

Prof. Dr. Randolph Rausch
Institut für Angewandte Geowissenschaften
Technische Universität Darmstadt
Schnittspahnstraße 9
64287 Darmstadt

Gutachten zur Anwendung der §§ 22-24 Standortauswahlgesetz für die Standorte Gorleben und Waddekath (Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung) anhand von Akteneinsicht bei der Bundesgesellschaft für Endlagerung

Auftraggeber: Nationales Begleitgremium
Geschäftsstelle
Buchholzweg 8
13627 Berlin

Vergabestelle: Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau

Auftragsdatum: 3. August 2020

Projektnummer: 146192

Autor: Prof. Dr. Randolph Rausch

Darmstadt, 15. Oktober 2020



Prof. Dr. Randolph Rausch

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Vorbemerkungen und Aufgabenstellung	3
Akteneinsicht	4
Datengrundlage für die Lokalitäten Gorleben und Waddekath	4
Bewertung §§ 22-24	5
§ 22 Ausschlusskriterien	5
§ 23 Mindestanforderungen	11
§ 24 Geowissenschaftlichen Abwägungskriterien	15
Zusammenfassende Bewertung der Anwendung der §§ 22-24	19
Empfehlungen	20
Literaturverzeichnis	21
Anlage	22

Vorbemerkungen und Aufgabenstellung

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat nach § 13 Absatz 1 StandAG unter Anwendung der in den §§ 22-24 StandAG festgelegten geowissenschaftlichen Anforderungen und Kriterien Teilgebiete zu ermitteln, die günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen. Das Ergebnis ist von der BGE gemäß § 13 Absatz 2 Satz 3 StandAG in einem Zwischenbericht zu veröffentlichen.

Das Nationale Begleitgremium (NBG) beabsichtigt noch vor der Veröffentlichung des „Zwischenberichts Teilgebiete“ sein Recht auf Einsichtnahme in Akten, Unterlagen und geologische Daten bei der BGE wahrnehmen und sich wissenschaftlich zu Fragen der Standortauswahl im Hinblick auf die drei nach § 1 Abs. 3 StandAG grundsätzlich für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Betracht kommenden Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein beraten lassen. Dabei sollen gutachterlich im Wege einer vergleichenden Betrachtung für jeweils zwei Gebiete mit dem gleichen Wirtsgestein stichprobenartig die Akten, Unterlagen und geologischen Daten der BGE gesichtet und hinsichtlich der nach StandAG anzuwendenden Ausschlusskriterien (§ 22 StandAG), Mindestanforderungen (§ 23 StandAG) sowie geowissenschaftlicher Abwägungskriterien (§ 24 StandAG) bewertet werden.

Die BGE hat angekündigt, den Zwischenbericht Teilgebiete am 28. September 2020 zu veröffentlichen. Bis dahin möchte das NBG einen Eindruck von der Anwendung der §§ 22-24 StandAG durch die BGE erhalten und kritisch überprüfen lassen.

Hierzu wurde ich am 3. August 2020 von der NBG mit dem „Gutachten zur Anwendung der §§ 22-24 Standortauswahlgesetz für die Standorte Gorleben und Waddekath (Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung) anhand von Akteneinsicht bei der Bundesgesellschaft für Endlagerung“ beauftragt.

Im Rahmen eines persönlichen Besuchs bei der BGE in Peine wurde von mir stichprobenartig Einsicht in die dort vorliegenden Akten, Unterlagen und geologischen Daten genommen und die Lokationen Gorleben und Waddekath (Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung) begutachtet. Die Begutachtung der Lokationen soll die fachliche Bewertung der Anwendung der §§ 22-24 StandAG durch die BGE umfassen und eine Schlussfolgerung enthalten, ob die Kriterien nach StandAG für die beiden Lokationen von der BGE nachvollziehbar angewendet wurden.

Die Ergebnisse der Akteneinsicht bei der BGE sind im vorliegenden Gutachten zusammengefasst. Zum Gutachten gehören neben der Begutachtung auch Handlungsempfehlungen an das NBG zu Art und Umfang für weitere und vertiefende Gutachten.

Akteneinsicht

In der Woche vom 17. bis 21. August 2020 wurde von mir im Rahmen eines persönlichen Besuchs bei der BGE in Peine die Akteneinsicht durchgeführt. Bei meinem Besuch habe ich die bei der BGE vorliegenden Akten, Unterlagen und geologischen Daten zu den Lokationen Gorleben und Waddekath stichprobenartig eingesehen. Weiterhin wurde mir das methodische Vorgehen bei der Anwendung der „Ausschlusskriterien“ (§ 22), der „Mindestanforderungen“ (§ 23) und der „Geowissenschaftliche Abwägungskriterien“ (§24) von der BGE vorgestellt. Eine Akteneinsicht zur Beurteilung der Anwendung des § 24 „Geowissenschaftliche Abwägungskriterien“ der Lokationen war nicht möglich, da die Bearbeitung hierzu noch nicht abgeschlossen war und diese nach Aussagen der BGE erst kurz vor der Veröffentlichung des „Zwischenberichts Teilgebiete“ fertiggestellt sein wird. Nach Rücksprache mit dem NBG wurde die Beurteilung der Anwendung des § 24 deshalb nach der Veröffentlichung des „Zwischenberichts Teilgebiete“ durchgeführt. Zwischenergebnisse zur Anwendung der §§ 22 und 23 Standortauswahlgesetz wurden für die Standorte Gorleben und Waddekath im Rahmen der 43. NBG-Sitzung am 26. September 2020 von mir vorgestellt. Die Präsentation ist vom NBG online gestellt und kann unter dem Link: <https://www.youtube.com/watch?v=vxzbcKy9V0> aufgerufen werden.

Datengrundlage für die Lokalitäten Gorleben und Waddekath

Grundlage für die Standortauswahl sind im Wesentlichen Bohrungsinformationen, geologische Karten, geologische 3D-Modelle, Fachliteratur, Gutachten, fachliche Stellungnahmen sowie Informationen der Bundes- und Landesbehörden; insbesondere Unterlagen der staatlichen Geologischen Dienste des Bundes und der Länder.

Die Akteneinsicht ergab, dass sowohl für Gorleben als auch für Waddekath genügend belastbare Daten vorliegen, um die Anwendung der §§ 22-24 „Ausschlusskriterien“, „Mindestanforderungen“ und „Geowissenschaftliche Abwägungskriterien“ der Lokationen zu bewerten. Anzumerken ist, dass für Gorleben aufgrund der umfangreichen Untersuchungen seit den 70er-Jahren des letzten Jahrhunderts sehr umfangreiche und detaillierte Unterlagen vorhanden sind. Die Datenlage ist für Waddekath in Vergleich zu Gorleben deutlich geringer; für die Beantwortung der Fragestellungen zur Ermittlung der Teilgebiete aber ausreichend.

Bewertung §§ 22-24

In den nachfolgenden Kapiteln werden die methodische Umsetzung der §§ 22-24, die zugehörige Datengrundlage und die Ergebnisse der Akteneinsicht beschrieben. Weiterhin erfolgt eine Beurteilung der fachlichen Bewertung der Lokalitäten.

§ 22 Ausschlusskriterien

(1) *Ein Gebiet ist nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn mindestens eines der Ausschlusskriterien nach Absatz 2 in diesem Gebiet erfüllt ist.*

(2) *Die Ausschlusskriterien sind:*

- 1. großräumige Vertikalbewegungen*
- 2. aktive Störungszonen*
- 3. Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit*
- 4. seismische Aktivität*
- 5. vulkanische Aktivität*
- 6. Grundwasseralter*

§ 22 (1) Großräumige Vertikalbewegungen

§ 22 (2) 1: *... es ist eine großräumige geogene Hebung von im Mittel mehr als 1 mm pro Jahr über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahren zu erwarten ... (> 1 km in 1 Mio. Jahren).*

Ausschlussmethodik: Qualitative Abschätzung ob für Regionen in Deutschland ein Überschreiten von 1 km Hebung innerhalb von einer Million Jahren wahrscheinlich ist.

Datengrundlage: Grundlage zur Beurteilung ist die deutschlandweite Betrachtung großräumiger Vertikalbewegungen basierend auf den BGR-Abschlussbericht „Standortauswahl - Prognose von Hebungen - Prognosemöglichkeiten von großräumigen Vertikalbewegungen für Deutschland“ von JÄHNE-KLINGBERG, F., STÜCK, H., BEBIOLEKA, A., BENSE, F., STARK, L. (2019).

Akteneinsicht: Der BGR-Bericht zu großräumigen Vertikalbewegungen wurde eingesehen. Nach der Einschätzung von JÄHNE-KLINGBERG ET AL. (2019) kommt es auf der Basis des aktuellen Prozessverständnisses in Deutschland innerhalb des Nachweiszeitraums von einer Million Jahren wahrscheinlich zu keinen Hebungsbeträgen von 1000 m. Aus diesem Grund werden auf Basis des Ausschlusskriteriums „großräumige Vertikalbewegungen“ keine Gebiete in Deutschland ausgeschlossen.

Bewertung: Die Bewertung beider Lokalitäten ist auf Grundlage der vorhandenen Entscheidungsunterlagen möglich. Das Kriterium führt nicht zum Ausschluss der Lokalitäten Gorleben und Waddekath.

§ 22 (2) Aktive Störungszonen

§ 22 (2) 2: ... aktive Störungszonen 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.

Ausschlussmethodik

- Auswahl eines pauschalen Sicherheitsabstands von 1 km um die als aktiv klassifizierte Störungsspur.
- Ausschluss des sich ergebenden Volumens von der Geländeoberkante vertikal bis in 1500 m Tiefe.
- Bei bekannter Raumlage der Störungsfläche wird der Sicherheitsabstand parallel zur Störungsfläche angelegt und der resultierende Volumenkörper ausgeschlossen.
- Um diese dreidimensionale Information auf einer Karte ausweisen zu können, wird der Ausschlussraum entlang der Störungsfläche vertikal an die Erdoberfläche projiziert.

Akteneinsicht: Die Unterlagen zu Störungszonen wurden für beide Lokalitäten eingesehen. Für beide Lokalitäten liegen tektonische Karten der staatlichen geologischen Dienste vor, die den Verlauf aktiver und inaktiver Störungen zeigen.

Bewertung: Eine fachliche Bewertung der Störungszonen beider Lokalitäten ist auf der Grundlage der vorhandenen Entscheidungsunterlagen möglich.

§ 22 (2) Atektonische Vorgänge

§ 22 (2) 2: ... atektonische beziehungsweise aseismische Vorgänge [...], die zu ähnlichen Konsequenzen für die Sicherheit eines Endlagers wie tektonische Störungen führen können, sind wie diese zu behandeln.

Ausschlussmethodik

- Vorgänge mit Entstehungstiefen > 300 m werden mit 1 km Sicherheitsabstand in allen endlagerrelevanten Tiefen ausgeschlossen.
- Vorgänge mit Entstehungstiefen < 300 m werden nicht ausgeschlossen.
- Ermittlung von Entstehungstiefen mithilfe von 3D-Modellen.

Akteneinsicht: Daten zu Erdfällen, Subrosionsgebieten, Karstgefährdungsgebieten wurden für beide Lokalitäten eingesehen. Für beide Lokalitäten liegen Karten der staatlichen geologischen Dienste vor.

Bewertung: Eine fachliche Bewertung atektonischer Vorgänge beider Lokalitäten ist auf der Grundlage der vorhandenen Entscheidungsunterlagen möglich.

§ 22 (3a) Einflüsse von gegenwärtigen/ früheren Bergbau

§ 22 (2) 3a: *... 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 ...*

Ausschlussmethodik:

Benötigte Mindestinformationen:

- Größte laterale Erstreckung des Bergwerks.
- Maximale Teufe des Bergwerks.
- Projizierung eines dreidimensionalen Körpers, der die vereinfachte Geometrie des Ausschlusskörpers repräsentiert (Darstellung in 2D).
- Sofern nicht vorhanden: Ergänzung eines pauschalen Einwirkungsbereichs der bergbaulichen Tätigkeit abhängig von dessen maximaler Teufe.

Anmerkung: Abweichend von der oben erläuterten Anwendungsmethode werden bergbauliche Aktivitäten zur Erkundung von Endlagerstandorten behandelt. Gemäß § 22 Abs. 3 StandAG bleiben „Folgen von Maßnahmen zur Erkundung potenzieller Endlagerstandorte [...] bei der Anwendung des Kriteriums nach Absatz 2 Nummer 3 außer Betracht.“ Demnach werden die zur Erkundung des Salzstocks Gorleben als potentieller Endlagerstandort durchgeführten bergbaulichen Tätigkeiten und der dabei entstandenen über- und untertägigen Infrastruktur bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“ nicht berücksichtigt.

Akteneinsicht: Die Daten konnten für beide Lokalitäten eingesehen werden. Für beide Lokalitäten gibt es keine Einflüsse von gegenwärtigen und früheren Bergbau.

Bewertung: Eine fachliche Bewertung beider Lokalitäten ist auf der Grundlage der vorhandenen Entscheidungsunterlagen möglich. Das Kriterium führt nicht zum Ausschluss der Lokalitäten Gorleben und Waddekath.

§ 22 (3b) Einflüsse alter Bohrungen

§ 22 (2) 3b: *... vorhandene alte Bohrungen dürfen die Barrieren eines Endlagers, die den sicheren Einschluss gewährleisten, in ihrer Einschlussfunktion nachweislich nicht beeinträchtigen; ...*

Ausschlussmethodik: Zur Ermittlung von ausgeschlossenen Gebieten werden Bohrungen verwendet, deren Einwirkungsbereich den endlagerrelevanten Bereich von 300 bis 1500 m unter GOK erreicht. Die ausgeschlossenen Gebiete werden durch Erzeugung von Sicherheitsabständen mit einem Radius von 25 m um die Bohrpfade generiert sowohl radial um die Bohrpfade als auch in Richtung des jeweiligen Bohrverlaufs (kuppelartig um die Bohrendpunkte).

Akteneinsicht: Daten zu Bohrungen liegen in der BGE digital vor und wurden für die Lokalität Gorleben stichprobenartig und für die Lokalität Waddekath vollständig eingesehen.

Eine fachliche Bewertung beider Lokalitäten ist auf der Grundlage der vorhandenen Entscheidungsunterlagen möglich. Das Kriterium führt nicht zum Ausschluss der Lokalitäten Gorleben und Waddekath.

§ 22 (4) Seismische Aktivität

§ 22 (2) 4: ... *die örtliche seismische Gefährdung ist größer als in Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA 2011/-01 ...*

Ausschlussmethodik:

- Auswahl der relevanten Datensätze (Flächen mit Erdbebenzonen > 1).
- Projektion der Flächen mit Erdbebenzonen 2 und 3 in endlagerrelevante Tiefen.
- Ausschluss des sich ergebenden Volumenkörpers.

Datengrundlage:

- Erdbebenzone 0 bis 3 (Polygone) aus der DIN EN 1998-1/NA: 2011-01
- Erdbebenereignisse (Punkte) aus den Erdbebenkatalogen der Länder

Anmerkung: In dem „Gutachten für das Bundesumweltamt zu § 22 Abs. 2 Nr. 4 Standortauswahlgesetz“ vom 14.09.2020 kommt der Geophysiker F. Wenzel zu dem Ergebnis, dass das Ausschlusskriterium des StandAG § 22 Abs. 2 Nr. 4 nicht geeignet ist, Gebiete mit sehr hoher seismischer Gefährdung für ein Endlager wissenschaftlich rational auszuschließen. Er empfiehlt deshalb eine Zurückstellung der Einbeziehung des StandAG § 22 Abs. 2 Nr. 4 zum gegenwärtigen Zeitpunkt.

Akteneinsicht: Die Unterlagen wurden eingesehen. Die Lokalitäten Gorleben und Waddekath liegen bei Anwendung der Ausschlussmethodik nicht im Bereich aktiver Erdbebenzonen. Das bedeutet, dass es nicht zum Ausschluss der Lokalitäten Gorleben und Waddekath kommt.

Bewertung: Eine fachliche Bewertung beider Lokalitäten ist auf der Grundlage der vorhandenen Entscheidungsunterlagen möglich.

§ 22 (5) Vulkanische Aktivität

§ 22 (2) 5: ... *es liegt quartärer Vulkanismus vor oder es ist zukünftig vulkanische Aktivität zu erwarten ...*

Aktuelle Ausschlussmethodik: Ausschluss quartärer Eruptionszentren inkl. 10 km Sicherheitssaum bis in sämtliche endlagerrelevanten Tiefen.

Datengrundlage: Heterogene Datenbasis, vereinzelt Angaben zu quartärem Vulkanismus. Keine Angaben zur Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität.

Prognosemöglichkeiten (May 2019, BGR): Erwartete Aktivität in Eifel und Vogtland. Mögliche Aktivität in einigen tertiären Vulkanfeldern. Vulkanische Aktivität in weiteren Gebieten nicht ausgeschlossen. (MAY, F. (2019): Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland. - Kurzbericht, BGR Hannover).

Ein Gutachten zu den von MAY (2019) dargestellten Prognosen wurde im Auftrag des NBG durchgeführt und auf der Website des NBG veröffentlicht (ZEMKE, J. (2020): Gutachten zur Prüfung des aktuellen Standes des Ausschlusskriteriums „vulkanische Aktivität“ laut § 22 Abs. 2 Nr. 5 Standortauswahlgesetz - Prognose vulkanische Aktivität.- NBG.)

Akteneinsicht: Die Lokalitäten Gorleben und Waddekath liegen außerhalb von Gebieten mit vulkanischer bzw. erwarteter vulkanischer Aktivität.

Bewertung: Eine fachliche Bewertung beider Lokalitäten ist auf der Grundlage der vorhandenen Entscheidungsunterlagen möglich. Das Kriterium führt nicht zum Ausschluss der Lokalitäten Gorleben und Waddekath.

§ 22 (6) Grundwasseralter

§ 22 (2) 6: ... *in den Gebirgsbereichen, die als einschlusswirksamer Gebirgsbereich (ewG) oder Einlagerungsbereich in Betracht kommen, sind junge Grundwässer nachgewiesen worden ...*

Ausschlussmethodik:

- Als Bewertungsgrundlage kann die Konzentration der Isotope Tritium und Kohlenstoff-14 verwendet werden.
- Das Ausschlusskriterium Grundwasseralter erfordert prinzipiell Kenntnisse über die räumliche Ausdehnung einschlusswirksamer Gebirgsbereiche.
- Im aktuellen Verfahrensschritt: punktueller Ausschluss.
- Bei Grundwasser-Probenahmestellen in endlagerrelevanten Tiefenbereichen handelt es sich allgemein um Bohrungen oder Bergwerke. Es kommt daher bei Anwendung des Ausschlusskriteriums „Grundwasseralter“ in Phase I des Standortauswahlverfahrens zu keinem zusätzlichen Ausschluss.

Anmerkung zur Ausschlussmethodik: Mit der Bestimmung der Tritiumgehalte (^3H) im Grundwasser ist eine Altersdatierung für Grundwasser möglich, das nach 1953 gebildet

wurde. D.h., dass Tritium nur in sehr jungem Grundwasser vorkommt. Mit dem Kohlenstoff-14-Verfahren ist eine Grundwasseraltersdatierung von tausende bis zehntausende Jahre (etwa < 30.000 Jahre) möglich. Bei Grundwasserfließzeiten von einer Million Jahren sind diese Verfahren zur Altersbestimmung jedoch nur bedingt geeignet. In der Anlage dieses Gutachtens sind deshalb weitere „Methoden der Grundwasseraltersbestimmung sehr alter Grundwässer“ zusammengestellt und diskutiert (Quelle: LORENZ, G. & HEIDINGER, M. & EICHINGER, F., Fa. Hydroisotop, 2020).

Akteneinsicht: In der Phase I des Standortauswahlverfahrens kommt es bei der Anwendung des Auswahlkriteriums „Grundwasseralter“ zu keinem zusätzlichen Ausschluss.

Bewertung: Die Bewertung beider Lokalitäten findet nicht in Phase I des Standortauswahlverfahrens statt. Das Kriterium führt also nicht zum Ausschluss der Lokalitäten Gorleben und Waddekath.

Zusammenfassendes Ergebnis der Bewertung der Lokalitäten Gorleben und Waddekath nach § 22 Ausschlusskriterien

Für die Lokalitäten Gorleben und Waddekath bestehen keine Ausschlusskriterien nach § 22.

§ 23 Mindestanforderungen

§ 23 (1)

Für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle kommen die Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein in Betracht...

→ Mindestanforderung nach §23 (1) ist für die Lokalitäten Gorleben und Waddekath erfüllt. In beiden Fällen ist das Wirtsgestein Steinsalz.

§ 23 (2)

Gebiete, die kein Ausschlusskriterium nach § 22 erfüllen, sind nur als Endlagerstandort geeignet, wenn sämtliche in Absatz 5 genannten Mindestanforderungen erfüllt sind.

§ 23 (5)

Die Mindestanforderungen sind:

1. Gebirgsdurchlässigkeit

In einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich muss die Gebirgsdurchlässigkeit k_f weniger als $k_f = 1 \cdot 10^{-10}$ m/s betragen.

→ Mindestanforderung ist für die Lokalitäten Gorleben und Waddekath erfüllt. Der k_f -Wert für Steinsalz liegt nach Literaturangaben in der Größenordnung von $k_f = 1 \cdot 10^{-11}$ bis $1 \cdot 10^{-13}$ m/s.

Anmerkung: Im StandAG wird die Durchlässigkeit des Gesteins durch den Durchlässigkeitsbeiwert (k_f) parametrisiert. Besser wäre es, anstelle des k_f -Wertes die Permeabilität (K) des Gesteins zu betrachten. Die Permeabilität (K) beschreibt die Durchlässigkeit eines Gesteins für Flüssigkeiten oder Gase. Die Permeabilität ist unabhängig von den Eigenschaften der Flüssigkeit, während der k_f -Wert neben der Permeabilität des Gesteins zusätzlich noch die Dichte und Viskosität des Fluids beinhaltet. Es wird deshalb vorgeschlagen den Durchlässigkeitsbeiwert (k_f) durch die Permeabilität (K) zu ersetzen.

2. Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

Der Gebirgsbereich, der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen soll, muss mindestens 100 Meter mächtig sein; ...

→ Mindestanforderung ist nach den vorliegenden geologischen Unterlagen für die Lokalitäten Gorleben und Waddekath erfüllt.

3. Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs

... die Oberfläche eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs muss mindestens 300 Meter unter der Geländeoberfläche liegen. In Gebieten, in denen im Nachweiszeitraum

mit exogenen Prozessen wie insbesondere eiszeitlich bedingter intensiver Erosion zu rechnen ist, deren direkte oder indirekte Auswirkungen zur Beeinträchtigung der Integrität eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs führen können, muss die Oberfläche des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs tiefer als die zu erwartende größte Tiefe der Auswirkungen liegen; soll ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich im Gesteinstyp Steinsalz in steiler Lagerung ausgewiesen werden, so muss die Salzschwebe über dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich mindestens 300 Meter mächtig sein; ...

→ Mindestanforderung ist nach den vorliegenden geologischen Unterlagen für die Lokalitäten Gorleben und Waddekath erfüllt.

4. Fläche des Endlagers

... ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich muss über eine Ausdehnung in der Fläche verfügen, die eine Realisierung des Endlagers ermöglicht; in den Flächenbedarf des Endlagers eingeschlossen sind Flächen, die für die Realisierung von Maßnahmen zur Rückholung von Abfallbehältern oder zur späteren Auffahrung eines Bergungsbergwerks erforderlich sind und verfügbar gehalten werden müssen; ...

Anmerkung: Der Flächenbedarf für Salz beträgt minimal 3 km²

→ Mindestanforderung ist nach den vorliegenden geologischen Unterlagen für die Lokalitäten Gorleben und Waddekath erfüllt.

5. Erhalt der Barrierewirkung

...es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Integrität des einschluss- wirksamen 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.

→ Mindestanforderung ist nach den vorliegenden geologischen Unterlagen für die Lokalitäten Gorleben und Waddekath erfüllt.

Methodik zur Ermittlung der Mindestanforderungen

Die Methodik der BGE zur Ermittlung der Mindestanforderungen 2 bis 5 auf der Basis eines geologischen 3D-Modells ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

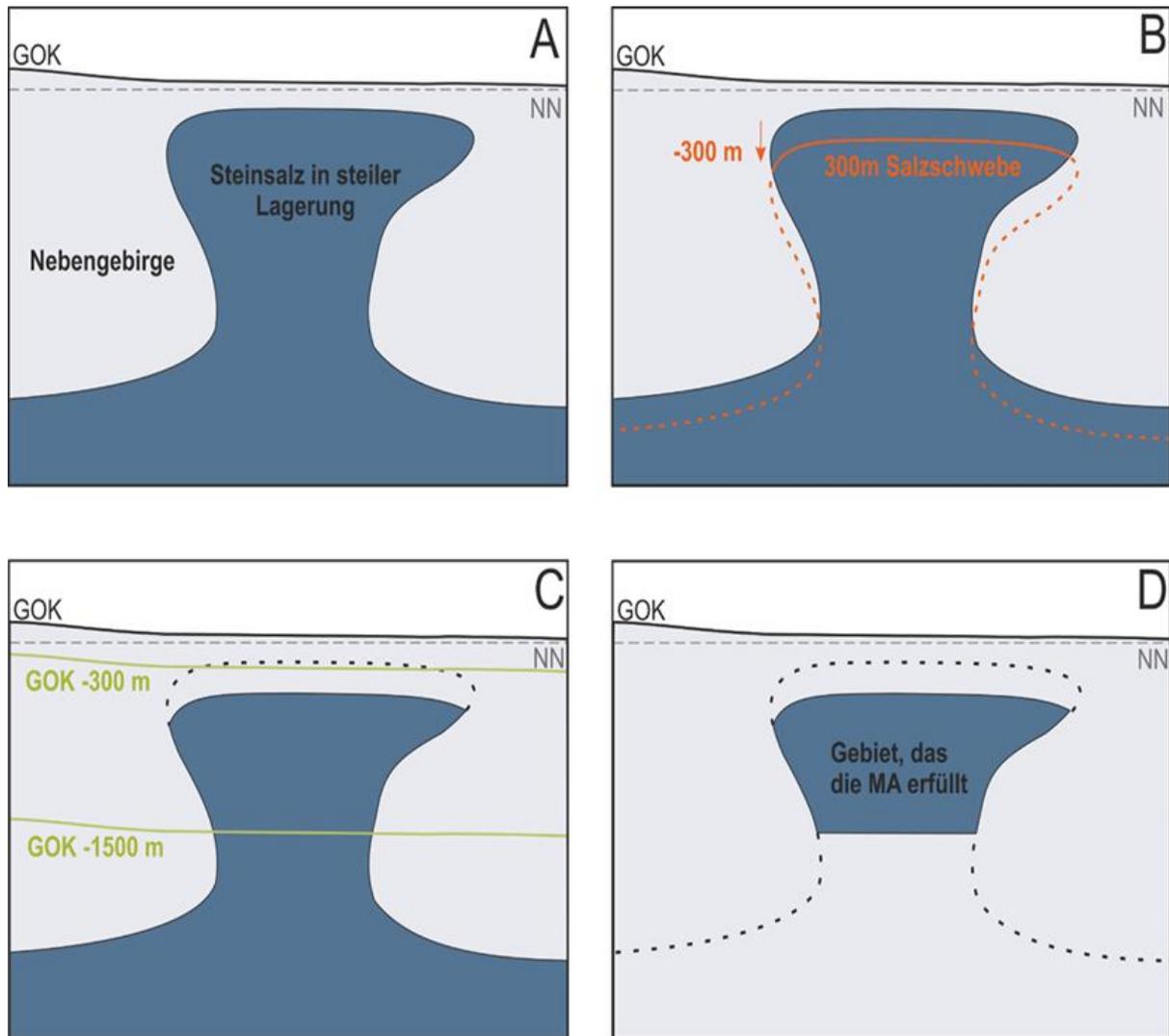


Abbildung 1: A: Hüllflächen der Salzstrukturen aus den geologischen 3D-Modellen der Bundes- und Landesbehörden. B: Absenken der Salzstruktureroberfläche um 300 m (sicherstellen von 300 m Salzscheibe, § 23 StandAG). C: Verschnitt der Salzstrukturen mit dem digitalen Geländemodell abgesenkt um 300 und 1500 m prüfen, wo mind. 100 m Mächtigkeit vorhanden ist. D: Verbleibende Gebiete erfüllen alle Mindestanforderungen (Quelle: BGE (2020): Zwischenbericht Teilgebiete.- BGE; Peine).

Bewertung: Die von der BGE angewendete Methodik ist klar definiert und eindeutig nachvollziehbar.

Datengrundlage Gorleben

Datengrundlage für die Lokalität Gorleben ist im Wesentlichen das Geologische 3D-Modell von Niedersachsen: GTA3D. Eine Beschreibung des Modells findet sich in:

BOMBIEN, H., HOFFERS, B., BREUCKMANN, S., HELMS, M., LADEMANN, K., LANGE, M., OELRICH, A., REIMANN, R., RIENÄCKER, J., SCHMIDT, K. (2012): Der Geotektonische Atlas von Niedersachsen und dem deutschen Nordseesektor als geologisches 3D-Modell. - GMT, 48: 6-13.

Datengrundlage Waddekath

Die Salzstruktur Waddekath liegt zum allergrößten Teil in Sachsen-Anhalt; das Land hat bisher kein geologisches 3D-Modell übermittelt. Die Erzeugung der Niveauschitte und Shape-Dateien für die Erstellung des geologischen 3D-Modells erfolgte auf der Grundlage von Daten und Karten des „Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area“ (Quelle: DOORNENBAL, H. & STEVENSON, A. (Hrsg.) (2010): Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area. Houten: EAGE Publications).

Das Verfahren zur 3D-Modellierung ist in der nachfolgenden Publikation beschrieben. 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. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR); Hannover.

Ergebnis der Bewertung der Lokalitäten Gorleben und Waddekath nach § 23 Mindestanforderungen

Für die Lokalitäten Gorleben und Waddekath sind die Mindestanforderungen nach § 23 erfüllt. Dies bedeutet, dass beide Lokalitäten kein Ausschlusskriterium gemäß § 22 StandAG und alle Mindestanforderungen gemäß § 23 Abs. 2 StandAG erfüllen. Beide Lokalitäten werden somit zu „**identifizierten Gebieten**“. Im nächsten Arbeitsschritt werden diese identifizierten Gebiete geowissenschaftlich abgewogen.

§ 24 Geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

Mit den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien wird bewertet, ob die identifizierten Gebiete Gorleben und Waddekath als Standort für ein Endlager hochradioaktiver Abfälle geeignet sind. Im Standortauswahlgesetz (§ 24 Absatz 1 StandAG) heißt es:

Anhand geowissenschaftlicher Abwägungskriterien wird jeweils bewertet, ob in einem Gebiet eine günstige geologische Gesamtsituation vorliegt. Die günstige geologische Gesamtsituation ergibt sich nach einer sicherheitsgerichteten Abwägung der Ergebnisse zu allen Abwägungskriterien.

Bei der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien werden elf Kriterien mit Hilfe von 40 Indikatoren bewertet (Anlagen 1 bis 11 zu § 24 StandAG). Diese elf Abwägungskriterien und die zugrundeliegenden Daten für Steinsalz in steiler Lagerung sind:

- Kriterium 1: Transport radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich.
Das Kriterium wird mit Referenzdatensätzen für Steinsalz abgewogen.
- Kriterium 2: Konfiguration der Gesteinskörper.
Das Kriterium wird mit gebietsspezifischen Daten abgewogen.
- Kriterium 3: Räumliche Charakterisierbarkeit.
Das Kriterium wird für Steinsalz in steiler Lagerung mit gebietsspezifischen Daten bewertet.
- Kriterium 4: Langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse.
Das Kriterium wird für Steinsalz in steiler Lagerung mit Hilfe von Referenzdatensätzen bewertet.
- Kriterium 5: Günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften.
Das Kriterium wird mit Referenzdatensätzen abgewogen.
- Kriterium 6: Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten.
Das Kriterium wird mit Referenzdatensätzen abgewogen.
- Kriterium 7: Gasbildung.
Das Kriterium wird mit Referenzdatensätzen abgewogen.
- Kriterium 8: Temperaturverträglichkeit.
Das Kriterium wird mit Referenzdatensätzen abgewogen.
- Kriterium 9: Rückhaltevermögen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich.
Das Kriterium wird mit Referenzdatensätzen abgewogen.
- Kriterium 10: Hydrochemischen Verhältnisse.
Das Kriterium wird mit Referenzdatensätzen abgewogen.
- Kriterium 11: Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge.
Das Kriterium wird mit gebietsspezifischen Datensätze abgewogen.

Von den 11 Abwägungskriterien werden für Steinsalz in steiler Lagerung acht Kriterien anhand von Referenzdatensätzen und drei Kriterien mit gebietsspezifischen Daten abgewogen. Diese Referenzdatensätze beruhen auf wirtsgesteinspezifischen Messungen und Angaben aus der Fachliteratur (BGE 2020: Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG - Grundlagen. Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)). Referenzdatensätze machen eine Bewertung der Kriterien und Indikatoren möglich, wenn nicht genügend oder auch keine gebietsspezifischen Daten vorliegen. Dieser Ansatz ist in den Geowissenschaften allgemein üblich, wobei aber im Zuge weiterer detaillierter Erkundungen die Referenzdaten durch gebietsspezifische Daten ersetzt und wenn erforderlich die angenommenen Modellvorstellungen korrigiert werden.

Um zu vermeiden, dass in der frühen Phase des Standortauswahlverfahrens Gebiete aufgrund der Datenlage unterschätzt und nicht berücksichtigt werden, obwohl sie für einen dauerhaften Einschluss der hochradioaktiven Abfälle geeignet sein könnten, hat die BGE entschieden, dass die Referenzdaten so gewählt werden, dass sie im oberen Bereich der physikalisch möglichen Bandbreite des Wirtsgesteins liegen. Mit oberer Bereich ist gemeint, dass bekannte sehr günstige Eigenschaften für das jeweilige Wirtsgestein zugrunde gelegt werden. Der Bewertung liegen Daten zugrunde, die ein ideales Wirtsgestein beschreiben. Wenn die Referenzdatensätze nach und nach durch gebietsspezifische Daten ersetzt werden, kann sich ein Gebiet in der Bewertung somit nicht verbessern, sondern lediglich seine gute Bewertung für das betreffende Kriterium behalten, oder sich verschlechtern.

Anwendung der geologischen Abwägungskriterien: Die BGE hat für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ein Bewertungsmodul entwickelt. Mit dessen Hilfe wird jeder Indikator für jedes Kriterium bewertet. Dieses Bewertungsmodul soll gewährleisten, dass der Bewertungsvorgang nach demselben Schema und mit gleichem Bewertungsmaßstab erfolgt. In die zusammenfassende Bewertung ist zusätzlich die Expertise von BGE-Fachleuten einbezogen worden, die nicht an der Bearbeitung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien beteiligt gewesen sind. Am Ende steht eine verbalargumentative zusammenfassende Bewertung als Ergebnis. Wird in dieser zusammenfassenden Bewertung festgestellt, dass eine günstige geologische Gesamtsituation vorliegt, wird aus einem identifizierten Gebiet ein Teilgebiet. Lautet die zusammenfassende Bewertung „nicht günstig“, wird daraus kein Teilgebiet. Die Lokalität scheidet dann aus dem Standortauswahlverfahren aus.

Ergebnis der geowissenschaftlichen Abwägung

Lokalität Gorleben: Das Ergebnis der geowissenschaftlichen Abwägung für die Lokalität Gorleben ist, dass das identifizierte Gebiet Salzstruktur Gorleben/Rambow (Gebiet 020_00IG_S_s_z) „nicht günstig“ ist und somit als Teilgebiet für die weitere

Standortsuche ausscheidet. Die Begründung ist in der nachfolgenden Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Ergebnis der geowissenschaftlichen Abwägung für das Gebiet 020_00IG_S_s_z (Salzstock Gorleben/Rambow). Quelle: BGE (2020): Zwischenbericht Teilgebiete.- BGE; Peine.

Gebiet:	020_00IG_S_s_z
Wirtsgestein:	Steinsalz in steiler Lagerung
Bewertung Gebiet:	B: nicht günstig
Begründung Gebiet:	<p>Das identifizierte Gebiet 020_00IG_S_s_z befindet sich im Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung, es handelt es sich um ein Zechsteinsalinar. Es liegt in der Salzstruktur Gorleben/Rambow im Osten von Niedersachsen und teilweise im Bundesland Brandenburg. Es hat eine Fläche von 66 Quadratkilometern und eine Mächtigkeit von maximal 1030 Meter. Die minimale Teufe des identifizierten Gebietes liegt bei 470 Meter unter Geländeoberkante. Acht der elf Kriterien wurden nach dem Referenzdatensatz Steinsalz bewertet (BGE 2020b), dabei sind sechs Kriterien mit „günstig“ und zwei Kriterien mit „nicht günstig“ bewertet.</p> <p>Den gebietsspezifisch bewerteten Kriterien kommt, im Vergleich zu den Referenzdatensätzen, in der jetzigen Phase des Standortauswahlverfahrens eine besondere Bedeutung zu. Eine individuelle Bewertung für jedes identifizierte Gebiet erfolgte für Steinsalz in steiler Lagerung für die Kriterien 2 (Konfiguration), 3 (Charakterisierbarkeit) und 11 (Deckgebirge).</p> <p>Von den drei gebietsspezifisch bewerteten Kriterien wurden das „Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper“ und das „Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit“ mit „günstig“ bewertet.</p> <p>Alle Indikatoren des „Kriteriums zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge“ wurden jedoch mit „ungünstig“ bewertet.</p> <p>Aufgrund der geringen Tiefe des Strukturtops wird die ungünstige Bewertung des Deckgebirges stärker gewichtet.</p> <p>Aus diesem Grund ist nur eingeschränkt damit zu rechnen, dass ein geeigneter einschlusswirksamer Gebirgsbereich gefunden werden kann.</p> <p>Daher erfolgt nach Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien die zusammenfassende Bewertung des identifizierten Gebietes mit "nicht günstig".</p> <p>Weitere Informationen finden sich in BGE (2020k) sowie BGE (2020b).</p> <p>Literatur: BGE (2020b): Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG - Grundlagen. Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE). Peine. BGE (2020k): Teilgebiete und Anwendung Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH</p>

Die Anwendung der Kriterien 1 bis 11 und der zugehörigen Indikatoren wurde von mir im Detail geprüft. Das Ergebnis meiner Prüfung ist, dass die von der BGE durchgeführte Bewertung nachvollziehbar und fachlich korrekt ist.

Lokalität Waddekath: Das Ergebnis der geowissenschaftlichen Abwägung für die Lokalität Waddekath ist, dass das identifizierte Gebiet Salzstruktur Waddekath (Gebiet 062_00TG_146_00IG_S_s_z) „günstig“ ist und somit Teilgebiet für die weitere Standortsuche ist. Die Begründung ist in der nachfolgenden Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Ergebnis der geowissenschaftlichen Abwägung für das Gebiet 062_00TG_146_00IG_S_s_z (Salzstock Waddekath). Quelle: BGE (2020): Zwischenbericht Teilgebiete.- BGE, Peine.

Gebiet:	062_00TG_146_00IG_S_s_z
Wirtsgestein:	Steinsalz in steiler Lagerung
Bewertung Gebiet:	A: günstig
Begründung Gebiet:	<p>Das identifizierte Gebiet 146_00IG_S_s_z befindet sich im Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung, es handelt es sich um ein Zechsteinsalinär. Es liegt in der Salzstruktur Waddekath im Nordwesten von Sachsen-Anhalt und über die Grenze reichend im Osten von Niedersachsen. Es hat eine Fläche von 19 Quadratkilometern und eine Mächtigkeit von maximal 980 Meter. Die minimale Tiefe des identifizierten Gebietes liegt bei 520 Meter unter Geländeoberkante. Acht der elf Kriterien wurden nach dem Referenzdatensatz Steinsalz bewertet (BGE 2020b), dabei sind sechs Kriterien mit „günstig“ und zwei Kriterien mit „nicht günstig“ bewertet.</p> <p>Den gebietsspezifisch bewerteten Kriterien kommt, im Vergleich zu den Referenzdatensätzen, in der jetzigen Phase des Standortauswahlverfahrens eine besondere Bedeutung zu. Eine individuelle Bewertung für jedes identifizierte Gebiet erfolgte für Steinsalz in steiler Lagerung für die Kriterien 2 (Konfiguration), 3 (Charakterisierbarkeit) und 11 (Deckgebirge).</p> <p>Von den drei gebietsspezifisch bewerteten Kriterien wurden das „Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper“ und das „Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit“ mit „günstig“ bewertet.</p> <p>Das „Kriterium zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge“ wurde mit „bedingt günstig“ bewertet.</p> <p>Der Indikator „Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Schelfeigräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten“ wurde mit „bedingt günstig“ bewertet.</p> <p>Daten zu Schelfestörungen liegen zum jetzigen Zeitpunkt nicht flächendeckend vor. Bei vollständiger Datenabdeckung wäre ein Auftreten von Schelfestörungen auf allen Salzstrukturen aufgrund der Tektonik zu erwarten. Entsprechend dem Vorgehen bei den Ausschlusskriterien wird auch hier angenommen, dass Schelfestörungen am Strukturtop des Salzstockes enden (BGE 2020h).</p> <p>Die Indikatoren „Überdeckung mit grundwasserhemmenden Gesteinen“ und „Überdeckung mit erosionshemmenden Gesteinen“ des „Kriteriums zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge“ wurden jedoch ebenfalls mit „bedingt günstig“ bewertet.</p> <p>Im Rahmen der Unsicherheiten der Modellhorizonttiefen und aufgrund der in Relation zur Fläche des identifizierten Gebietes begrenzten betroffenen Fläche wird die Bewertung des Abstands zur Quartärbasis mit bedingt günstig geringer gewichtet.</p> <p>Die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien lässt daher eine günstige geologische Gesamtsituation für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten. Weitere Informationen finden sich in BGE (2020k) sowie BGE (2020b).</p> <p>Literatur: BGE (2020b): Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG - Grundlagen. Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE). Peine. BGE (2020h). Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG. Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE). Peine. BGE (2020k): Teilgebiete und Anwendung Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH</p>

Die Anwendung der Kriterien 1 bis 11 und der zugehörigen Indikatoren wurde von mir im Detail geprüft. Das Ergebnis der Prüfung ist, dass die von der BGE durchgeführte Bewertung nachvollziehbar und fachlich korrekt ist.

Zusammenfassende Bewertung der Anwendung der §§ 22-24

Insgesamt ist mein Eindruck, dass die Arbeiten von der BGE professionell, gewissenhaft, fachlich korrekt und unvoreingenommen durchgeführt wurden. Nachfolgend ist die Bewertung im Detail beschrieben:

- Die aus den § 22 entwickelte Ausschlussmethodik der BGE ist nachvollziehbar und praktikabel.
- Die aus den § 23 entwickelte Methode zur Überprüfung der Mindestanforderungen ist nachvollziehbar und praktikabel.
- Die aus den § 24 entwickelte Methode zur Beurteilung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ist nachvollziehbar und praktikabel.
- Die vorliegenden Daten und Unterlagen sind für die Lokalitäten Gorleben und Waddekath hinreichend, um die in den §§ 22-24 StandAG festgelegten geowissenschaftlichen Anforderungen und Kriterien Teilgebiete zu beurteilen.
- Die Anwendung der §§ 22-24 StandAG und die daraus erhaltenen Ergebnisse für die Lokalitäten Gorleben und Waddekath sind nachvollziehbar und fachlich korrekt.
- Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass im derzeitigen Bearbeitungsstadium nicht alle verfügbaren Informationen zu den jeweiligen Lokationen miteinander im Detail abgeglichen wurden. Dies wurde von der BGE zum einen mit dem dafür notwendigen hohen Zeitaufwand begründet und zum anderen für die Erstellung des Zwischenberichts Teilgebiete als nicht erforderlich angesehen. Ich kann mir aber gut vorstellen, dass dieser Aspekt von Teilen der Öffentlichkeit kritisch bewertet werden wird.

Empfehlungen

In diesem Abschnitt werden Handlungsempfehlungen an das NBG zu Art und Umfang weiterer und vertiefender Gutachten sowie Empfehlungen für das weitere Vorgehen bei der Standortauswahl gegeben.

- Es wird vorgeschlagen, dass für ausgewählte Teilgebiete in Ergänzung der bisherigen stichprobenartigen Akteneinsicht des NBG ein „Peer-Review-Verfahren“ durchgeführt wird. Dazu sollen die gesamten Unterlagen für ein oder mehrere Teilgebiete nochmals von einem unabhängigen nichtstaatlichen Gutachter ausgewertet und gesichtet werden, mit dem Ziel die Anwendung der §§ 22-24 Standortauswahlgesetz vollständig nachzuvollziehen und mit den vorliegenden Ergebnissen der BGE zu vergleichen.
- Die Daten und Unterlagen der bewertenden Gebiete sind in ihrer Menge und Güte extrem unterschiedlich. Es ist wünschenswert, diese für die weitere Beurteilung der Teilgebiete vollständig zu publizieren. Weiterhin wird ein Ranking der Daten und Unterlagen der bewerteten Gebiete vorgeschlagen, um der Öffentlichkeit einen schnellen Überblick zur Datenmenge und -güte der einzelnen Gebiete zu geben. Weiterhin sollte für jedes Gebiet dargestellt werden, welche der Bohrdaten öffentlich zugänglich sind, bzw. durch Rechte Dritter geschützt sind.
- Vor der Veröffentlichung des „Zwischenberichts Teilgebiete“ wäre es meines Erachtens sinnvoll gewesen den Entwurf von den Staatlichen Geologischen Diensten fachlich zu überprüfen. Für die weitere Bearbeitung der Teilgebiete ist es unbedingt erforderlich die Staatlichen Geologischen Dienste mit einzubeziehen, um die dort vorhandene geologische Expertise zu nutzen. Dies gilt insbesondere für Phase II, d.h. bei der geologischen Erkundung potentieller Standorte.
- Bisher noch nicht berücksichtigt ist die geologische Expertise der vielen Geologen*innen in den Umweltbehörden der Kommunen, Landratsämtern etc. Auch dort findet sich eine hohe geologische Expertise, die unbedingt bei der Auswahl der Gebiete mit einbezogen werden muss.

Literaturverzeichnis

BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGER - BGE (2020): Zwischenbericht Teilgebiete.- Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE), Peine.

BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGER -BGE (2020): Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG - Grundlagen. - Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE), Peine.

BOMBIEN, H., HOFFERS, B., BREUCKMANN, S., HELMS, M., LADEMANN, K., LANGE, M., OELRICH, A., REIMANN, R., RIENÄCKER, J., SCHMIDT, K. (2012): Der Geotektonische Atlas von Niedersachsen und dem deutschen Nordseesektor als geologisches 3D-Modell. - GMIT, 48: 6-13.

DOORNENBAL, H. & STEVENSON, A. (Hrsg.) (2010): Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area.- Houten: EAGE Publications.

JÄHNE-KLINGBERG, F., STÜCK, H., BEBIOLEKA, A., BENSE, F., STARK, L. (2019): Standortauswahl - Prognose von Hebungen - Prognosemöglichkeiten von großräumigen Vertikalbewegungen für Deutschland.- BGR-Abschlussbericht; Hannover.

MAY, F. (2019): Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland.- Kurzbericht, BGR Hannover.

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. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR); Hannover.

WENZEL, F. (2020): Gutachten für das Bundesumweltamt zu § 22 Abs. 2 Nr. 4 Standortauswahlgesetz.- NBG; Berlin.

ZEMKE, J. (2020): Gutachten zur Prüfung des aktuellen Standes des Ausschlusskriteriums „vulkanische Aktivität“ laut § 22 Abs. 2 Nr. 5 Standortauswahlgesetz - Prognose vulkanische Aktivität.- NBG; Berlin.

Anlage

Methoden der Grundwasseraltersbestimmung sehr alter Grundwässer

G. LORENZ & M. HEIDINGER & F. EICHINGER

Anschrift der Autoren: Hydroisotop GmbH - Woelkestr. 9, D-85301 Schweitenkirchen

Bei Grundwasseraltersdatierungen sehr alter Grundwässer ist zu unterscheiden, ob man die Untersuchungen

- an Wasserproben aus bewirtschafteten Grundwasservorkommen, z.B. Brunnen der Tiefengeothermie oder Heilwasserbrunnen, oder
- an Wasserproben, die im Zuge von Kurzpumpversuchen bei Forschungsbohrungen gewonnen werden, oder
- an Porenwässern vornehmen möchte.

Geringergiebige, nicht pumpbare Grundwasservorkommen, wo jedoch noch Wasserproben mit speziellen Methoden oder Experimenten gewinnbar sind, stellen eine zusätzliche Zwischenstufe dar.

Bewirtschaftete Brunnen

Bei bewirtschafteten Brunnen sind meistens kontaminationsarme Probenahmen von hohem Volumen und unbegrenzter Dauer möglich. Dies erlaubt die Anwendung verschiedener Methoden. Im Jahr 2020 ist als wichtigste Methode die Datierung mit Krypton-81 (^{81}Kr) für den Altersbereich $> \text{ca. } 50.000$ bis 1 Mio. Jahre zu nennen. Diese Methode wird aktuell (2020) in Deutschland und angrenzenden Ländern erfolgreich angewendet.

Weitere Datierungsmethoden für diesen Altersbereich sind Helium-4 (^4He), Chlor-36 (^{36}Cl) und Iod-129 (^{129}I). Diese Datierungsmethoden wurden bislang hauptsächlich bei sehr großen Beckenstrukturen (Australien, Sahara, Südafrika), meist auch in Kombination mit Krypton-81, vorgenommen. Aufgrund der regional unterschiedlichen Startbedingungen und der in der Rate unbekanntenen Untergrundproduktion unterliegt die Methode von Chlor-36 einer hohen Unsicherheit. Zudem ist die Methode bei höheren Salzgehalten der Wasserproben nochmals verkompliziert und deshalb wenig geeignet, um belastbare Informationen zu gewinnen. Chlor-36 und Iod-129 wurden in Deutschland bislang nur ganz vereinzelt in Studienarbeiten untersucht.

Eine weitere Methode, jedoch nur im Rahmen einer indirekten Datierung sehr alter, wenig Gas führender Grundwässer, ist die quantitative Bestimmung von Helium-4 und Helium-3 in Verbindung mit Neon ($^{20,21,22}\text{Ne}$), empfohlen auch parallel zu Argon ($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$), Krypton und Xenon (NmL/kg). Gasreiche Tiefenwässer liefern hierbei

jedoch aufgrund von Entgasungseffekten trotz umfangreicher Korrekturen oftmals keine ausreichend belastbaren Grundlagendaten.

Für eine effektive Datierung ist die Quantifizierung der Helium-Untergrundproduktion (^4He , ^3He) für die Aquifer- und Umgebungsgesteine sowie die Abschätzung der spezifischen He-Diffusion notwendig. Da dies nur für "geschlossene Systeme" plausibel abzuleiten ist, findet die Methode mit Helium- und Argonisotopen vor allem bei Porenfluiden als Datierungsmethode Anwendung (siehe unten). Bei bewirtschafteten Brunnen werden Heliumisotope als zusätzlicher, relativ gut analysierbarer, indirekter Tracer einbezogen. Weitere indirekte Altersparameter sind verschiedene radioaktive Isotope von Xenon und Uran, die jedoch ebenfalls bislang nur vereinzelt Anwendung in Europa erfahren haben.

Für fundierte, gute Altersdatierungen sehr alter Grundwässer ist auch bei Krypton-81 die zusätzliche Anwendung weiterer Methoden wie Kohlenstoff-14 sowie Klimaparameter (Edelgastemperatur, stabile Wasserisotope) notwendig. Selbstverständlich ist eine Grundwasseraltersbestimmung in den hydrogeologischen/hydrogeochemischen, sowie regional-geologischen Kontext einzuarbeiten. Dies beinhaltet die Erkundung aller vorhandenen Daten aus Bohrungen und Brunnen des regionalen bzw. überregionalen Grundwasservorkommens, um konsistente Ergebnisse darstellen zu können.

Kurzpumpversuche bei Forschungsbohrungen

Bei Kurzpumpversuchen im Rahmen von Forschungsbohrungen sind meistens nur stark durch die Bohrtätigkeiten (Bohrspülung, Spülungswässer, Luft, Gesteinstrübe) kontaminierte Proben gewinnbar und die Probengewinnung (Pumpzeit) zeitlich begrenzt. Dies limitiert bereits die Anwendung von Parametern wie Kohlenstoff-14 oder Tritium, da die letztendliche Kontaminationskorrektur und Extrapolation einen nur interpretativen Charakter hat. Sofern die Probengewinnung und die Wasserzusammensetzung (hohe Salinität bedeutet geringe Gaslöslichkeit) eine Gewinnung von ausreichend Krypton ($> \text{ca. } 2 \mu\text{L}$) erlaubt, ist auch bei diesen Proben die Anwendung von Krypton-81 möglich, da mit dem allein anthropogen bedingten Parameter Krypton-85 (^{85}Kr) die Möglichkeit der Korrektur von Kontaminationen durch Probennahme und -präparation vorhanden ist. Noch mehr als bei bewirtschafteten Vorkommen ist die Einbindung in den hydrogeologischen/ hydrogeochemischen, sowie regional-geologischen Kontext und die kombinierte Anwendung anderer Datierungs- und Klimaparameter unerlässlich.

Porenwässer und Porenfluide (und sehr gering ergebige, nicht pumpbare Grundwasservorkommen)

Porenfluide können in der Regel nur in sehr geringen Volumina und meist nur über indirekte Verfahren gewonnen werden. Dies kann je nach Gestein als stark verzögerter Ausfluss aus abgepackerten Bohrungen erfolgen, z.B. Gewinnung von 1 L Wasser über

ein Jahr, oder Informationen können über Austausch- und Extraktionsexperimente, meist in Zeitreihen, oder durch den Auszug von Porenwässern aus Kernmaterial gewonnen werden. Die Anwendung von Datierungsmethoden mit radioaktiven Krypton-Isotopen ist nicht möglich, da die notwendige Menge Kryptongas für die Analytik aktuell nicht gewinnbar ist. Die in 2020 verfügbare Analysemethodik erlaubt jedoch die Bestimmung von Helium- und Argonisotopen ($^40\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$) sowohl am Gestein als auch an Fluiden, die aus dem Gestein extrahiert werden. Wie oben angegeben, können Datierungen über die Helium- und Argonisotope vorgenommen werden, sofern von „geschlossenen“ Systemen ausgegangen werden kann. Sind ausreichend, kontaminationsfreie Wasservolumina gewinnbar, so kann analytisch die Methodik von Kohlenstoff-14, Chlor-36, Iod-129, Argon-, Xenon- und Uranisotopen angewendet werden. Jedoch bleiben die Probleme der Interpretation bestehen, die für diese Parameter generell bestehen. Anhand von Porenwassertiefenprofilen kann der Zeitraum des Austausches zwischen advektiv fließendem Grundwasser und damit diffusiv austauschendem Porenwasser modelliert werden, wozu die Bestimmung von petrophysikalischen Transportparametern des Wirtsgesteines notwendig sind.

Auch bei Porenfluiden ist nach Möglichkeit die größtmögliche Einbindung in den Kontext sowie die größtmögliche Kombination mit hydrochemischen, isotonenphysikalischen und Edelgasparametern zu erreichen. In der Regel bedeutet dies eine engmaschige Untersuchung von Bohrprofilen.