt, erscheint plausibel.

Durch die Unterlage *Ergänzungen zum Steckbrief für das Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“* wird die Klassifizierung um den Begriff der tektonisch aktiven Großstruktur erweitert. So sollen alle Störungszonen, die in Großstrukturen wie bspw. dem Oberrheingraben liegen, als aktiv klassifiziert werden.

Im Weiteren wird dargestellt, wie die BGE die Breite des Ausschlussbereichs um Störungszonen festlegt. Die Notwendigkeit eines Saums als Sicherheitsabstand um die Störungszone wird begründet, und dargestellt, dass eine Einzelfallprüfung von Störungen hinsichtlich Versatzbetrag oder Breite der Zerrüttungszone bei der Ermittlung von Teilgebieten noch nicht durchgeführt werden wird. Es wird daher vorgeschlagen, „hierfür den in der Begründung des StandAG genannten Sicherheitsabstand von 1000 m als Saum um die Störungsspur zu verwenden“.

Nach der Begründung zum StandAG - Entwurf 2017 sollen durch das Kriterium *Aktive Störungszonen* Gebiete ausgeschlossen werden, in denen geologisch aktive Störungszonen vorliegen, die die Sicherheit des Endlagers beeinträchtigen. „Der erforderliche Sicherheitsabstand zu derartigen Störungszonen ist individuell abzuschätzen. Er beträgt in der Regel mindestens einen Kilometer“. Eine Störungsspur ist ein Lineament, das den Verschnitt einer Störungsfläche mit der Geländeoberkante, d. h. der Erdoberfläche, in einer geologischen Karte darstellt. Sie stellt keine Störungszone dar, sondern folgt in der Regel dem Verlauf einer Störungsfläche. Die Störungsspur liefert keine Information über die Breite der Störungszone beiderseits der Störungsfläche und die umgebende Zerrüttungszone. Eine Anwendung des Sicherheitsabstands von 1000 m auf eine Störungsspur führt daher grundsätzlich zum Ausschluss einer kleineren Fläche als eine Anwendung des gleichen Sicherheitsabstands auf eine individuell abgeschätzte Störungszone. Auch dieses Vorgehen kann im Sinne des Standortauswahlverfahrens als konservativ angesehen werden.

Die mögliche Breite der Zerrüttungszone um einen Störungskern wird im Methodensteckbrief mit Verweis auf wissenschaftliche Literatur mit einem Maximalbetrag von etwa 200 m angegeben. Aus den genannten Arbeiten von Childs et al. (2009) und Faulkner et al. (2010) konnte diese Angabe nicht nachvollzogen werden. Vielmehr wird von Faulkner et al. (2010) die Carboneras-Transformstörung in Spanien mit einer Kernzone von einem Kilometer Breite als Extrembeispiel angeführt. Auch in der aktuellen Literatur werden größere Schädigungsbereiche um Störungen beschrieben. So weisen beispielsweise Celestino et al. (2020) in der Hangendscholle der Triunfo

Störung in Nordost-Brasilien eine Störungszone (im Original: Fault Damage Zone) von bis zu 610 m Breite aus.

Eine Klärung der in StandAG und Methodensteckbrief ebenso wie in der Literatur uneinheitlich verwendeten Begriffe Verwerfung, Störungszone, Störung, Zerrüttungszone, Störungskern könnte auch für das Verständnis der Kriterienanwendung hilfreich sein.

Im Methodensteckbrief wird weiterhin die Projektion des Sicherheitsabstands zur Ermittlung eines auszuschließenden Gebirgsvolumens bis in 1500 m Tiefe dargestellt. Die Darstellung ist, besonders durch die graphische Umsetzung, gut nachvollziehbar. Nicht berücksichtigt wird die Tatsache, dass Informationen zur Raumlage von Störungen häufig ausschließlich durch Messungen an der Oberfläche gewonnen werden. Die Projektion eines Einfallswinkels in 1500 m Tiefe stellt eine in der Geologie übliche Vereinfachung dar. Dadurch wird vernachlässigt, dass Flächen in der Natur häufig nicht eben verlaufen und sich Einfallswinkel mit zunehmender Tiefe verändern können. So müssten bei Vorliegen listrischer Störungen beispielsweise deutlich größere Gebiete ausgeschlossen werden als im Fall von Aufschiebungen oder Blattverschiebungen. Auch in diesem Fall wird das Ausschlusskriterium konservativ angewendet.

Auf Sockelstörungen und Scheitelstörungen an Salinargesteinen wird im Methodensteckbrief gesondert eingegangen. Als Sockelstörungen werden Störungen im Grundgebirge unterhalb von Salinarhorizonten bezeichnet; Scheitelstörungen werden auf die Wachstumsdynamik von Salzstrukturen zurückgeführt. Unter Verweis auf Brückner-Röhling et al. (2002) wird vorgeschlagen, Sockelstörungen im aktuellen Verfahrensschritt nicht als Ausschlusskriterium zu verwenden, da „eine direkte Korrelation zwischen Deckgebirgsstörung und Sockelstörung schwierig“ sei. Auf Scheitelstörungen im Deckgebirge oberhalb von Salinarstrukturen soll das Ausschlusskriterium angewendet werden. Es wird darauf hingewiesen, dass sich „Scheitelstörungen in der Regel auf das Deckgebirge beschränken und nicht die Integrität einer Salzstruktur beeinflussen“ (BGE 2020b).

Die Argumentation zum Umgang mit Scheitel- und Sockelstörungen kann als schlüssig und nachvollziehbar angesehen werden, nicht zuletzt, weil die BGE eine saubere Trennung zwischen Grundgebirge, Salinargestein und Deckgebirge vornimmt. Sie befindet sich damit in Übereinstimmung mit einschlägiger Literatur; so stellen bspw. Prinz und Strauß (2018) die Entkopplung des Deckgebirges vom Untergrund dar, wobei Salinargesteine als Entkopplungsschicht wirken; Grotzinger und Jordan (2017) (siehe auch das Glossar zum Methodensteckbrief) beschreiben die Schleppung von Deckgebirgsschichten bei der Bildung von Salzdomen.

Bei der von der BGE angeführten Quelle (Brückner-Röhling et al. 2002) handelt es sich um eine bislang nicht frei zugängliche Arbeit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Nach Angabe im Online-Portal der Bibliothek der BGR ist der Text nur für interne Nutzer online verfügbar; das Bestandsexemplar im Archiv Hannover ist als nur bedingt ausleihbar und aktuell ausgeliehen gekennzeichnet. Gleiches gilt für den zugehörigen Anlagenband. Da diese Arbeit die Grundlage für den Umgang der BGE mit Scheitel- und Sockelstörungen an Salinarstrukturen darstellt, liegt eine Einordnung als wesentliche Unterlage im Sinne des § 6 StandAG nahe. Vor diesem Hintergrund sollte eine Veröffentlichung im Rahmen der dafür eingerichteten Infoplattform des BASE oder als Unterlage zur Erläuterung der Anwendungsmethodik über die Webseite der BGE erfolgen.

Zuletzt wird im Methodensteckbrief noch der Umgang mit atektonischen Vorgängen dargestellt, „die zu ähnlichen Konsequenzen für die Sicherheit eines Endlagers wie tektonische Störungen führen können“ (StandAG 2017). Diese Vorgänge sollen zunächst hinsichtlich ihrer Entstehungs- oder Einwirkungstiefe kleiner oder größer 300m Tiefe sortiert werden. Anschließend soll für letztere analog zu tektonischen Störungen ein Sicherheitsabstand von 1000m um das Ereignis angelegt werden.

Aus der Darstellung im Text und der erläuternden Grafik (Abb. 3) im Methodensteckbrief geht allerdings nicht eindeutig hervor, wo der Sicherheitsabstand angesetzt wird. Analog zur Anwendung bei tektonischen Störungen als Abstand um eine Störungsspur wäre die Ausrichtung an einer punktförmigen Quelle, bspw. im Zentrum eines Impaktereignisses, denkbar. Alternativ wäre eine Bemessung des Sicherheitsabstands vom Rand des atektonischen Phänomens aus möglich. Die Ausrichtung an einer Punkt- oder linienförmigen Quelle, etwa im Zentrum eines Meteoritenkraters oder im Grund einer subglazialen Rinne, könnte dazu führen, dass der notwendige Ausschlussbereich deutlich unterschätzt wird. Das Nördlinger Ries hat einen Durchmesser von mehr als 20 Kilometern und wäre damit nicht abgedeckt, unabhängig von der Frage, ob ein Impaktereignis dieser Größenordnung durch einen Sicherheitsabstand von 1000m vom Kraterstandort hinsichtlich seiner Wirkung ausreichend berücksichtigt wäre. Die Ausrichtung des Sicherheitsabstands am Ausbiss des atektonischen Phänomens in einer Kartendarstellung könnte sowohl zur Über- als auch zur Unterschätzung des Wirkungsbereichs führen. Für andere atektonische Phänomene wie Karstgebiete ist eine exakte Bestimmung ihrer flächenhaften Ausdehnung unter Umständen nicht ohne weitere Untersuchungen leistbar. Eine Bewertung des geplanten Vorgehens ist derzeit auf Basis des Methodensteckbriefs nicht möglich. Die Umsetzung im Zwischenbericht Teilgebiete ist zu prüfen.

Bewertung der Umsetzbarkeit des Ausschlusskriteriums im Rahmen der dargestellten Methodik

Das im Methodensteckbrief dargestellte Vorgehen erscheint grundsätzlich geeignet, das Ausschlusskriterium *Aktive Störungszonen* auf die der BGE vorliegenden geologischen Daten im Sinne des StandAG anzuwenden. Limitierungen ergeben sich voraussichtlich durch die dargestellte heterogene und vielfach nicht hinreichend detaillierte Datengrundlage. Dieser Schwierigkeit lässt sich durch eine großflächige Nacherhebung von Daten, bspw. im Rahmen der übertägigen Erkundung, begegnen. Mit der gewählten Herangehensweise wählt die BGE unter diesen Umständen einen Weg, der mutmaßlich in vielen Fällen zu einer Unterschätzung des auszuschließenden Gebietes führt und so die Gefahr eines Ausschlusses potenziell geeigneter Standorte vermeidet.

Da bei der Ermittlung von Teilgebieten, keine Einzelfallprüfung der Breite von Störungszonen durchgeführt wird, sind die oben angestellten Überlegungen zur Breite der Schädigungszone um Störungen für den Zwischenbericht Teilgebiete voraussichtlich ohne Bedeutung. Bei der Ermittlung von Standortregionen im nächsten Verfahrensschritt sollte der dann aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik recherchiert und zugrundegelegt werden, um eine individuelle Abschätzung aller Störungszonen in den ermittelten Teilgebieten zu unterstützen. Es fällt auf, dass weder im Glossar noch im Methodensteckbrief die möglichen Konsequenzen eines Wasserzutritts zu Anhydritvorkommen im Untergrund als Ursache für Störungen aufgenommen werden. Da ein solches Ereignis in der Regel Konsequenzen auf das lokale Störungs-Regime hat, sollte die Volumenvergrößerung durch die Umwandlung von Anhydrit zu Gips als mögliche atektonische Ursache für die Bildung von Störungen in die Betrachtungen bei der Anwendung des

Ausschlusskriteriums aufgenommen und Gebiete, in denen dieses Phänomen bekannt ist, mit einem entsprechenden Sicherheitsabstand auszugeschlossen werden.

3.3 Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit

Das Ausschlusskriterium *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit* wird in § 22 Abs. 2 Nummer 3 StandAG wie folgt definiert:

„das Gebirge ist durch gegenwärtige oder frühere bergbauliche Tätigkeit so geschädigt, dass daraus negative Einflüsse auf den Spannungszustand und die Permeabilität des Gebirges im Bereich eines vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs oder vorgesehenen Endlagerbereichs zu besorgen sind; vorhandene alte Bohrungen dürfen die Barrieren eines Endlagers, die den sicheren Einschluss gewährleisten, in ihrer Einschlussfunktion nachweislich nicht beeinträchtigen“.

3.3.1 Bergbau

Im Methodensteckbrief zum Ausschlusskriterium *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit - Bergbau* werden der Begriff Bergwerk erläutert und anschließend die Unterscheidung von Tagebau und Tiefbau, Schacht und Stollen dargestellt. Es folgt ein kurzer Abriss der historischen und gegenwärtigen Bergbauaktivität in Deutschland.

Begründung des Ausschlusskriteriums

In der Begründung zum Ausschlusskriterium wird zunächst dargestellt, dass die Errichtung von Bergwerken und das Abteufen von Bohrungen zu jeweils unterschiedlichen gebirgsmechanischen Konsequenzen führen und diese beiden Vorgänge deshalb separat betrachtet werden. Sodann wird auf die Tatsache hingewiesen, dass auf Erkundungsbergwerke, die im Rahmen der Untersuchung potenzieller Endlagerstandorte errichtet werden, das Ausschlusskriterium nicht angewendet wird.

Es wird erläutert, dass die gebirgsmechanischen Veränderungen, die mit der Auffahrung von Hohlräumen einhergehen, grundsätzlich eine „negative Beeinflussung des umliegenden Gebirgsbereiches“ bedingen, die Reichweite aber jeweils von verschiedenen Faktoren abhängig ist.

Erläuterung zum methodischen Vorgehen

Die BGE legt dar, dass, um die Grenzen der Beeinflussung des Gebirges durch bergbauliche Tätigkeit abschätzen zu können, eine Detailbetrachtung der Daten von Bergwerken erforderlich sei, und schlägt daher einen vereinfachten Umgang mit dem Ausschlusskriterium im Rahmen der Ermittlung von Teilgebieten vor. Auf diese Weise soll eine bundesweite Anwendung des Ausschlusskriteriums trotz heterogener Datenbestände ermöglicht werden.

Zu diesem Zweck sollen Beeinflussungsbereiche um Bergwerke ausgewiesen werden, die sich „vorrangig auf Auswirkungen des Bergbaus an der Tagesoberfläche beziehen“. Diese Beeinflussungsbereiche werden zum Teil durch die zuständigen Bergbehörden ausgewiesen. Für Bergwerke, zu denen diese Information nicht vorliegt, schätzt die BGE die minimale Ausdehnung der Beeinflussungsbereiche durch Anwendung eines Grenzwinkels von 76,5° ab, unter dem die Fläche des Grubengebäudes an die Tagesoberfläche projiziert wird. Angewendet werden soll der Ausschluss durch die Ausweisung von Beeinflussungsbereichen ausschließlich auf Grubenbaue,

die eine Teufe von mindestens 300m erreichen „und somit innerhalb des endlagerrelevanten Untergrundbereichs liegen“. Im Weiteren wird darauf hingewiesen, dass die Beeinflussungsbereiche zum Ausschluss über den gesamten endlagerrelevanten Teufenbereich angewendet werden sollen, da „weite Gebirgsbereiche ober- und unterhalb des Bergwerks als „negativ beeinflusst“ zu betrachten sind“.

Die BGE weist darauf hin, dass das gewählte Verfahren zu einer Unterschätzung der Ausschlussbereiche führen kann und „insbesondere die [...] Ausweisung von Beeinflussungsbereichen auf Basis des steilsten Grenzwinkels [...] nur als eine erste Näherung“ zu verstehen sei. Zuletzt werden die Herausforderungen durch die eingeschränkte Verfügbarkeit digitaler Daten sowie durch die Datenlage und Datenmenge zu den Bergbauregionen von Nordrhein-Westfalen dargestellt. Zu diesem Sachverhalt wurde zudem das Dokument *Ergänzungen zum Steckbrief für das Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“* veröffentlicht. Darin wird ein abweichendes Vorgehen zur Bewertung der Bergwerke des nordrhein-westfälischen Steinkohlereviere vorgestellt.

Ausgangspunkt der abweichenden Methodik ist die digitale Erfassung der Steinkohlebergwerke auf Basis von Rissblatsumhüllenden. Damit wird die vereinfachte Erfassung der flächenhaften Erstreckung bzw. lateralen Ausdehnung eines Grubengebäudes durch die Ränder aller Risse, d. h. Kartenblätter zur Darstellung der horizontalen Erstreckung eines Grubengebäudes, bezeichnet. Die Verwendung der Rissblatsumhüllenden kann zu einer Überschätzung des Beeinflussungsbereichs eines Bergwerks und damit zu einem Ausschluss unbeeinflusster Flächen führen.

Um für eine der BGE vorliegende Stichprobe von Objekten zu einer detaillierten Abschätzung des Beeinflussungsbereichs zu gelangen, führt die BGE rechnerische Abschätzungen auf Basis numerischer Verfahren durch, um „die Änderungen des Spannungszustandes im Gebirge zu erfassen und diese in Abhängigkeit des Abstandes zum Abbaubereich zu quantifizieren“. Anschließend soll der so ermittelte Beeinflussungsbereich mit der jeweiligen Rissblatsumhüllenden verglichen und diese ggf. um einen definierten Betrag verkleinert werden.

Bewertung der Umsetzbarkeit des Ausschlusskriteriums im Rahmen der dargestellten Methodik

Die dargestellte Methodik erscheint geeignet, das Ausschlusskriterium *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit* gemäß den Vorgaben des StandAG auf die der BGE vorliegenden Daten der staatlichen geologischen Dienste anzuwenden. Das Vorgehen unter Zuhilfenahme eines Grenzwinkels kann als konservativ im Sinne des Ziels angesehen werden, den Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für ein Endlager zu finden. Ein Ausschluss potenziell geeigneter Standorte ist damit nicht zu befürchten; der Ausschluss eines tatsächlich aufgrund dieses Kriteriums als ungeeignet einzustufenden Gebiets muss dann auf Basis weiterer Daten zu einem späteren Zeitpunkt im Suchprozess erfolgen.

Vor dem Hintergrund der Aussage, weite Gebirgsbereiche ober- und unterhalb von Bergwerken seien als „negativ beeinflusst“ zu betrachten, ist allerdings die konkrete Grenzziehung bei einer Tiefe von 300m schwer nachvollziehbar. Es wird ausführlicher zu begründen sein, warum ein Bergwerk mit einer Teufe von 290m nicht zum Ausschluss eines Gebiets geführt hat, während ein Bergwerk mit einer Teufe von 310m wegen der negativen Beeinflussung des Gebirgsbereichs unterhalb einen Ausschluss begründet. Dem Primat der Sicherheit folgend sollte diese Vorgehensweise im weiteren Verfahren überprüft und ggf. verfeinert werden.

Die Darstellung des Vorgehens bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums auf die Grubengebäude des nordrhein-westfälischen Steinkohlebergbaus im ergänzenden Dokument lässt erwarten, dass angesichts der vorliegenden Datenbasis auf diese Weise eine exaktere Ausweisung von Beeinflussungsbereichen erreicht werden kann. Es geht daraus allerdings nicht eindeutig hervor, ob die Methode nur stichprobenartig angewendet wird oder der BGE nur Stichproben konkreter Daten zur Erstreckung einzelner Grubengebäude vorliegen. Auch bleibt unklar, ob die stichprobenartig abgeschätzten Bereiche im Anschluss zur Reduktion aller Rissblatthüllenden verwendet werden oder nur zur Reduktion derjenigen Rissblatthüllenden, zu denen konkrete Daten zum beschriebenen Grubengebäude vorliegen. Eine Reduktion aller Rissblatthüllenden auf Grundlage einiger Stichproben ist aus sicherheitstechnischer Sicht abzulehnen; es kann aber wohl davon ausgegangen werden, dass ein solches Vorgehen nicht geplant ist. Zudem wird aus der Unterlage nicht deutlich, ob das angepasste Vorgehen nur für das Ruhrgebiet oder für ganz Nordrhein-Westfalen Anwendung finden soll.

3.3.2 Bohrungen

Der Methodensteckbrief zum Ausschlusskriterium *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit – Bohrungen* ist analog zum Steckbrief für das Kriterium *Bergbau* aufgebaut. Zunächst wird dargestellt, wie eine Bohrung abgeteuft wird und zu welchen Zwecken Bohrungen genutzt werden.

Begründung des Ausschlusskriteriums

Zur Begründung für den Ausschluss von Bohrungen wird auf das StandAG verwiesen. Darin wird ein Nachweis gefordert, dass die Einschlussfunktion einer geologischen Barriere durch vorhandene Bohrungen nicht beeinträchtigt wird, sollten Gebirgsbereiche mit bestehenden Bohrungen als Teil einer geologischen Barriere eingeplant werden. Da dieser Nachweis schwer zu erbringen sei, sollen alle Gebirgsbereiche mit Bohrungen, die eine Tiefe von mehr als 300 m erreichen, von der Standortauswahl ausgeschlossen werden. Das betrifft nach Darstellung im Methodensteckbrief „mehrere zehntausend Bohrungen“.

Auf das für die Genehmigung und Durchführung von Bohrungen relevante Regelwerk wird verwiesen. Es wird weiter ausgeführt, wie Bohrungen durchgeführt werden und „das umgebende Gestein um die eigentliche Bohrung herum mechanisch, hydraulisch, thermisch und chemisch beeinflusst“ wird. Änderungen im lokalen Spannungsfeld und lokale Permeabilitätsveränderungen im Gebirge sind demnach beim Abteufen von Bohrungen nicht zu vermeiden. Aus Literaturangaben wird der „Einwirkungsbereich, in dem von einer dauerhaften Schädigung / Veränderung des Gebirges durch den Bohrvorgang ausgegangen werden kann“, auf etwa einen Meter um das Bohrloch abgeschätzt. Es werden im Weiteren Ursachen dargestellt, aufgrund derer „der Bereich der dauerhaften Schädigung des Gebirges deutlich größer“ sei.

Erläuterung zum methodischen Vorgehen

Die BGE plant, „alle Bohrungen, die eine Teufe von mehr als 300 m erreichen, mit einem Radius von 25 Meter um den gesamten Bohrfad auszuschließen“. Dadurch soll neben dem Einwirkungsbereich auch eine mögliche Lageungenauigkeit von Bohrungen abgedeckt werden. Ein Verfahren zur Kartendarstellung der Ausschlussbereiche vertikaler sowie abgelenkter Bohrungen wird dargestellt. Schließlich wird darauf verwiesen, dass im weiteren Verlauf des Standortauswahlverfahrens eine

genauere Betrachtung der Bohrungen in den verbleibenden Teilgebieten vorgenommen werden wird. Abhängig von der Nutzungsart der Bohrungen werden weiträumigere Gebirgsschädigungen um den Bohrfad herum erwartet, so dass die auszuschließende Fläche bzw. das auszuschließende Volumen entsprechend vergrößert werden müsste.

Bewertung der Umsetzbarkeit des Ausschlusskriteriums im Rahmen der dargestellten Methodik

Der Methodensteckbrief zum Umgang mit Bohrungen stellt eine Methodik vor, mit der der zur Verfügung stehenden Datenbasis und dem Kenntnisstand zur dargestellten Thematik Rechnung getragen wird. Für die Ermittlung von Standortregionen wird, wie im Methodensteckbrief dargestellt, die Datenbasis deutlich verbessert werden müssen. Inwiefern das für die Menge der in den Teilgebieten liegenden Bohrungen durchführbar ist, kann mutmaßlich zum jetzigen Zeitpunkt nicht sicher beurteilt werden.

3.4 Seismische Aktivität

Das Ausschlusskriterium *Seismische Aktivität* wird in § 22 Abs. 2 Nummer 4 StandAG wie folgt definiert:

„die örtliche seismische Gefährdung ist größer als in Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA 2011-01“.

Im Methodensteckbrief zum Ausschlusskriterium *Seismische Aktivität* wird zunächst der Begriff Seismizität erklärt. Mögliche Ursachen für Erdbeben werden aufgeführt.

Begründung des Ausschlusskriteriums

Die „Karte der Erdbebenzonen in Deutschland“ aus dem nationalen Anwendungsdokument zum Eurocode 8 wird eingeführt und erläutert. Es wird ausgeführt, dass bei Erdbeben, die in eine Erdbebenzone größer 1 eingeordnet werden, an Gebäuden merkliche Schäden auftreten, jedoch die Auswirkungen auf Untertagebauwerke geringer eingeschätzt werden.

Erläuterung zum methodischen Vorgehen

Die BGE legt dar, dass der Ausschluss von Gebieten mit einer seismischen Gefährdung größer als Erdbebenzone 1 auf Grundlage des nationalen Anhangs zur DIN EN 1998-1 erfolgen soll. Der Zonierung folgend sollen alle Gebiete ausgeschlossen werden, die Teil der Erdbebenzonen 2 und 3 sind. Der Ausschluss erfolgt durch Projektion der Flächen der Erdbebenzonen in alle endlagerrelevanten Tiefen.

Die BGE weist im Methodensteckbrief darauf hin, dass der nationale Anhang der DIN EN 1998-1 aktuell novelliert wird. Für den Zwischenbericht Teilgebiete wird die bisherige Fassung verwendet werden; zur Ermittlung von Standortregionen für die übertägige Erkundung im nächsten Verfahrensschritt wird voraussichtlich der novellierte Anhang zur Verfügung stehen.

Bewertung der Umsetzbarkeit des Ausschlusskriteriums im Rahmen der dargestellten Methodik

Das im Methodensteckbrief dargestellte Vorgehen zur Anwendung des Ausschlusskriteriums *Seismische Aktivität* im Rahmen der Ermittlung von Teilgebieten ist nachvollziehbar. Wichtig ist der enthaltene Hinweis auf die Novellierung des nationalen Anhangs zur DIN EN 1998-1. Es wird sinnvoll sein, direkt nach Erscheinen des Anhangs zu prüfen, inwiefern sich Änderungen hinsichtlich der Ausweisung der Erdbebenzonen 2 und 3 ergeben, die zu einer Neubeurteilung im Rahmen des Zwischenberichts Teilgebiete ausgeschlossener Gebiete oder zu weiteren Ausschlüssen führen, damit diese Änderungen bereits bei der Ermittlung von Standortregionen berücksichtigt werden können.

Es fällt auf, dass die Ausführungen im Begründungsteil des Methodensteckbriefs so gehalten sind, dass sie für Laien nicht ohne weiteres verständlich sind. Hier könnte eine vereinfachende Darstellung oder ein Glossar, das bspw. die Begriffe Dämpfungsrelation und Herdtiefe erläutert, Abhilfe schaffen.

Der Hinweis, im Vergleich zu Oberflächenbauwerken seien an Untertagebauwerken geringere Auswirkungen eines Erdbebens zu erwarten, erfolgt mit Verweis auf den Abschlussbericht des Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd). Dieser Hinweis wird dort (Appel et al. 2002, S. 89) ohne Nennung einer Quelle gegeben. Für die Darstellung im Zwischenbericht Teilgebiete oder spätestens bei der Ermittlung von Standortregionen sollte diese Aussage mit aktuellen Quellen belegt werden, die den Stand von Wissenschaft und Technik wiedergeben.

3.5 Vulkanische Aktivität

Das Ausschlusskriterium *Vulkanische Aktivität* wird in § 22 Abs. 2 Nummer 5 wie folgt definiert:

„es liegt quartärer Vulkanismus vor oder es ist zukünftig vulkanische Aktivität zu erwarten“.

Im Methodensteckbrief wird zuvorderst der Begriff Vulkanismus erklärt und die Unterscheidung zwischen effusiver und explosiver vulkanischer Tätigkeit eingeführt. Schon zu Beginn des Methodensteckbriefs wird auf die erheblichen Risiken, die vulkanische Aktivität auch für ein Endlager bedeutet, hingewiesen. Auslösende Mechanismen bzw. Typen von Vulkanismus werden beschrieben (Subduktionszonenvulkanismus, Hotspot-Vulkanismus etc.) und mit Beispielen illustriert.

Begründung des Ausschlusskriteriums

Im Abschnitt *Vulkanismus in Deutschland – Vergangenheit und Zukunft* werden Gebiete in Deutschland dargestellt, in denen in den Erdzeitaltern Tertiär und Quartär Vulkanismus aufgetreten ist. Erscheinungsformen vulkanischer Gesteine und durch Vulkanismus geprägter Landschaften werden beschrieben. Hinsichtlich des Auftretens von Vulkanismus im Bewertungszeitraum wird ausgeführt, dass nach Jentzsch (2001) erneute vulkanische Aktivität in der Eifel als sicher anzunehmen sei, während für das Vogtland und Nordwestböhmen eine Wahrscheinlichkeit von etwa 50% für ein vulkanisches Ereignis innerhalb der nächsten Million Jahre bestehe.

Anschließend wird der Kurzbericht „Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland“ (May 2019) eingeführt, der seitens der BGR im Auftrag der BGE erstellt wurde. Demnach „können quantitative Vorhersagen zur Ausbruchshäufigkeit während der nächsten eine Million Jahren auf Grundlage unseres derzeitigen Prozessverständnisses nicht getätigt werden“ (BGE 2020d). Möglich sei jedoch „eine qualitative Kategorisierung von Eintrittswahrscheinlichkeiten einer zukünftigen vulkanischen Aktivität mithilfe von geologischen, geophysikalischen und petrologischen Indikatoren“. Anschließend wird eine von May (2019) vorgenommene Kategorisierung nach Wahrscheinlichkeitsklassen vorgestellt.

May (2019) setzt sich zunächst mit der von Jentzsch (2001) im Rahmen des AkEnd erstellten Untersuchung auseinander. Mit Verweis auf den Anspruch, ein wissenschaftsbasiertes Standortauswahlverfahren durchzuführen, wird auf seit Erstellung der Arbeit neu gewonnene Daten, „verbesserte Methoden und neue Konzepte zum Intraplattenvulkanismus“ (May 2019) verwiesen. Der Autor stellt fest, Teile der Ergebnisse von Jentzsch (2001) entsprächen „daher nicht dem durch das StandAG geforderten, wissenschaftsbasierten Verfahren“. Aus der Kritik am Vorschlag von Jentzsch (2001) werden sodann Empfehlungen für die Entwicklung eines aktuellen Vorschlags zur Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland abgeleitet. In seinem Fazit hält May (2019) unter anderem fest, dass zur Prognose zukünftiger vulkanische Aktivität der gesamte Känozoische, d. h. tertiäre und quartäre, Vulkanismus herangezogen werden sollte und auch die Möglichkeit der Verlagerung der Aktivität von den bisherigen Ausbruchsstellen in einem größeren Abstand von etwa 50 km allseitig berücksichtigt werden müsse.

Erläuterung zum methodischen Vorgehen

Gebiete mit bekanntem quartären Vulkanismus sollen ausgeschlossen werden. Dabei sollen „die Auswirkungen zukünftiger vulkanischer Aktivität (z. B. Lavaströme) pauschal mit einem Radius von 10 km um jedes Eruptionszentrum berücksichtigt werden“ (BGE 2020d). Die BGE stützt sich mit dieser Vorgehensweise auf der Begründung zum Entwurf des StandAG (StandAG - Entwurf 2017) ab. Für die Ermittlung von Standortregionen zur übertägigen Erkundung soll dieser „Minimalabstand“ (BGE 2020d) im nächsten Verfahrensschritt „mit einem individuell an die jeweiligen Gebiete angepassten und vom konkreten Chemismus des Vulkanismus abhängigen Sicherheitsaufschlag versehen“ (BGE 2020d) werden.

Bewertung der Umsetzbarkeit des Ausschlusskriteriums im Rahmen der dargestellten Methodik

Der Methodensteckbrief enthält keine Begründung zur Notwendigkeit des Ausschlusskriteriums *Vulkanische Aktivität*. Offensichtlich wird angenommen, dass jedem Leser bewusst ist, dass Vulkanismus eine Gefährdung darstellt.

Das dargestellte Vorgehen zum Ausschluss vulkanischer Aktivität unter Zugrundelegung eines Radius' von 10 km kann als konservativ im Sinne des Standortauswahlverfahrens angesehen werden. Ein ungerechtfertigter Ausschluss potenziell geeigneter Standorte wird auf diese Weise vermieden.

Nicht erläutert wird im Methodensteckbrief, warum den im Fazit von May (2019, S. 62) getroffenen Aussagen zur Einbeziehung des tertiären Vulkanismus nicht gefolgt wird. Ob durch die ausschließliche Berücksichtigung quartären Vulkanismus' zukünftige vulkanische Aktivität gemäß dem Ausschlusskriterium hinreichend berücksichtigt wird, sollte am Zwischenbericht Teilgebiete

kritisch geprüft werden. Wie weiter oben dargestellt, existiert bisher kein einheitliches Verständnis hinsichtlich einer Methode zur Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität.

Gleichzeitig befindet sich die von der BGE vorgestellte Methodik weitgehend im Einklang mit den Empfehlungen, die Zemke (2020) in seinem „Gutachten zur Prüfung des aktuellen Standes des Ausschlusskriteriums "vulkanische Aktivität" laut § 22 Abs. 2 Nr. 5 Standortauswahlgesetz“ im Auftrag des Nationalen Begleitgremiums (NBG) formuliert. Darin verweist der Autor u. a. auf die Notwendigkeit der Durchführung standortspezifischer Analysen und spricht sich für eine individuelle „Herangehensweise für die Gefährdungsanalyse der verschiedenen Regionen“ vulkanischer Aktivität in Deutschland aus.

Nicht im Methodensteckbrief erwähnt wird das Phänomen Phreatomagmatismus, bei dem der Kontakt von externem Wasser mit magmatischen Schmelzen zur explosiven Eruption führt. Maar-Ausbrüche wie in der Eifel werden mit dieser Form der vulkanischen Tätigkeit in Zusammenhang gebracht.

3.6 Grundwasseralter

Das Ausschlusskriterium *Grundwasseralter* wird in § 22 Abs. 2 Nummer 6 StandAG wie folgt definiert:

„in den Gebirgsbereichen, die als einschlusswirksamer Gebirgsbereich oder Einlagerungsbereich in Betracht kommen, sind junge Grundwässer nachgewiesen worden“.

Im Methodensteckbrief zum Ausschlusskriterium *Grundwasseralter* werden der Grundwasserbegriff definiert und die Unterscheidung von Gesteinen in Aquifere (Grundwasserleiter) und Aquitarde (Grundwassergeringleiter) eingeführt. Die Methode der radiometrischen Datierung wird erläutert.

Unter der Überschrift „Welche Isotope sind für die Standortsuche relevant?“ wird näher auf die Bedeutung von Kohlenstoff-14 und Tritium für die Altersbestimmung eingegangen. Es wird dargestellt, dass nach Aussage des AkEnd (Appel et al. 2002) „die reine Anwesenheit von Tritium bzw. Kohlenstoff im Grundwasser zum Ausschluss“ führe.

Begründung des Ausschlusskriteriums

Die BGE stellt dar, dass das Auftreten junger Grundwässer auf einen Austausch mit der Erdoberfläche hindeute und dies im Hinblick auf die sichere Lagerung hochradioaktiver Abfälle unbedingt auszuschließen sei.

Erläuterung zum methodischen Vorgehen

In § 22 Abs. 2 Nummer 6 wird das Kriterium *Grundwasseralter* ausschließlich auf das Vorkommen in potenziellen einschlusswirksamen Gebirgsbereichen oder Einlagerungsbereichen bezogen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen noch keine Informationen über diese Bereiche vor. Daher stellt die BGE dar, „ein Ausschluss gemäß § 13 StandAG“ könne „momentan nur punktuell auf Basis der zur Verfügung gestellten Probenahmepositionen mit Messwerten für Tritium oder Kohlenstoff-14 erfolgen“. Da solche Probenahme in endlagerrelevanten Tiefen entweder in Bohrungen oder Bergwerken erfolge, wird davon ausgegangen, dass „diese Stellen jedoch aller Voraussicht nach bereits durch das Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher

Tätigkeit“ [...] ausgeschlossen“ würden. Darauf aufbauend wird prognostiziert, dass in Phase I des Standortauswahlverfahrens, also sowohl bei der Ermittlung von Teilgebieten als auch der Ermittlung von Standortregionen für die übertägige Erkundung, voraussichtlich kein zusätzlicher Ausschluss auf Grundlage des Ausschlusskriteriums *Grundwasseralter* erfolgen werde.

Bewertung der Umsetzbarkeit des Ausschlusskriteriums im Rahmen der dargestellten Methodik

Aus der Darstellung der Methodik geht nicht hervor, ob die BGE sich bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums *Grundwasseralter* ausschließlich an der Aussage des AkEnd, auf die in der Erläuterung verwiesen wird, orientieren wird. Der AkEnd (Appel et al. 2002, S. 86) hat dazu festgehalten: „Im einschlusswirksamen Gebirgsbereich dürfen keine jungen Grundwässer vorliegen. Die Grundwässer dürfen von daher kein Tritium und/oder Kohlenstoff-14 enthalten.“

In der Begründung zum Entwurf des StandAG (2017, S. 69) wird diesbezüglich ein differenzierteres Vorgehen dargestellt: „Als Bewertungsgrundlage kann die Konzentration der Isotope Tritium und Kohlenstoff-14 im Grundwasser des vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereiches oder Einlagerungsbereiches herangezogen werden. Die auf Grund der Tritium- und Kohlenstoff-14-Konzentrationen errechneten Grundwasseralter müssen dabei validiert und gegebenenfalls durch weitere geochemische und isotopenhydrogeologische Hinweise überprüft werden.“ Seitens der BGE sollte deren Vorgehen bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums näher erläutert werden und dabei zum einen auf Übereinstimmung mit der Vorgabe des StandAG und zum anderen die Berücksichtigung des Standes von Wissenschaft und Technik dargelegt werden.

Es wird deutlich, dass die BGE bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums „Grundwasseralter“ im Rahmen der Ermittlung von Teilgebieten auf besondere Schwierigkeiten bzgl. der zur Verfügung stehenden Datengrundlage stößt. Ohne Daten zur Anwendung des Kriteriums kann folgerichtig ein Ausschluss aufgrund dieses Kriteriums erst bei der erneuten Anwendung in einem späteren Verfahrensschritt erfolgen.

Der Argumentation, nach der Standorte mit vorliegenden Kohlenstoff-14-- und Tritium-Daten mutmaßlich schon über das Kriterium *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit* ausgeschlossen würden, kann nur mit Einschränkungen gefolgt werden. Der Ausschluss um ein Bohrloch soll mit einem Radius von 25 m erfolgen (siehe 0). Ein Grundwasserleiter, in dem das Ausschlusskriterium *Grundwasseralter* erfüllt ist, wird in den meisten Fällen eine deutlich größere Ausdehnung und eine andere geometrische Erstreckung haben als ein Bohrloch samt Sicherheitsabstand. Dementsprechend wird ein Ausschluss über das Kriterium *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit* mutmaßlich zu einem kleineren Ausschlussgebiet führen als über das Kriterium *Grundwasseralter*. Auch diese Anwendung des Ausschlusskriteriums *Grundwasseralter* kann <als konservativ im Sinne der Standortauswahl verstanden werden.

4 Mindestanforderungen

In der Veröffentlichung „Anwendungsmethodik der Mindestanforderungen nach § 23 Standortauswahlgesetz“ (BGE 2020a) wird dargestellt, wie die Mindestanforderungen des StandAG auf die von den staatlichen geologischen Diensten an die BGE übermittelten Daten angewendet werden. Die BGE beschränkt sich hier auf ein zusammenfassendes Papier. Es wurden keine Ausarbeitungen zu den einzelnen Mindestanforderungen veröffentlicht. Diese sind:

- Gebirgsdurchlässigkeit,
- Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs,
- minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs,
- Fläche des Endlagers und
- Erhalt der Barrierewirkung.

Bei der Anwendung der Mindestanforderungen werden nur die nach Anwendung aller Ausschlusskriterien verbliebenen Gebiete berücksichtigt. Zudem werden die Mindestanforderungen nur auf Gebiete angewendet, die „im geologischen Untergrund Wirtsgesteinsvorkommen mit Steinsalz, Tongestein und Kristallin aufweisen“. Ziel ist die Identifikation von Gebieten, die alle Mindestanforderungen erfüllen. In der Anwendungsmethodik wird auf das Konzept des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs eingegangen, der der Endlagerung in Steinsalz- oder Tongesteinsvorkommen zugrunde gelegt wird, und die abweichende Entwicklung von Sicherheitskonzepten im kristallinen Wirtsgesteinen und daraus resultierende „höhere Anforderungen an die Langzeitintegrität des Behälters“ (StandAG 2017). Die besonderen Anforderungen zur Anwendung der Mindestanforderung *Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* auf Steinsalz in steiler Lagerung werden erläutert.

Begründung der Mindestanforderungen

Die Mindestanforderungen werden in der Anwendungsmethodik auf Basis des Standortauswahlgesetzes hergeleitet. Weitergehende Erläuterungen, die beispielsweise einzelne Anforderungen begründen oder auf Herleitungen eingehen, gibt die BGE hier nicht.

Erläuterung zum methodischen Vorgehen

Die Anwendung der Mindestanforderungen wird in drei Schritten dargestellt. Zunächst werden anhand der aktuellen stratigraphischen Tabelle von Deutschland (Menning und Hendrich 2016) alle Einheiten erfasst, die aufgrund ihrer Lithologie und Mächtigkeit „erwarten lassen, dass alle Mindestanforderungen erfüllt sein können“ (BGE 2020a).

Im nächsten Schritt werden die Mindestanforderungen *Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs*, *minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* und *Fläche des Endlagers* überprüft. Dazu werden, wo vorhanden, 3D-Modelle des Untergrundes genutzt, die für ca. 60% der Fläche Deutschland existieren. Gebiete, für die keine 3D-Modelle vorliegen, werden im dritten Schritt anhand geologisch-thematischer Karten und weiterer geologischer Informationen geprüft.

Die Darstellung der Anwendungsmethodik schließt mit dem Hinweis auf § 23 Abs. 3 StandAG, wonach für Gebiete mit nicht ausreichender Datenlage zur Bewertung der Erfüllung einer oder mehrerer Mindestanforderungen diese als erfüllt gelten, bis die entsprechenden Daten erhoben werden. Voraussetzung dafür ist, dass die vorhandene Datenlage die Erfüllung der Mindestanforderung erwarten lässt. Nicht dargestellt wird die Anwendung der Mindestanforderungen *Gebirgsdurchlässigkeit* und *Erhalt der Barrierewirkung*.

Bewertung der Anwendbarkeit der Mindestanforderungen im Rahmen der dargestellten Methodik

Die Darstellung der Methodik zur Anwendung der Mindestanforderungen *Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs*, *minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs* und *Fläche des Endlagers* zur Ermittlung von Teilgebieten ist nachvollziehbar und lässt erwarten, dass diese Mindestanforderungen auf Grundlage der dargestellten Datenlage geprüft werden können.

Wie oben dargestellt, werden die Mindestanforderungen *Gebirgsdurchlässigkeit* und *Erhalt der Barrierewirkung* im Methodensteckbrief nicht behandelt. Aus der Darstellung der BGE (2020a) kann gefolgert werden, dass ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich oder Einlagerungsbereich, der durch diese Anforderungen bewertet werden soll, zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ausgewiesen werden kann. Entsprechend § 23 Abs. 5 Nummer 1 StandAG muss in diesem Fall „nachgewiesen werden, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich aus Gesteinstypen besteht, denen eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als 10^{-10} m/s zugeordnet werden kann“, soweit die Standortregion übertägig erkundet werden soll. Dieser Schluss ist allerdings für Laien praktisch nicht möglich. Eine verständliche Darstellung im Zwischenbericht Teilgebiete wäre an dieser Stelle auf jeden Fall wünschenswert.

Die Mindestanforderung *Erhalt der Barrierewirkung* stellt eine Negativanforderung dar: demnach dürfen keine Hinweise vorliegen, die die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs oder die Einhaltung der Mindestanforderungen zweifelhaft erscheinen lassen. Angesichts der dargestellten Datenlage kann davon ausgegangen werden, dass solche Detailinformationen nur für wenige Gebiete vorliegen und auf Gebiete, für die derartige Hinweise existieren, die Mindestanforderung angewendet werden kann.

5 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien

Die Methodik zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien wird von der BGE ebenfalls in einem Methodensteckbrief dargestellt. Die Einleitung enthält den wesentlichen Hinweis, dass die vorliegende Methodik ausschließlich im Rahmen der Ermittlung von Teilgebieten genutzt werden wird. Es wird weiter ausgeführt, dass die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nach § 24 StandAG lediglich auf Gebiete anzuwenden sind, die nicht durch die Anwendung der Ausschlusskriterien nach § 22 StandAG ausgeschlossen wurden und darüber hinaus alle Mindestanforderungen nach § 23 StandAG erfüllen. Im Anschluss wird die Struktur der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien erläutert. Über Indikatoren bzw. Bewertungsgrößen, die mit Hilfe von Wertungsgruppen charakterisiert werden, werden Aussagen zu den bewertungsrelevanten Eigenschaften eines Kriteriums getroffen. Aus diesen Aussagen wird eine Bewertung für jedes Kriterium erstellt. Diese Bewertungen der einzelnen Kriterien wiederum werden im Rahmen einer sicherheitsgerichteten Abwägung der Ergebnisse an in den Absätzen 3 bis 5 des § 24 StandAG festgelegten Bewertungsmaßstäben zusammengeführt.

Erläuterung zum methodischen Vorgehen

Im Methodensteckbrief zu den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien wird das Vorgehen der BGE bei der Umsetzung dieses komplexen Abwägungsverfahrens ausführlich dargestellt. Im Folgenden kann nur auf einige wesentliche Aspekte der Methodik eingegangen werden. Die Bewertungsvorgänge laufen demnach für jedes nach Anwendung der Mindestanforderungen identifizierte Gebiet nach demselben Schema ab. Für jedes Gebiet wird bereits im aktuellen Verfahrensschritt eine Geosynthese erstellt. Die Geosynthese wird nach § 5 des Entwurfs der Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndlSiUntV) im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen benötigt werden, die im Anschluss an die Ermittlung der Teilgebiete nach § 13 StandAG erstmals durchzuführen sind.

Wenn für Gebiete keine bewertungsrelevanten Daten zur Anwendung der Indikatoren vorhanden sind, werden stattdessen Referenzdatensätze genutzt. Auf diese Weise soll der Hinweis aus Anlage 1 des StandAG umgesetzt werden, solange keine standortspezifisch erhobenen Indikatoren vorlägen, könne „für die Abwägung das jeweilige Wirtsgestein als Indikator verwendet werden“ (StandAG 2017).

Die Bewertung von Indikatoren muss unter Angabe aller verwendeten Quellen begründet werden. Die Bewertung von Kriterien für ein Gebiet erfolgt auf Grundlage der verschiedenen Indikatorbewertungen verbalargumentativ im Rahmen einer geowissenschaftlichen Diskussion. Die anschließende Gesamtbewertung eines identifizierten Gebietes erfolgt ebenfalls verbalargumentativ.

Im letzten Schritt erfolgt eine Priorisierung von Teilgebieten, die günstige geologische Voraussetzungen erwarten lassen, erneut im Rahmen einer geowissenschaftlichen Diskussion. Wesentlich ist der Hinweis, dass die Priorisierung „nicht als Ausschluss der anderen, nicht priorisierten Gebiete verstanden werden darf“. Darüber hinaus ist im Methodensteckbrief festgehalten:

„Im Zuge der Anwendung der geoWK kommt es im Schritt 1 der Phase 1 zu keiner Flächenänderung der identifizierten Gebiete, da die Datenlage (Existenz, räumliche Auflösung) dies nicht gestattet“ (BGE 2020e, S. 6).

Durch Dokumentation und Veröffentlichung sollen Nachvollziehbarkeit und Transparenz gewährleistet werden.

Bewertung der Anwendbarkeit der Abwägungskriterien im Rahmen der dargestellten Methodik

Die dargestellte Methodik erscheint geeignet, die Abwägungskriterien zur Ermittlung von Teilgebieten anzuwenden. Die Anwendung durch die Bearbeiter erfolgt nach einem vorgegebenen Schema. Es bleibt abzuwarten, ob die durch die systematische Darstellung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien in den Anlagen des StandAG vorgegebene kleinteilige Unterscheidung nach Indikatoren etc. sich als praktikabel erweist. Auch die nachvollziehbare Dokumentation des Vorgehens im Rahmen des Zwischenberichts Teilgebiete stellt mutmaßlich eine Herausforderung dar.

Die Verwendung von Referenzdatensätzen für die Bewertung von Indikatoren, für die keine bewertungsrelevanten realen Daten vorliegen, wird unter Verweis auf Anlage 1 des StandAG begründet. Darin wird die Verwendung des jeweiligen Wirtsgesteins als Indikator für die Abwägung des *Kriteriums zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich* vorgeschlagen. Für die Kriterien nach den Anlagen 2 – 11 enthält das StandAG keine vergleichbare Anweisung. Im Anfang September von der BGE veröffentlichten Dokument „Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG“ wird für die Anwendung von Referenzdatensätzen auf weitere Abwägungskriterien dahingehend argumentiert, „dass in Anlage 1 (zu § 24 Abs. 3) S. 3 StandAG keine Ausnahmeregelung statuiert wird, welche nur für das Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich gelten soll, sondern dass diese Regelung auf einem allgemeinen Anwendungsgrundsatz basiert“ (BGE 2020f).

Der Ansatz der Nutzung von Referenzdatensätzen zur Anwendung der Abwägungskriterien erscheint pragmatisch und vor dem Ziel der Durchführung eines wissenschaftsbasierten Verfahrens für diesen Verfahrensschritt angemessen. Da, wie oben ausgeführt, die Anwendung der Abwägungskriterien nicht zu einem Ausschluss von Gebieten aus dem Standortauswahlverfahren führt, kann das Risiko einer Fehleinschätzung in diesem Schritt noch als gering erachtet werden. Mit Erhebung standortspezifischer Daten im Rahmen der über- und untertägigen Erkundung müssen Entscheidungen, die aufgrund der Abwägung mit Hilfe von Referenzdatensätzen getroffen wurden, anhand der realen Daten überprüft und ggf. revidiert werden. Ein Ausschluss auf dieser Grundlage sollte auch bei der Ermittlung von Standortregionen im nächsten Verfahrensschritt nicht erfolgen.

6 Fazit

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung hat in einer Reihe von Methodensteckbriefen dargestellt, wie sie die Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien des Standortauswahlgesetzes im Rahmen der Ermittlung von Teilgebieten auf die ihr vorliegenden Daten der geologischen Dienste der Länder und des Bundes anwendet. Durch diese Steckbriefe informiert die BGE im Sinne eines transparenten Verfahrens die interessierte Öffentlichkeit über ihre Arbeit im Standortauswahlverfahren. Darüber hinaus hat sie die Methodensteckbriefe auch online zur Konsultation gestellt.

Die Bürgerinitiative Umweltschutz Lüchow-Dannenberg e. V. hat das Öko-Institut damit beauftragt, im Vorfeld der Veröffentlichung des Zwischenberichts Teilgebiete die Umsetzung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien durch die BGE auf Grundlage der Methodensteckbriefe in einem Kurzgutachten zu bewerten. Die von der BGE dargestellten Vorgehensweisen wurden dazu cursorisch geprüft und es werden Hinweise auf Inhalte gegeben, deren praktische Umsetzung im Zwischenbericht Teilgebiete möglicherweise vertieft betrachtet werden sollte.

Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftliche Abwägungskriterien werden im Rahmen der Methodensteckbriefe in sehr unterschiedlicher Detailtiefe dargestellt. Während für einige der Ausschlusskriterien die vorgesehene Methodik ausführlich dargestellt und durch wissenschaftliche Literatur belegt wird, werden im Methodensteckbrief zu Mindestanforderungen nur drei der fünf Anforderungen behandelt.

Die Anwendung der Kriteriensätze nach den §§ 22 – 24 des StandAG stößt in diesem frühen Verfahrensschritt vielfach an Grenzen, die wesentlich durch den Umfang und die Qualität der vorliegenden geologischen Daten bestimmt werden. In dieser Situation entscheidet sich die BGE für ein im Sinne des Standortauswahlverfahrens konservatives Vorgehen: In Fällen, in denen die Datenlage die Anwendung der Kriterien und Anforderungen limitiert oder verhindert, wird das Vorgehen so gewählt, dass die auszuschließenden Bereiche unter- und nicht überschätzt werden. Auf diese Weise wird die Gefahr eines zu frühen Ausschlusses potenziell geeigneter Standorte minimiert. Durch die im weiteren Verfahren zu erhebenden zusätzlichen Daten (im Rahmen von zunächst übertägigen und später auch untertägigen Erkundungen) muss dann sichergestellt werden, dass die zum jetzigen Zeitpunkt im Verfahren verbleibenden Gebiete, die Ausschlusskriterien erfüllen oder Mindestanforderungen nicht erfüllen, aus dem Verfahren fallen.

Zu einigen Fragen konnten bei der Durchsicht der Methodensteckbriefe Ergänzungs- oder Weiterentwicklungsbedarf identifiziert und Hinweise zur zukünftigen Berücksichtigung im Sinne eines lernenden Verfahrens gegeben werden.

So haben sich beispielsweise Jähne-Klingberg et al. (2019) im Auftrag der BGE mit dem Ausschlusskriterium *Großräumige Vertikalbewegungen* auseinandergesetzt und kommen zu dem Schluss, dass gut begründete Aussagen zu diesem Ausschlusskriterium derzeit nur unter bestimmten Annahmen und nur mit Unschärfen deutschlandweit möglich sind. Auch am Beispiel des Ausschlusskriteriums *Vulkanische Aktivität* wird die Notwendigkeit einer weiteren Operationalisierung dieses Kriteriums deutlich. Die Ergebnisse von Jentzsch (2001), May (2019) und Zemke (2020) zur Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität verweisen auf einen aktuellen wissenschaftlichen Dissens hinsichtlich der Anwendung des Kriteriums. Diese Ergebnisse deuten auf den Bedarf an einer gezielten wissenschaftlichen Diskussion zur Frage der Operationalisierbarkeit von Ausschlusskriterien im weiteren Verfahren.

Im Methodensteckbrief zu *aktiven Störungszonen und atektonischen Vorgängen* mit vergleichbaren Konsequenzen werden die möglichen Konsequenzen eines Wasserzutritts zu Anhydritvorkommen im Untergrund nicht erwähnt. Nach Vorlage des Zwischenberichts Teilgebiete wäre zu prüfen, inwieweit dieses Phänomen bereits berücksichtigt wird.

Vor dem Hintergrund der Aussage im Methodensteckbrief *Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit*, weite Gebirgsbereiche ober- und unterhalb von Bergwerken seien als „negativ beeinflusst“ zu betrachten, sollte die Grenzziehung zur Anwendung des Ausschlusskriteriums bei einer Teufe von 300 m ausführlicher begründet und diese Vorgehensweise im weiteren Verfahren möglicherweise verfeinert werden.

In den Methodensteckbriefen zu Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien werden die Limitierungen durch die vorliegende Datenbasis, denen die BGE zum gegenwärtigen Zeitpunkt unterworfen ist, besonders deutlich. Auch hier wird die Richtschnur eines geringstmöglichen Ausschlusses durchgehalten; die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien führen in keinem Fall zum Ausschluss eines Gebietes aus dem Verfahren.

Positiv hervorzuheben ist, dass die BGE im Zusammenhang mit Scheitel- und Sockelstörungen an Salinargesteinen eine saubere Trennung zwischen Grundgebirge, Salinargestein und Deckgebirge vornimmt. Sie stellt damit in Übereinstimmung mit einschlägiger Literatur klar, dass die Salzschwebe über einem Bergwerk nicht als Teil des Deckgebirges betrachtet werden kann.

Insgesamt erscheint die Übersetzung der Kriterien und Anforderungen des StandAG in Anwendungsmethodiken überwiegend nachvollziehbar und angemessen. Im Detail kann die Umsetzung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien jedoch erst nach Veröffentlichung des Zwischenberichts Teilgebiete geprüft werden.

Es besteht ein Spannungsfeld zwischen einerseits konservativem Handeln im Sinne des Standortauswahlverfahrens durch Ausschluss möglichst kleiner Flächen in diesem frühen Verfahrensschritt, andererseits sicherheitsgerichtet konservativem Handeln durch die vorsorgliche Ausweisung größerer Ausschlussbereiche um Gefahrenherde. Im Zusammenhang damit muss auch die Frage nach den Folgen von Entscheidungen im Standortauswahlverfahren gestellt werden, sowohl zur Ermittlung von Teilgebieten als auch in allen weiteren Verfahrensschritten. Daher sind Möglichkeiten und Notwendigkeiten für Reflexionen und Rücksprünge im Sinne eines lernenden und selbsthinterfragenden Verfahrens von besonderer Bedeutung.

Literaturverzeichnis

- Agemar, T.; Hese, F.; Moeck, I.; Stober, I. (2017): Kriterienkatalog für die Erfassung tiefreichender Störungen und ihrer geothermischen Nutzbarkeit in Deutschland. In: *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften* 168, S. 285–300.
- Appel, D.; Balthes, B.; Bräuer, V.; Brewitz, W.; Duphorn, K.; Gömmel, R.; Haury, H.-J.; Ipsen, D.; Jentzsch, G.; Kreusch, J.; Kühn, K.; Lux, K.-H.; Sailer, M. et al. (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte, Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte, Dezember 2002.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020a): Anwendungsmethodik der Mindestanforderungen nach § 23 Standortauswahlgesetz. Peine, 19.06.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020b): Ausschlusskriterium "Aktive Störungszonen". Peine, 24.03.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020c): Ausschlusskriterium "Großräumige Vertikalbewegungen". Peine, 13.03.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020d): Ausschlusskriterium „Vulkanismus“. Peine, 2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020e): Methodik zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien. Peine, 06.05.2020.
- BGE - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020f): Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG. Peine, 19.06.2020.
- Brückner-Röhling, S.; Espig, M.; Fischer, M.; Fleig, S.; Forsbach, H.; Kockel, F.; Krull, P.; Stiewe, H.; Wirth, H. (2002): Projekt Gorleben, Standsicherheitsnachweise Nachbetriebsphase : seismische Gefährdung., - Teil 1: Strukturgeologie : Ergebnisbericht. (Projekt Gorleben, Standsicherheitsnachweise Nachbetriebsphase : seismische Gefährdung. - Teil 1: Strukturgeologie : Ergebnisbericht), 2002.
- Celestino, M. A. L.; Miranda, T. S. de; Mariano, G.; Alencar, M. d. L.; Carvalho, B. R. B. M. de; Falcão, T. d. C.; Topan, J. G.; Barbosa, J. A.; Gomes, I. F. (2020): Fault damage zones width: Implications for the tectonic evolution of the northern border of the Araripe Basin, Brazil, NE Brazil. *Journal of Structural Geology*, 138, 104116. DOI: 10.1016/J.JSG.2020.104116.
- Childs, C.; Manzocchi, T.; Walsh, J. J.; Bonson, C. G.; Nicol, A.; Schöpfer, M. P.J. (2009): A geometric model of fault zone and fault rock thickness variations. *Journal of Structural Geology*, 31(2), 117-127. DOI: 10.1016/J.JSG.2008.08.009.
- Choi, J.-H.; Edwards, P.; Ko, K.; Kim, Y.-S. (2016): Definition and classification of fault damage zones: A review and a new methodological approach. *Earth-Science Reviews*, 152, 70-87. DOI: 10.1016/J.EARSCIREV.2015.11.006.
- Endlagerkommission - Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe (2016): Geowissenschaftliche Kriterien – Papier der Vorsitzenden der AG 3 (K-Drs., AG3-114). Berlin, 23.03.2016.
- Faulkner, D. R.; Jackson, C.A.L.; Lunn, R. J.; Schlische, R. W.; Shipton, Z. K.; Wibberley, C.A.J.; Withjack, M. O. (2010): A review of recent developments concerning the structure, mechanics and fluid flow properties of fault zones. In: *Journal of Structural Geology* 32 (11), S. 1557–1575. DOI: 10.1016/j.jsg.2010.06.009.

- Grotzinger, J.; Jordan, T. (2017): Press/Siever Allgemeine Geologie 7. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Jähne-Klingberg, F.; Stück, H.; Bebiolka, A.; Bense, F.; Stark, L. (2019): Prognosemöglichkeiten von großräumigen Vertikalbewegungen in Deutschland (9S2018100000). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover, Oktober 2019. Online verfügbar unter https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Geowissenschaftlich_%20Kriterien/2019_10_28_prognosemoeglichkeiten_vertikalbewegungen_abschlussbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=5, zuletzt geprüft am 15.09.2020.
- Jentzsch, G. (2001): Vulkanische Gefährdung in Deutschland. Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte. Jena, 26.07.2001.
- Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe (2016): Verantwortung für die Zukunft, Ein faires und transparentes Verfahren für die Auswahl eines nationalen Endlagerstandortes (K-Drs., 268), 2016.
- Lange, J.-M.; Dieter, C.; Wagner, G. (2008): Apatitspaltspurdaten zur postvariszischen thermotektonischen Entwicklung des sächsischen Grundgebirges – erste Ergebnisse [Apatite fission track data for the Postvariscan thermotectonic evolution of the Saxon basement – first results]. In: *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften* 159, S. 123–132. DOI: 10.1127/1860-1804/2008/0159-0123.
- May, F. (2019): Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland (9S2018090000). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover, Juni 2019.
- Menning, M.; Hendrich, A. (2016): Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2016, Std 2016 = Stratigraphic table of Germany 2016 ; STG 2016. Potsdam: GeoForschungszentrum. 1 Blatt.
- Prinz, H.; Strauß, R. (2018): Ingenieurgeologie 6. Aufl. 2018. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- StandAG - Entwurf (2017): Deutscher Bundestag. Entwurf eines Gesetzes zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetze, StandAG - Entwurf.
- StandAG (2017): Deutscher Bundestag. Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz - StandAG), StandAG, Fassung vom Standortauswahlgesetz vom 05.05.2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 16 des Gesetzes vom 20.07.2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist.
- Zemke, J. (2020): Gutachten zur Prüfung des aktuellen Standes des Ausschlusskriteriums "vulkanische Aktivität" laut § 22 Abs. 2 Nr. 5 Standortauswahlgesetz, Prognose vulkanische Aktivität. Mittenwalde, 15.08.2020.

Anhang

Anhang I. Dokumentensystematik

Quelle		Titel des Dokuments	Dateiname
Bezeichnung laut BGE-Homepage			
Steckbrief zur Anwendungsmethodik der Mindestanforderungen	Anwendungsmethodik der Mindestanforderungen nach § 23 Standortauswahlgesetz		20200629_Onlinekonsultation_Methodik_MA
Ergänzung zum Methodensteckbrief "Bergbauliche Tätigkeit"	Ergänzungen zum Steckbrief für das Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“		20200707_Ergaenzung_Steckbrief_Bergbauliche_Taetigkeiten_ReS
Methodensteckbrief zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien	Methodik zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien		20200506_Methodik_geoWK_Endfassung
Glossar zum Methodensteckbrief "Aktive Störungszone"	Glossar zum Steckbrief „Aktive Störungszone“		20200430_Endfassung_-_Glossar_Aktive_Stoerungszonen
Ergänzung zum Methodensteckbrief "Aktive Störungszone"	Ergänzungen zum Steckbrief für das Ausschlusskriterium „Aktive Störungszone“		20200430_Endfassung_-_Ergaenzung_Steckbrief_Aktive_Stoerungszonen
Methodensteckbrief: Teil-Ausschlusskriterium Bergbau	Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“ – Bergbau		20200407_Endfassung_Steckbrief_AK_Bergbau
Methodensteckbrief "aktive Störungszone"	Ausschlusskriterium „Aktive Störungszone“		20200325_Endfassung_Steckbrief_Stoerungen
Glossar zum Methodensteckbrief "großräumige Vertikalbewegungen"	Glossar zu Ausschlusskriterium „Großräumige Vertikalbewegungen“		20200317_Endfassung_Onlinekonsultation_Glossar_mit_GZ
Methodensteckbrief: Ausschlusskriterium großräumige Vertikalbewegungen	Ausschlusskriterium „Großräumige Vertikalbewegungen“		20200317_Endfassung_-_Onlinekonsultation_Ausschlusskriterium_Hebungen
Methodensteckbrief zur Ausschussmethodik "Grundwasseralter"	Ausschlusskriterium „Grundwasseralter“		20200226_Onlinekonsultation_-_Ausschlusskriterium_Grundwasseralter
Methodensteckbrief: Ausschlusskriterium Vulkanismus	Ausschlusskriterium „Vulkanismus“		20200128_Methodensteckbrief_AK_Vulkanismus
Methodensteckbrief: Ausschlusskriterium Seismische Aktivität	Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“		20200110_Onlinekonsultation_AK_Seismitaet_Endfassung
Methodensteckbrief: Teil-Ausschlusskriterium Bohrungen	Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“ – Bohrungen		20191113_Steckbrief_Bohrungen_barrierefrei_geschuetzt
Summe			