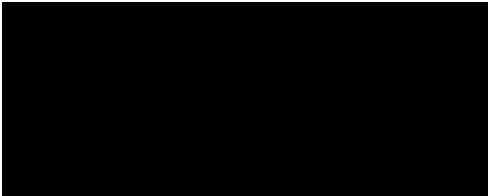




Gutachten über die Ergebnisse der Akteneinsicht bei der BGE zur Anwendung der §§ 22-24 Standortauswahlgesetz für Standorte mit Wirtsgestein Kristallin

im Auftrag des Nationalen Begleitgremiums.

Edinburgh, 8. Dezember 2020



Dr. Florian Füsseis
School of Geosciences
The University of Edinburgh
Großbritannien

Inhaltsverzeichnis

1 Vorbemerkungen.....	3
2 Aufgabenstellung.....	3
3 Akteneinsicht - Vorgangsweise und Rahmenbedingungen.....	4
4 Bewertung der Anwendung von §§ 22-24 durch die BGE.....	5
4.1 Eingehende Bemerkungen.....	5
4.2 §22 StandAG: Ausschlusskriterien.....	6
4.3 §23 StandAG: Mindestanforderungen.....	11
4.4 §24 StandAG: Geowissenschaftliche Abwägungskriterien.....	14
5 Zusammenfassende Bemerkungen.....	20
6 Empfehlungen.....	21
7 Literaturverzeichnis.....	22

1 Vorbemerkungen

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat nach § 13 Absatz 1 StandAG unter Anwendung der in den §§ 22 bis 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. Dies geschah am 28. September 2020.

Das NBG will rund um die 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 Absatz 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. Am 14. Oktober 2020 wurde ich mit der Erstellung des Gutachtens für kristalline Wirtsgesteine beauftragt.

2 Aufgabenstellung

Wie in der Leistungsbeschreibung (AZ 07 124/ 0003#0126) dargelegt, sollte ich, bei der BGE, stichprobenartig Einsicht in die Akten, Unterlagen und geologischen Daten zu den Regionen Bayern/Fichtelgebirge/Region NW Markredwitz und Sachsen/Erzgebirge/Region Freiberg nehmen, eine fachliche Bewertung der Anwendung der §§ 22-24 StandAG durch die BGE vornehmen und Schlussfolgerungen erstellen, ob die Kriterien nach StandAG für die beiden Lokationen von der BGE nachvollziehbar angewendet wurden. Beide Gebiete sind Teil des Teilgebietes 009_00TG_194_00IG_K_g_SO, welches weite Teile des Saxothuringikums zwischen Baden-Württemberg im SW und Sachsen in NO abdeckt (Abbildung 1). Ein unmittelbarer Vergleich der beiden Gebiete ist nicht für alle Aspekte des Bewertungsprozesses sinnvoll, speziell dort, wo Daten zu den Ausschlusskriterien keines der beiden Gebiete betrafen (z.B. seismische und vulkanische Aktivität), und wo die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nach § 24 StandAG Bewertungen auf Basis der Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien erfolgten. An diesen Stellen habe ich mich mit den zugrunde liegenden Dokumenten und dem breiteren Kontext der Bewertung auseinandergesetzt.

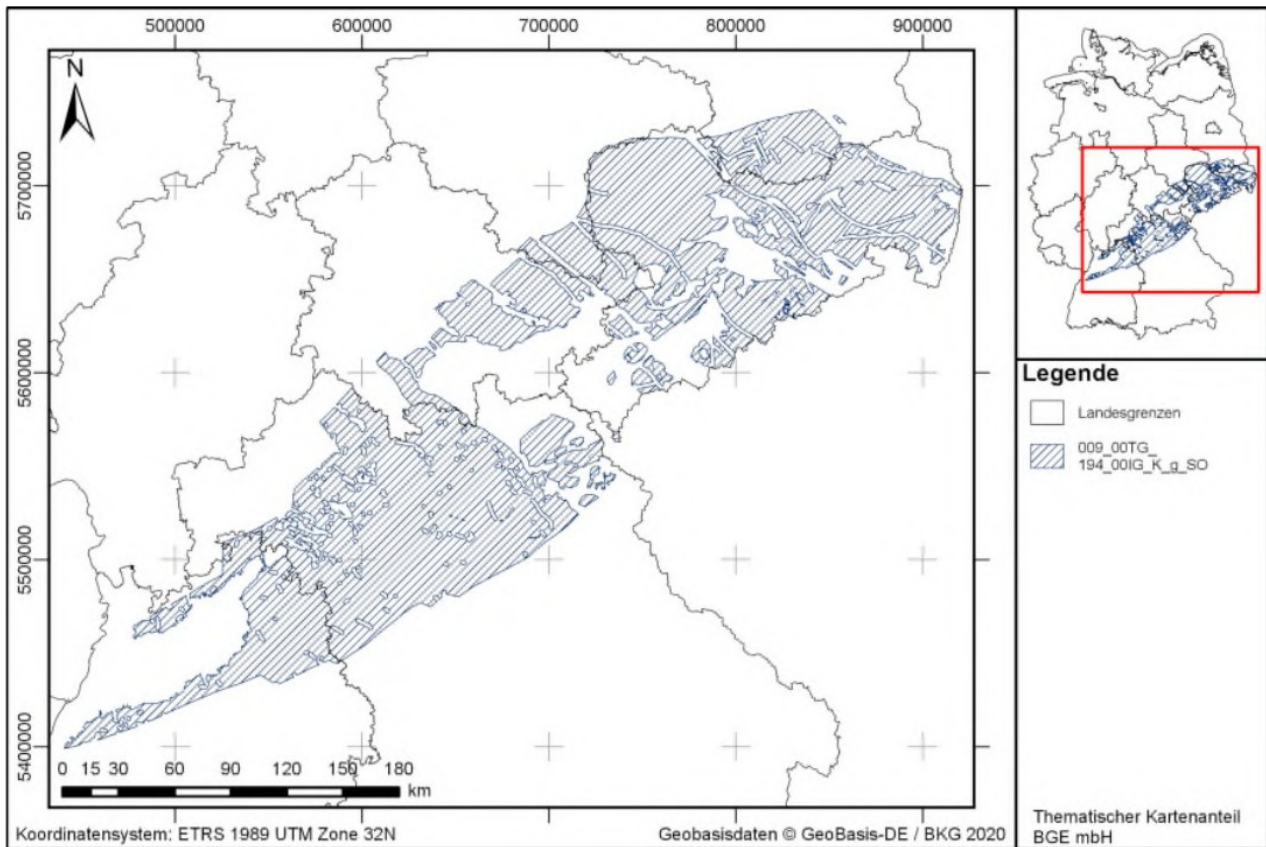


Abbildung 1: Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO, Zwischenbericht Teilgebiete, BGE (2020)

3 Akteneinsicht - Vorgangsweise und Rahmenbedingungen

Ein Besuch bei der BGE in Peine war, aufgrund der aktuellen Covid-19-bedingten Reiselage im anberaumten Zeitraum von 22.-27. November leider nicht möglich. Es wurde daher vereinbart, die Einsicht online, mittels Videokonferenzen (*Zoom, Skype for Business*), durchzuführen. Diese Konferenzen wurden auf Seiten der BGE von Herrn Dr. Bauer sehr entgegenkommend geleitet, von Herrn Dr. Rohlfs protokolliert und von einer Reihe von Mitarbeitern der BGE nach Bedarf unterstützt. Die Konferenzen wurden nicht aufgezeichnet. Insgesamt fanden vier sehr produktive Videokonferenzen statt.

In den Konferenzen hatte ich die Möglichkeit, mit den Mitarbeitern der BGE im Detail über die Anwendung der §§ 22-24 StandAG und das Zustandekommen der Empfehlungen im Zwischenbericht Teilgebiete zu diskutieren, und zwar sowohl auf Bundesebene als auch auf jener der beiden vom NBG vorgeschlagenen Detailgebiete der *Münchberger Gneismasse* und des *südöstlichen Erzgebirges um die Altenberg-Teplice Caldera*.

Die unmittelbare und unabhängige Dateneinsicht war, wegen der Limitierungen durch das virtuelle Format der Treffen, eingeschränkt. In der Praxis zeigten mir die Mitarbeiter der BGE über "Screensharing" digitalisierte Daten nach meinen Anfragen. Dies erfolgte in der Umgebung, in der diese Daten auch bearbeitet wurden, *Gocad* für 3D Modelle und *ArcGIS* für das geographische Informationssystem, in dem sämtliche verfügbaren Daten zusammengefasst wurden (und weiterhin werden). Darüber hinaus konnte ich an einem Nachmittag die Kontrolle über einen Rechner in Peine übernehmen und mir eigenständig relevante Daten im *Leitz-System* ansehen. Die Mitarbeiter der BGE waren darüber hinaus sehr hilfreich darin, mir spezifische erklärende Dokumente und Unterlagen zum Zwischenbericht zu erläutern. Es war mir nicht möglich, Screenshots von Daten in *ArcGIS* oder *Gocad* zu erstellen, des weiteren wurden mir die externen Gutachten zur Qualitätssicherung nicht zum Download (und damit eingehenderen Studium) zur Verfügung gestellt. In beiden Fällen wurde dies mit den Limitierungen des Dateneinsichtsrechtes begründet.

Die Diskussionen mit den Mitarbeitern der BGE habe ich mit einem Studium sowohl des Zwischenberichts und seiner Begleitliteratur als auch einer allgemeinen Literaturrecherche zum Saxothuringikum im Allgemeinen, und zu relevanten Bereichen in und um die beiden Detailgebiete im Besonderen vor- und nachbereitet. Letzteres schloss die seismo-tektonisch aktiven Gebiete um den Egergraben und das Cheb-Becken, als auch die assoziierten vulkanischen Zentren mit ein.

Insgesamt stelle ich fest, dass diese Herangehensweise, trotz ihrer Limitierungen in Bezug auf die Dateneinsicht, eine unabhängige Evaluierung der Anwendung der §§ 22-24 StandAG durch die BGE ermöglichte.

4 Bewertung der Anwendung von §§ 22-24 durch die BGE

4.1 Eingehende Bemerkungen

Grundlage der Bewertung nach §§22-23 StandAG durch die BGE war eine äußerst umfangreiche Datenbank, die zum größten Teil aus Einträgen besteht, die von verschiedenen Landesämtern und Behörden auf Anfrage übermittelt wurden. Die Datenbank beinhaltet geologische Karten, geologische 3D Modelle und Bohrungsinformationen, und wurde durch diverse weitere Berichte, Gutachten und wissenschaftliche Publikationen ergänzt. Grundsätzlich korreliert die Qualität der resultierenden Beurteilung natürlich direkt mit der Qualität und Dichte der Daten, die in das Modell eingehen. Die von den verschiedenen Behörden erhaltenen Daten bilden die Grundlage für die Ausweisung der Teilgebiete (*Zwischenbericht Teilgebiete, Zeilen 458-459¹*); die Erhebung zusätzlicher Daten ist erst für spätere Erkundungsstadien vorgesehen. Das BGE hat bei der Integration von hunderttausenden, sowohl digital als auch analog vorliegenden Datensätzen in ein nationales geologisches Informationssystem überzeugende Arbeit geleistet. Das GIS zeigt aber auch, dass die geologische Datendichte in der Bundesrepublik drastisch variiert, oft mit signifikanten Unterschieden über Landesgrenzen hinweg. Das zeigt sich besonders deutlich im Vergleich der beiden Gebiete NW Marktredwitz (Münchberger Gneismasse/Fichtelgebirge) und SE Freiberg (östliches Erzgebirge/Altenberg-Teplice Caldera). Im Bereich der Münchberger Gneismasse liegt kein 3D Modell vor, die Bewertung dort stützt sich vor allem auf Kartenmaterial im Maßstab 1:200000 und 1:250000, einige wenige Bohrungen im Umfeld und Literaturdaten (mit wenigen relevanten jüngeren Publikationen hauptsächlich zur Petrologie der Hochdruckgesteine). Im SE Erzgebirge hingegen existieren neben geologischen Detailkarten, detaillierte geologische 3D Modelle, zahlreiche relevante Bohrungen, Risswerke aus den Bergbauarchiven und aktuelle wissenschaftliche Publikationen auch zur regionalen Geologie. In beiden Fällen liegen jedoch genügend belastbare Daten vor, um die Anwendung der §§ 22, 23 und 24 StandAG, des letzteren wo auf ortsspezifischen Daten basierend, nachzuvollziehen.

Aus der stark variierenden Datendichte entstehen lokal variierende Unsicherheiten in den Bewertungen, und eine gleichbleibende Belastbarkeit jedweder lokalen Evaluierung über das ganze Bundesgebiet hinweg ist deswegen ausgeschlossen. Eine derartige, gleichbleibende Belastbarkeit ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch nicht nötig. Das GIS ist ein dynamisches Projekt, welches in den nächsten Stadien in den relevanten Gebieten kontinuierlich verdichtet werden wird und, bis zur Phase des direkten Vergleichs potentieller Standortgebiete die nötige Informationsdichte erreicht haben wird. Die gegenwärtige Datendichte ist zur Ermittlung der Teilgebiete nach §§ 22, 23 und wo, standortspezifisch, auch §24 StandAG ausreichend.

Wenn man den Ausgangspunkt der Standortsuche berücksichtigt, ist ein gewisser Pragmatismus unabdingbar. Der bisherige Bewertungsprozess erscheint mir jedoch trotzdem robust. Pragmatische Lösungen waren vor allem dort nötig, wo Bewertungen auf der Basis weniger vorhandener Daten getroffen werden mussten. Diese Bewertungen sind einerseits durch das Vier-Augen-Prinzip und die externe Qualitätssicherung, als auch durch die wiederholte Anwendung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien in den nächsten Stadien abgesichert. Darüber sollten in den nächsten Stadien weiter evaluierte Gebiete nur mehr kleiner werden. Für die initiale

1 Wo nicht anders angegeben, beziehen sich Zeilennummern auf den *Zwischenbericht Teilgebiete*.

Ausweisung der Teilgebiete und als Grundlage für die Ermittlung der Standortregionen in Schritt 2 Phase 1 nach der Fachkonferenz Teilgebiete scheint eine potentiell großzügige Gebietszuweisung daher sinnvoll.

4.2 §22 StandAG: Ausschlusskriterien

§22(1) Ein Gebiet ist nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn mindestens eines der Ausschlusskriterien nach Absatz 2 in diesem Gebiet erfüllt ist.

Anwendung durch die BGE: (Zeilen 710-712) *“auf Basis der von den zuständigen Bundes- und Landesbehörden zur Verfügung gestellten Daten gemäß § 12 Abs. 3 StandAG.”*

(717-719): *“Ziel der Anwendung der Ausschlusskriterien ist es demnach, Gebiete zu ermitteln, in welchen mindestens eines der in § 22 Abs. 2 StandAG aufgeführten Ausschlusskriterien erfüllt ist.”*

(741-744): *“Herausforderungen war es, im Hinblick auf die teils sehr heterogene Datenlage in Bezug auf Lagebezugssysteme und Attributbezeichnungen sowie die teils eingeschränkte digitale Verfügbarkeit der Daten, kriterienbezogene Anwendungsmethoden zu entwickeln, die eine bundesweit einheitliche Anwendung erlauben.”*

(1694-1699): *“Im Zuge der Anwendung der Ausschlusskriterien konnten alle Gebiete in Deutschland in der im Schritt 1 der Phase I des Standortauswahlverfahrens notwendigen Tiefe mit den vorhandenen geologischen Daten bewertet werden. Dementsprechend ergaben sich keine „Gebiete, die aufgrund nicht hinreichender geologischer Daten nicht eingeordnet werden können“ (§ 13 Abs. 2 S. 4 StandAG). Eine Darstellung dieser Gebiete und eine Empfehlung zum weiteren Umgang entfällt entsprechend.”*

§22 (2.1) großräumige Vertikalbewegungen: Es ist eine großräumige geogene Hebung von im Mittel mehr als 1 mm pro Jahr über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahren zu erwarten.

Anwendung durch die BGE: (Zeilen 821-827) *“Im Zuge der Datenabfragen bei den Bundes- und Landesbehörden hat die BGE Daten zu aktuellen großräumigen Hebungsraten sowie Prognosen für Regionen abgefragt, in denen in den nächsten eine Million Jahre großräumige Hebungsraten zu erwarten sind inklusive der erwarteten Hebungszeiträume. Zudem bat die BGE um Informationen zu Flächenbezeichnungen, Ursachen/Genesen der Hebung, dazugehörige Referenzen und um etwaige Informationen, wo keine Hebungen erwartet werden oder prognostiziert werden können. Daten zur Prognostizierbarkeit großräumiger Vertikalbewegungen liegen seitens der Bundes- und Landesbehörden nicht vor. Mit Blick auf die Prognose großräumiger Vertikalbewegungen über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahre, wurde seitens der BGE eine Studie in Auftrag gegeben (Jähne-Klingberg et al. 2019).”*

Auf der Basis dieser Studie sind in ganz Deutschland in den nächsten einer Million Jahre keine Hebungen von mehr als 1 mm pro Jahr zu erwarten und kein Gebiet wird deswegen ausgeschlossen.

Akteneinsicht: Der Bericht von Jähne-Klingberg et al. (2019) wurde vom BGR bezogen und eingesehen.

Bewertung: Auf der Basis des zugrunde gelegten Materials ist eine Bewertung der beiden Gebiete NW Marktredwitz und SE Freiberg möglich. Das Kriterium führt nicht zum Ausschluss der beiden Gebiete.

§22(2.2) aktive Störungzonen: In den Gebirgsbereichen, die als Endlagerbereich in Betracht kommen, einschließlich eines abdeckenden Sicherheitsabstands, sind geologisch aktive Störungzonen 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.

Anwendung durch die BGE: (Zeilen 922-926): *“Im Zuge der Datenabfrage hat die BGE hat bei den Bundes- und Landesbehörden Daten zu aktiven Störungszonen abgefragt. Neben den Koordinaten der Störungszonen, hat die BGE auch Angaben zu deren Aktivitätszeitraum, zur Raumlage der Störungsflächen, den Versatzbeträgen sowie den Namen der Störungszonen bei den Behörden abgefragt.”*

(944-952): *“Zusätzlich zur Auswertung der Datensätze mit Störungszonen, die seitens der Bundes- und Landesbehörden als aktiv eingeschätzt wurden, ist die Methode zur Anwendung dieses Ausschlusskriteriums um zwei weitere Punkte ergänzt worden [...]:*

1) *Bewertung der übermittelten Vorschläge seitens der staatlichen geologischen Dienste zur Aktivitätseinschätzung von Störungszonen*

2) *Identifizierung von Störungszonen, die Gesteinseinheiten mit einem Maximalalter von 34 Millionen Jahre versetzen*

3) *Abgrenzung von tektonisch aktiven Großstrukturen (wie z.B. die geologischen Grabensysteme)”*

(981-983): *“Bei Datensätzen, welche sich auf ein Bundesland beschränken, werden mögliche Inkonsistenzen an den Bundeslandgrenzen hinsichtlich des Störungsverlaufs und deren Aktivitätszuweisung beachtet.”*

Alle ermittelten Störungen werden, inklusive eines allseitigen Sicherheitsabstandes von 1000 m, ausgeschlossen. Wo Raumlagen von Störungen bekannt sind, werden die sich ergebenden Volumina an die Erdoberfläche projiziert und die resultierende Fläche ausgeschlossen.

Akteneinsicht: Die Daten zu den aktiven Störungen wurden in ArcGIS geladen und für die beiden Gebiete NW Marktredwitz und SE Freiberg eingesehen. Innerhalb der Münchberger Gneismasse wurde kein Ausschluss aufgrund einer aktiven Störung vorgenommen. Das Fichtelgebirge ist ebenfalls kaum von aktiven Störungen gezeichnet, sehr wohl allerdings der Bereich der Fränkischen Linie westlich davon. Das Gebiet SE Freiberg wird im NO und im SW von aktiven Störungen i.o.S. begrenzt.

Bewertung: Auf der Basis des zugrunde gelegten Materials ist eine Bewertung der beiden Gebiete NW Marktredwitz und SE Freiberg möglich. Die Inklusion der beiden Gebiete in Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO ist nachvollziehbar.

§22(2.2) 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.

Beispiele für atektonische Vorgänge sind Einstürze von unterirdischen Hohlräumen aufgrund von Verkarstung, Auslaugung oder Subrosion, aber auch Impaktereignisse.

Bewertung: Keines der als *atektionische Störungszone* ausgewiesenen Gebiete liegt im untersuchten Teilgebiet.

§22(2.3) Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit: 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 ewGs 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.

Anwendung durch die BGE: Die BGE unterscheidet hier zwischen Bohrungen und Bergwerken.

Bohrungen:

(Zeilen 1180-1184): *“Für die Anwendung des Ausschlusskriteriums „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“ sind jene Bohrungen relevant, die den endlagerrelevanten Bereich zwischen 300 m und 1500 m unterhalb der Geländeoberkante vollständig oder teilweise durchdringen.”*

(1203-1207): *“...die Bundes- und Landesbehörden um Übermittlung von Bohrdaten in einem Tiefenbereich von 100 bis 1500 m (in einer späteren Datenabfrage ab 300 m) unter der Geländeoberkante, mit Angaben zum Bohransatz- und Bohrendpunkt, zur Länge, dem Verlauf, der Bezeichnung sowie der Nutzung und des Zustands des Bohrlochs, gebeten.”*

(1216-1217): *“Die Anwendungsmethode sieht vor, um den Bohrfad und den Bohrendpunkt einen Sicherheitsabstand im Radius von 25 m anzulegen.”*

Akteneinsicht: Die digitalisierten Bohrdaten wurden ins ArcGIS geladen und für die beiden Gebiete NW Marktredwitz und SE Freiberg eingesehen. Hier sind die Unterschiede in der Datendichte besonders deutlich, mit nur wenigen Bohrungen > 300 m Teufe in Bayern, und einer sehr großen Zahl von Bohrungen in Sachsen. Der überwiegende Anteil der letzteren steht im Zusammenhang mit der bergbaulichen Aktivität in der Region (pers. Comm. Dr. Bauer).

Bewertung: Eine fachliche Bewertung ist aufgrund der vorliegenden Daten möglich. Das Ausschlusskriterium wurde nachvollziehbar angewandt und die entsprechenden Gebiete wurden ausgeschlossen.

Bergwerke:

(Zeilen 1280-1287): *“bei den Landesbehörden unter anderem die folgenden Informationen erbeten: die Bezeichnung der bergbaulichen Tätigkeit (bzw. des Bergwerks), die Angabe der maximalen Teufe (z. B. tiefste Sohle) und die Umgrenzung der maximalen lateralen Ausdehnung des an die Oberfläche projizierten Grubengebäudes einschließlich dessen Einwirkungsbereich auf das umliegende Gebirge. Dabei wurden infolge der aktualisierten, letzten Datenabfrage ausschließlich Bergwerke und Kavernen abgefragt, die eine Tiefe von mindestens 300 m unter der Geländeoberkante erreichen.”*

(1297-1304): *“Die Ermittlung ausgeschlossener Gebiete erfolgt auf Basis der lateralen Ausdehnung von Beeinflussungsbereichen. Diese werden [...] auf zwei verschiedene Arten ermittelt: Zum einen wurden von den Landesbehörden ausgewiesene Beeinflussungsbereiche übernommen. [...] Liegen der Landesbehörde keine der benötigten Informationen über einen Einwirkungs- oder Beeinflussungsbereich vor, ergänzt die BGE diesen anhand eines definierten Vorgehens auf Basis geometrischer Informationen.”*

(1320-1321): *“Zur Beschreibung der lateralen Ausdehnung und maximalen Tiefe bei Tagebauen wird stellvertretend der Bereich des Tagebautiefsten genutzt.”*

Akteneinsicht: Die digitalisierten Daten zu den Bergwerken wurden ins ArcGIS geladen und für die beiden Gebiete NW Marktredwitz und SE Freiberg eingesehen. Im Raum des Fichtelgebirges/Münchberger Gneismasse sind keine Gebiete aufgrund dieses Kriteriums ausgeschlossen worden, im Raum Freiberg jedoch schon. Im Rahmen der Akteneinsicht wurde mir mitgeteilt, dass analog vorliegende Risswerke durch externe Auftragnehmer gegenwärtig noch digitalisiert werden, und, sobald verfügbar, in das GIS integriert werden. Es ist deshalb davon auszugehen, dass künftig noch weitere Ausschlüsse aufgrund dieses Kriteriums erfolgen werden.

Bewertung: Eine fachliche Bewertung ist aufgrund der vorliegenden Daten möglich. Das Ausschlusskriterium wurde nachvollziehbar angewandt und die entsprechenden Gebiete wurden ausgeschlossen. Die zu erwartende Vergrößerung der Datenbasis ist in Übereinstimmung mit dem Verfahrensgrundsatz, dass eine Überschätzung von ausgeschlossenen Gebieten durch die jeweilige Anwendungsmethode vermieden werden soll (BGE 2020: Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22

StandAG - Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete, Seite 19), und kann sich nur verkleinernd auf das Teilgebiet auswirken.

§22(2.4) seismische Aktivität: Die örtliche seismische Gefährdung ist größer als in Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA 2011-01.

Anwendung durch die BGE: (Zeilen 1496-1498): *“...hat die BGE entschieden, die auszuschließenden Bereiche direkt aus der „Karte der Erdbebenzonen“ in DIN EN 1998-1/NA:2011-01 zu vektorisieren.”*
(1499-1503): *“Zur Anwendung des Ausschlusskriteriums seismische Aktivität werden, wie in § 22 Abs. 2 Nr. 4 StandAG festgelegt, alle Gebiete mit einer örtlichen seismischen Gefährdung (nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01) größer als Erdbebenzone 1 ausgewählt und in alle endlagerrelevanten Tiefen projiziert. Die dadurch entstehenden Volumenkörper stellen das ermittelte ausgeschlossene Gebiet dar.”*

Akteneinsicht: Die Gebiete mit einer seismischen Gefährdung größer als Erdbebenzone 1 wurden in ArcGIS geladen. Im Bereich des Teilgebietes 009_00TG_194_00IG_K_g_SO gibt es einen relevanten Bereich südlich von Gera, der auch ausgeschlossen wurde. Die Region Fichtelgebirge/Vogtland/Egergraben ist grundsätzlich seismisch aktiv, wobei die überwiegende Mehrzahl der seismischen Ereignisse in Schwärmen mit sehr kleinen Magnituden auftritt.

Im Zuge meiner Konsultationen mit der BGE wurde die Frage der revidierten Erdbebenrisikokarte in Grünthal & Bosse (2020, sh. auch Grünthal et al., 2018) angesprochen. Der Vorschlag den Grünthal & Bosse (2020) diskutieren führt zu einigen signifikanten Änderungen in der Niederrheinischen Bucht, in Baden-Württemberg und auch im Vogtland/Gera. Unter der neuen Bewertung würden signifikante Gebiete nicht mehr ausgeschlossen, auch im Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO.

Bewertung: Eine fachliche Bewertung ist aufgrund der vorliegenden Daten möglich. Das Ausschlusskriterium wurde nachvollziehbar angewandt und die entsprechenden Gebiete wurden ausgeschlossen. Jenseits der Feststellungen in Wenzel (NBG, 2020), der sich mit der Frage beschäftigt, ob eine DIN-Norm, die für Hochbauten erstellt wurde, hier brauchbar ist, bleibt zu klären, ob die neuen Erdbebengefährdungskarten aus Grünthal & Bosse (2020) in den folgenden Stadien jene aus *DIN EN 1998-1/NA:2011-01* ersetzen sollen. Falls dem so wäre, würde sich das Teilgebiet wieder vergrößern. Es ist unklar, wie dies mit dem Verfahrensgrundsatz, dass sich *Informationsgewinn nur vergrößernd auf ausgeschlossene Gebiete auswirken kann* (BGE 2020: Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG - Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete, Seite 19), vereinbar wäre.

§22(2.5) vulkanische Aktivität: es liegt quartärer Vulkanismus vor oder es ist zukünftig vulkanische Aktivität zu erwarten.

Anwendung durch die BGE: (Zeilen 1577-1586): *“Nur wenige Bundesländer haben Daten zu quartärer vulkanischer Aktivität übergeben, eine Prognose über zukünftigen Vulkanismus im Nachweiszeitraum wurde von keinem der Bundesländer abgegeben. Die BGE hat sich, zur Ermittlung ausgeschlossener Gebiete, dazu entschlossen, die Datengrundlage von quartären Eruptionszentren aus Hoth et al. (2007, S. 43) zu aktualisieren und quartäre Eruptionszentren auf Basis von Duda & Schmincke (1978), Büchel & Mertes (1982), Mrlina et al. (2009), Meyer (2013), Hofbauer (2016), Rohrmüller et al. (2018), Lange et al. (2019) und May (2019) zusammenzustellen.”*

(1590-1594): *“..werden die vulkanischen Eruptionszentren gemäß der Empfehlung des AkEnd (2002), des Abschlussberichts der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe (K-Drs. 268) und der Begründung Gesetzentwurfs (BT-Drs. 18/11398, S. 69) mit einem Sicherheitsaum von 10 km versehen.”*

Akteneinsicht: Die Daten zur vulkanischen Aktivität wurden in ArcGIS geladen, und ausgeschlossene Gebiete an der bayerisch-tschechischen Grenze begutachtet. Diese Gebiete befinden sich SE der Region

Marktredwitz. Es ist damit zu rechnen, dass es auf der tschechischen Seite weitere Gebiete gibt, die dem Ausschlusskriterium entsprechen, allerdings werden ausgeschlossene Gebiete nach § StandAG nur innerhalb der deutschen Bundesgrenzen ermittelt. Im Rahmen der Besprechung mit der BGE wurde auch die Bedeutung des Sicherheitssaumes (10 km) um vulkanische Eruptionszentren angesprochen. Im westlichen Egergraben und dem Vogtland, welche von mikroseismischer Aktivität und Entgasungen entlang transkrustaler Störungssysteme mit bedeutend größerer unterirdischer Ausdehnung geprägt sind (Dahm et al., 2013, Geissler et al., 2005), erscheint dieser Ansatz diskutabel, ist aber im Einklang mit den im Zwischenbericht zitierten Empfehlungen (s.o.). Im Zusammenhang mit diesen Empfehlungen sei auch auf Zemke (NBG, 2020) verwiesen.

Bewertung: Eine fachliche Bewertung ist aufgrund der vorliegenden Daten möglich. Das Ausschlusskriterium wurde nachvollziehbar angewandt und die entsprechenden Gebiete wurden ausgeschlossen.

§22(2.6) Grundwasseralter: In den Gebirgsbereichen, die als ewG oder Einlagerungsbereich in Betracht kommen, sind junge Grundwässer nachgewiesen worden.

Anwendung durch die BGE: (Zeilen 1653-1657): *“Daher erfolgt im Rahmen der Ermittlung von Teilgebieten gemäß § 13 StandAG in Bezug auf das Ausschlusskriterium Grundwasseralter lediglich eine punktuelle Ermittlung ausgeschlossener Gebiete basierend auf den zur Verfügung gestellten Messpunkten mit Angaben zu 3H- und/oder 14C-Gehalten. Dabei führt der Nachweis von 3H und/oder 14C im Grundwasser zum Ausschluss.”*

(1664-1665): *“Alle zu einem Ausschluss führenden Datenpunkte konnten mit Bohrungen korreliert werden.”*

Akteneinsicht: Die vorhandenen Daten wurden in ArcGIS geladen. Es ist festzuhalten, dass Daten zu Grundwasseraltern in den relevanten Tiefen, wie auch im Zwischenbericht vermerkt, äußerst spärlich vorliegen. Im Bereich des Teilgebietes 009_00TG_194_00IG_K_g_SO liegen nur in Sachsen Daten vor.

Bewertung: Eine fachliche Bewertung ist auf Basis der vorhandenen Daten und der im Zwischenbericht dargelegten Herangehensweise (s.o.) machbar, und die entsprechenden Gebiete wurden ausgeschlossen. Das vorgelegte Ergebnis ist jedoch von mäßiger Bedeutung, da sich die räumliche Ausdehnung von Grundwasserleitern nicht über einige wenige, weit gestreute Datenpunkte bestimmen lässt. Es ist davon auszugehen, dass zur qualifizierten Anwendung des Ausschlusskriteriums in den nächsten Stadien umfangreiche weitere Studien nötig sein werden.

4.3 §23 StandAG: Mindestanforderungen

§23(1) Für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle kommen die Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein in Betracht. Für das Wirtsgestein Kristallingestein ist unter den Voraussetzungen des Absatzes 4 für den sicheren Einschluss ein alternatives Konzept zu einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich möglich, das deutlich höhere Anforderungen an die Langzeitintegrität des Behälters stellt.

Anwendung durch die BGE: Im Dokument *Anwendung Mindestanforderungen gemäß §23 StandAG* grenzt die BGE kristallines Wirtsgestein folgendermaßen ein (Seite 38):

- *Plutonite entsprechend der Klassifikation nach (Streckeisen 1974, 1976);*
- *Hochgradig regionalmetamorphe Gesteine der Fazies Amphibolit, Eklogit und Granulit nach Eskola (1915), zu welchen u. a. Gneise und Migmatite gezählt werden*

Dies wird begründet damit begründet, dass *“bei den endlagerrelevanten Eigenschaften potentieller Wirtsgesteine beim Kristallingestein u.a. hohe Festigkeiten, sehr geringes Lösungsverhalten und hohe Temperaturbelastbarkeit zu den „günstigen Eigenschaften“ (BGR 2007; Lersow 2018) [zählen]. Die*

Temperaturbelastbarkeit in Bezug auf die zugeführte Nachzerfallswärme durch die eingelagerten hoch radioaktiven Abfälle schafft Sicherheit, dass sich die initial festgestellten Eigenschaften durch die zugeführte Wärme nicht oder kaum verändern. Viele der Kristallingesteine, die nicht Plutonite oder hochgradig regionalmetamorphe Gesteine sind, weisen diese Eigenschaften nicht auf und können die Integrität der Barrierewirkung für den Nachweiszeitraum von einer Million Jahre (§ 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG) nicht sicher gewährleisten.“

Bewertung: Die Definition eines *kristallinen Wirtsgesteins* hat weitreichende Konsequenzen für die Standortsuche. Während für Plutonite die *Kristallinität* relativ einfach zu ermitteln ist (modal % Mineralkörner zu Glas in einer abgekühlten Gesteinsschmelze), und von den Kristallnukleations- und -wachstumsraten abhängt, gestaltet sich die praktische Definition eines “kristallinen Gesteins” bei den Metamorphiten schwieriger. Grundsätzlich führt Metamorphose zu einer Rekristallisation des Mineralbestandes, die auch die physikalischen, chemischen und hydraulischen Eigenschaften eines Gesteins verändert. Die BGE definiert den Grad der Metamorphose (quantifiziert durch das Konzept der metamorphen Fazies) als ein entscheidendes Kriterium, und argumentiert, dass sich dies aus den günstigen endlagerrelevanten Eigenschaften von hochgradig regionalmetamorphen Gesteinen ergibt. “Hochgradig” schließt hier die Amphibolitfazies, die Eklogitfazies und die Granulitfazies mit ein. Es ist wichtig zu betonen, dass sich diese Definition scheinbar ausschließlich auf den metamorphen “Peak” (i.e., die maximalen Temperaturen/Drücke, die ein Gestein erfahren hat) bezieht.

Ich kann der Argumentation der BGE hier nicht folgen. Die Gesteinsfestigkeit, sein Lösungsverhalten und die Temperaturbelastbarkeit sind in deformierten, metamorphen Gesteinen vor allem von der Gesteinszusammensetzung und ihrer tektono-metamorphen Geschichte abhängig. So ist ein Quarzit, der regional statisch bei 400-450 °C “gebacken” wurde, in Bezug auf diese Eigenschaften einem unreinen, amphibolitfaziellen mylonitischen Marmor auf jeden Fall überlegen. Ein Granitgneis, der eine Hochtemperatur-/Niederdruckmetamorphose erfahren hat, aber retrograd von reaktiven Fluiden infiltriert und pervasiv alteriert wurde, ist ebenfalls kaum ein geeignetes kristallines Wirtsgestein. Letztlich müssen standortspezifische Erhebungen die Tauglichkeit eines Wirtsgesteins klären (sh. auch *Anwendung Mindestanforderungen gemäß §23 StandAG*, BGE, 2020, Seite 41). Es erscheint aber, als ob die BGE hier eine wichtige Gelegenheit, eine belastbare Begriffsbestimmung zu liefern, eher unzureichend wahrgenommen hätte. Jedwede zukünftige Verfeinerung dieser Begriffsbestimmung - die hier unbedingt erfolgen sollte - unterminiert Aussagen, die auf der Basis früherer Versionen getroffen wurden.

§23(5.1) Gebirgsdurchlässigkeit: In einem ewG muss die Gebirgsdurchlässigkeit k_f weniger als 10-10 m/s betragen; sofern ein direkter Nachweis in den Begründungen für die Vorschläge nach den §§ 14 und 16 noch nicht möglich ist, muss nachgewiesen werden, dass der ewG aus Gesteinstypen besteht, denen eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als 10-10 m/s zugeordnet werden kann; die Erfüllung des Kriteriums kann auch durch den Einlagerungsbereich überlagernde Schichten nachgewiesen werden;

Anwendung durch die BGE: (Zeilen 2174-2177): “Die Mindestanforderung „Gebirgsdurchlässigkeit“ § 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG wird entsprechend der gesetzlichen Vorgabe nicht angewendet, denn im jetzigen Detaillierungsgrad ist eine Differenzierung zwischen den verschiedenen möglichen Endlagerkonzepten für kristallines Wirtsgestein nicht sinnvoll.“

Bewertung: Ich schließe mich dieser Einschätzung an, zumal dieses Vorgehen auch durch §23(3) StandAG gedeckt ist, möchte aber einen weiteren Grund anführen, warum ich eine Bewertung der Gebirgsdurchlässigkeit zum jetzigen Zeitpunkt für nicht hilfreich halte: Im kristallinen Wirtsgestein diktiert der Zuschnitt der Teilgebiete die Variabilität der Parameter, die für die Mindestanforderungen und auch die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien beurteilt werden. Mechanische und auch hydraulische Eigenschaften von kristallinen Gesteinen variieren oft sehr kleinräumig und über viele Größenordnungen

(sh. auch *Anwendung Mindestanforderungen gemäß §23 StandAG*, BGE, 2020, Seite 41), durchaus auch auf Längenmaßstäben die signifikant kleiner sind als die Dimension eines Endlagers (sh. Abb. 2 in Wehrens et al., 2017, welche auch die Lokalität des Grimsel URL abdeckt). Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO, umfasst mit seiner großen Fläche von 32 655 km² weite Teile des deutschen Anteils am Saxothuringikum. Diese paläogeographische Einheit hat eine äußerst komplexe geodynamische Vergangenheit (Franke, 2000, Meschede, 2018) und wird von den unterschiedlichsten Lithologien mit diversen tektono-metamorphen Überprägungsgraden aufgebaut. Die verschiedenen lithotektonischen Einheiten des Saxothuringikums haben zudem unterschiedliche post-variszische Überprägungen erfahren. Eine pauschale Bewertung der Gebirgsdurchlässigkeit (oder einzelner anderer geowissenschaftlicher Abwägungskriterien) über das gesamte Teilgebiet hinweg erscheint deshalb mäßig zielführend.

§23(5.2) Mächtigkeit des ewGs: Der Gebirgsbereich, der den ewG aufnehmen soll, muss mindestens 100 Meter mächtig sein; bei Gesteinskörpern des Wirtsgesteins Kristallin mit geringerer Mächtigkeit kann der Nachweis des sicheren Einschlusses für den betroffenen Gebirgsbereich bei Vorliegen geringer Gebirgsdurchlässigkeit auch über das Zusammenwirken des Wirtsgesteins mit geotechnischen und technischen Barrieren geführt werden; eine Unterteilung in mehrere solcher Gebirgsbereiche innerhalb eines Endlagersystems ist zulässig;

Anwendung durch die BGE: Für die regionale Bewertung von §23(5.2-5.4) StandAG wurden, zusätzlich zu geologischen 3D Modellen der verschiedenen Bundes- und Landesbehörden, Informationen aus der Literatur, die Inventarisierungstabelle, geologischen Karten und Bohrmarker zu kristallinen Wirtsgesteinen herangezogen. Relevante Literatur schließt die Studie von Reinhold (2005) zur Kristallin-Oberfläche in Deutschland mit ein. Die Tiefenlage und Morphologie dieser Oberfläche sind größtenteils bekannt. Unterhalb der Kristallin-Oberfläche wird, wo nicht anders bekannt, kristallines Grundgebirge angenommen. In Bezug auf §23(5.2) beruft sich die BGE auf ein Gutachten der DBE TEC (2016) um eine Minimalmächtigkeit von 200 m für ein Endlager in kristallinem Wirtsgestein festzusetzen. Der *Datenbericht Teil 2 von 4 MK und geoWK* enthält detaillierte Angaben zu den Arbeitsschritten, bzw. den integrierten Daten (Seite 839 ff. und Seite 890 ff.).

(2196-2197): *”Wenn die oben angenommene Mächtigkeit von 200 m erreicht wird, ist die Mindestanforderung erfüllt.”*

Akteneinsicht (gilt auch für §23(5.3-4)): Wo 3D Modelle verfügbar waren (SE Freiberg), wurden diese in *Gocad* geladen und eingesehen. Für den gesamten Bereich NE Bayern (inkl NW Marktredwitz) sind keine solchen 3D Modelle verfügbar (Abb. 25 im *Zwischenbericht Teilgebiete*), die Bewertung dort stützt sich auf Kartenwerke, Bohrdaten und Literatur. Alle verfügbaren Daten wurden in *ArcGIS* geladen und eingesehen.

Bewertung: Die Mindestanforderung ist nach den vorliegenden geologischen Daten und unter Berücksichtigung der Anwendungsprinzipien für die Gebiete NW Marktredwitz und SE Freiberg erfüllt. Ich konnte jedoch keine belastbaren Informationen zur Mächtigkeit der Kristallindecken der Münchberger Gneismasse finden. Weder Stettner (1960), noch Franke (1995) zeigen Profile oder machen Angaben, welche die Mächtigkeit des Deckenstapels unmittelbar abschätzen lassen. Zwei Beobachtungen lassen dennoch auf eine ausreichende Mächtigkeit der hochmetamorphen Einheiten schließen: Erstens die Wellenlänge des Großfaltenbaus (Abbildung 2 in Stettner, 1960), die in etwa 10 km beträgt. Falten auf diesem Maßstab und mit relativ geringen Amplituden bilden sich erfahrungsgemäß als Stauchfalten (*buckle folds*) in Einheiten mit einer, der Wellenlänge entsprechenden Mächtigkeit (im Bereich von wenigen tausend Metern). Zweitens, wenn man von der gegenwärtigen lateralen Ausdehnung der Decke (Liegend- und Hangendserie kombiniert, ~30 x 15 km) als Minstdimension ausgeht und berücksichtigt, dass diese Decke auf einer hypothetisch sehr schwachen Gleitbahn als mechanisch kohärente Einheit transportiert wurde, lässt sich argumentieren, dass die Mächtigkeit die Mindestanforderung deutlich überschreiten wird. Andernfalls

würde ich erwarten, dass die allochthonen Einheiten der Münchberger Gneismasse der Spannung während des tektonischen Transportes nicht standgehalten hätten und in Transportrichtung (von top-to-WSE nach top-to-NW, Franke et al., 1995) entlang von internen Überschiebungen verschuppt wären. Für derartige Überschiebungen fand ich keine Hinweise in der Literatur.

§23(5.3) minimale Teufe des ewGs: Die Oberfläche eines ewGs 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 ewGs führen können, muss die Oberfläche des ewGs tiefer als die zu erwartende größte Tiefe der Auswirkungen liegen; soll ein ewG im Gesteinstyp Steinsalz in steiler Lagerung ausgewiesen werden, so muss die Salzschwebe über dem ewG mindestens 300 Meter mächtig sein; soll ein ewG im Gesteinstyp Tonstein ausgewiesen werden, so muss zu erwarten sein, dass das Deckgebirge auch nach dem Eintreten der genannten exogenen Prozesse ausreichend mächtig ist, um eine Beeinträchtigung der Integrität des ewGs durch Dekompaktion ausschließen zu können.

Anwendung durch die BGE: (Zeilen 2201-2203): *“Für die Anwendung dieser Mindestanforderung wird eine Schnittfläche in 300 m unterhalb der Geländeoberkante gebildet. Diese Mindestanforderung ist erfüllt, sofern kristallines Wirtsgestein in Tiefenlagen unter 300 m ansteht.”*

Bewertung: Die Mindestanforderung ist nach den vorliegenden geologischen Daten und unter Berücksichtigung der Anwendungsprinzipien für die Gebiete NW Markredwitz und SE Freiberg erfüllt.

§23(5.4) Fläche des Endlagers: Ein ewG 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.

Anwendung durch die BGE: (Zeilen 2212-2213): Das BGE beruft sich zur der Ermittlung des Flächenbedarfs auf die Begründung des StandAGs (BT-Drs. 18/11398), wo für kristallines Wirtsgestein eine Fläche von mindestens 6 km² angegeben wird.

“Alle Gesteinsformationen, die eine Fläche von 6 km² und mehr aufweisen, erfüllen somit diese Mindestanforderung.”

Bewertung: Die Mindestanforderung ist nach den vorliegenden geologischen Daten und unter Berücksichtigung der Anwendungsprinzipien für die Gebiete NW Markredwitz und SE Freiberg erfüllt.

§23(5.5) Erhalt der Barrierewirkung: Es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Integrität des ewGs, insbesondere die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung des ewGs über einen Zeitraum von einer Million Jahren zweifelhaft erscheinen lassen.

Anwendung durch die BGE: (Zeilen 2159-2165): *“[Es] ergeben sich folgende mögliche Endlagerkonzepte im kristallinen Wirtsgestein:*

- 1. Das Kristallin stellt den Einlagerungsbereich und den ewG.*
- 2. Das Kristallin stellt den Einlagerungsbereich und der sichere Einschluss wird durch technische und geotechnische Barrieren gebildet.*
- 3. Das Kristallin stellt den Einlagerungsbereich und der ewG wird durch Schichten gebildet, die das Kristallin überlagern.”*

(2220-2223): *“Soweit klare Erkenntnisse oder Daten vorliegen, dass der Erhalt der Barrierewirkung zweifelhaft erscheint, wurde die Mindestanforderung als nicht erfüllt angesehen. In allen anderen Fällen wird bis zum Vorliegen entsprechender Daten diese Mindestanforderung als erfüllt angesehen.”*

Dieser Punkt wird in *Anwendung Mindestanforderungen gemäß §23 StandAG* gesondert kommentiert (Seite 85): *“Anhand der aktuellen Datenlage und Bearbeitungstiefe liegen für die ausgewiesenen Gebiete derzeit keine Hinweise vor, die die Mindestanforderung zum Erhalt der Barrierewirkung über den Zeitraum von einer Million Jahren (§ 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG) in Frage stellen. Bezugnehmend auf § 23 Abs. 3 StandAG gilt die Mindestanforderung für kristalline Wirtsgesteine damit stets als erfüllt und wird zu diesem Zeitpunkt im Verfahren nicht gesondert überprüft.”*

Bewertung: Diese Mindestanforderung ist geringfügig komplizierter zu bewerten, weil das StandAG für kristalline Wirtsgesteine die Möglichkeit offenlässt, dass ein Teil der Barrierewirkung durch geotechnische und technische Barrieren erzielt wird (wie das, zum Beispiel auch im schwedischen Endlagerkonzept der Fall ist). Weiters kann auch der Fall berücksichtigt werden, dass nur der Einlagerungsbereich im Kristallin liegt, der ewG aber, z.B. durch Tonstein gebildet wird. Wie auch von der BGE angemerkt, sind diese Aspekte im weiteren Verfahrensverlauf zu klären. Nach den zurzeit vorliegenden geologischen Daten und unter Berücksichtigung der Anwendungsprinzipien ist die Mindestanforderung für die Gebiete NW Marktredwitz und SE Freiberg jedoch erfüllt.

4.4 §24 StandAG: Geowissenschaftliche Abwägungskriterien

Anwendung durch die BGE: Die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien erfolgt, wo möglich, auf Basis der zusammengestellten Daten, die für diese Bewertung um eine weitere Datenabfrage zu Störungen, geomechanischer und thermischer Eigenschaften der Wirtsgesteine und hydrochemischer Eigenschaften der Tiefenwässer ergänzt wurden. Nachdem das Verfahren in diesem Stadium noch standortunspezifisch ist, liegen die erforderlichen Daten nur zum Teil vor. Um die Lücken zwischen verfügbaren ortsspezifischen Daten und den für die Bewertung der elf Kriterien notwendigen Daten zu schließen, wurde auf wirtsgesteinsspezifische Referenzdatensätze zurückgegriffen. Die BGE hat für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ein Verfahren entwickelt, welches auf einem normierten, softwaregestützten Bewertungsvorgang basiert (sh. *Zeilen 2426-2482*), welches mir im Rahmen der Dateneinsicht vorgeführt wurde. Dieses Verfahren stellt die Objektivität und Nachvollziehbarkeit der Bewertung sicher.

Die Anwendung des §24 StandAG stützt sich in diesem Stadium des Verfahrens massiv auf die Referenzdatensätze, die im Dokument *Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von §13 StandAG* zusammengefasst sind. Für kristalline Wirtsgesteine werden neun von elf Kriterien (sh. Anlagen zu §24 StandAG), die wiederum in einzelne Indikatoren unterteilt sind, nach diesen Referenzdatensätzen bewertet. (*Zeilen 2457-2460*) *Die Referenzdaten werden so gewählt, 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.* Die Bewertungen der Indikatoren, und die zusammenfassenden, verbalargumentativen Gesamtbewertungen sowohl der Kriterien als auch der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien für die einzelnen Teilgebiete sind in der *Anlage 1A zum Fachbericht Teilgebiete und Anwendung Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß §24 StandAG* detailliert (für das Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO auf Seite 107ff).

Bewertung: Für die Evaluierung der Bewertung habe ich, neben dem Zwischenbericht Teilgebiete, die Referenzdatensätze wie auch die individuellen, teilgebietspezifischen Beurteilungen im Detail studiert, darüber hinaus Becker et al. (2020). Die folgende Kritik bezieht sich für Kriterien 1 und 3-10 auf die entsprechenden Passagen in *Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von §13 StandAG*. Hierzu ist grundsätzlich anzumerken, dass in den

Referenzdatensätzen, die eigentlich sehr hohen wissenschaftlichen Ansprüchen genügen sollten, abschnittsweise mit einem schmalen Literaturkörper gearbeitet und auffallend häufig auf Anfängerlehrbücher (im Fall von Okrusch und Matthes noch dazu auf eine veraltete Ausgabe) verwiesen wird. Bei einem wissenschaftlichen Dokument mit dieser Bedeutung erscheint das unangemessen und schmälert die Überzeugungskraft der zugrundeliegenden "Literaturrecherche" und die vermeintliche Belastbarkeit des Dokumentes insgesamt. Das ist insofern auch bedenklich, da die Referenzdatensätze extern begutachtet wurden. In diesen externen Gutachten, die ich einsehen konnte, wurde häufig auf ein geologisches Wörterbuch (für Anfänger) verwiesen, und es wurde bei Zitaten publizierter wissenschaftlicher Arbeiten oft der Verweis eingefügt, dass diese dem Gutachter nicht zugänglich waren. Beides suggeriert eine eher oberflächliche wissenschaftliche Begutachtung eines Dokumentes, welches von grundlegender Bedeutung für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien in Phase 1/Schritt 1 ist und auch hinkünftig als Referenzwerk relevant bleiben wird. Meiner Auffassung nach kontrastieren diese Beobachtungen außerdem mit den von der BGE angestrebten Zielen eines wissenschaftsbasierten Arbeitens (Zeilen 341-360 im Zwischenbericht Teilgebiete).

Für Kriterien 2 und 11 beziehe ich mich auf die verbalargumentative Darlegung in den *Ergebnissen der Bewertung, Teil A (Teilgebiete)*.

Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im ewG - aus Referenzdaten

Definition durch die BGE: Der Transport radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen und Diffusion im einschlusswirksamen Gebirgsbereich soll so gering wie möglich sein. Bewertungsrelevante Eigenschaften dieses Kriteriums sind die im einschlusswirksamen Gebirgsbereich vorherrschende Grundwasserströmung, das Grundwasserangebot und die Diffusionsgeschwindigkeit.

- Indikator Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps
- Indikator Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers
- Indikator Charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient des Gesteinstyps für tritiiertes Wasser (HTO) bei 25 °C

Grundsätzlich ist die Argumentation nachvollziehbar, und die Heranziehung von entsprechenden Daten aus URLs in Olkiluoto und Palmutto (beide Finnland), Äspö (Schweden) und Grimsel (Schweiz) ist sinnvoll. Der Verweis auf Press & Siever (*Allgemeine Geologie*, 2008) ist unpassend. Fehler auf den Seiten 64 (Einheit der Fluidichte ist g/cm^3 , nicht m/s^2) und 67 (Verweis auf Formel 17 sollte auf Formel 16 sein).

Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper - Individuelle Bewertung

Anwendung durch die BGE: Obwohl das StandAG die Möglichkeit des Einsatzes von technischen und geotechnischen Barrieren offen lässt, bezieht sich die hier durchgeführte Bewertung des „Kriteriums zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper“ sowie der folgenden Indikatoren des Kriteriums ausschließlich auf den Fall, dass der sichere Einschluss durch die Einlagerung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich erfolgt. Weil dem Kriterium große Bedeutung zukommt, wird die Gesamtbewertung des Kriteriums durch die schlechteste Bewertung der Indikatoren bestimmt. Vier der fünf geforderten Indikatoren (1-4) wurden mittels prozessierter Daten aus der Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen gemäß §§ 22, 23 StandAG bewertet.

- Indikator Barrierenmächtigkeit [m]
- Indikator Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich

- Indikator Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs [m unter Geländeoberfläche]
- Indikator flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit (Vielfaches des Mindestflächenbedarfes)

Die Argumentation zu den obigen Indikatoren und die resultierenden Bewertungen auf Basis der vorhandenen Daten sind nachvollziehbar.

- Indikator Vorhandensein von Gesteinsschichten mit hydraulischen Eigenschaften und hydraulischem Potenzial, die die Induzierung beziehungsweise Verstärkung der Grundwasserbewegung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich ermöglichen können.

Dieser Indikator wurde nur für identifizierte Gebiete im Tongestein angewandt.

Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit - aus Referenzdaten

Definition durch die BGE: Charakterisierung der wesentlichen geologischen Barrieren, die direkt oder indirekt den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle gewährleisten, insbesondere des vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs oder des Einlagerungsbereichs, soll möglichst zuverlässig möglich sein

Die Indikatoren dieses Kriteriums sind ohne Kenntnis der geplanten Lage eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs/Einlagerungsbereichs eigentlich nicht zu ermitteln, und die BGE greift daher auf den Referenzdatensatz zurück. Die relativ große Bandbreite an unterschiedlichen Lithologien im Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO, und damit zwangsläufig deren Eigenschaften, ist dieser Strategie zwar nicht zuträglich, die grundlegende Bewertung, dass im Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO ein ausreichend großes, ausreichend homogenes Gesteinsvolumen zur Verfügung stehen könnte, scheint aber angemessen. Es fällt auf, dass für die Erstellung des Unterkapitels oft auf Okrusch & Matthes (Mineralogie: eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde, 2009), ein Lehrbuch für Anfänger, zurückgegriffen wurde. Hier wären wissenschaftliche Arbeiten angemessener.

- Indikator Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich

Solange ortsspezifische Daten noch nicht behoben werden können, sollte diesem Indikator eine generalisierte, aber detaillierte Recherche der möglichen Variabilität von Gesteinseigenschaften, ihrer Ursachen und der assoziierten Längenmaßstäbe zugrunde liegen. Meiner Meinung nach ist dies hier unzureichend erfolgt, und das Zustandekommen der *günstigen Bewertung* für Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO aufgrund der Beschreibung des Indikators im Referenzdatensatz ist für mich nicht nachvollziehbar. Eine Auflistung der zu charakterisierenden Eigenschaften fehlt (die BGE bezieht sich auf zwei Arbeiten, listet die Eigenschaften im entsprechenden Unterkapitel jedoch nicht auf) ebenso wie eine fundierte Darstellung der zu erwartenden Werte, ihrer möglichen Schwankungsbreite und der relevanten Längenmaßstäbe. Stattdessen werden das Trennflächengefüge und die Kluftdurchlässigkeit, beides Eigenschaften, die extrem ortsgebunden und damit zu diesem Zeitpunkt schlicht unbekannt sind, als "charakteristisch für hydraulische und geomechanische Eigenschaften von Kristallingesteinen" herangezogen (Seite 70, Referenzdatensätze). Während die Bruchdichte (als Proxy für das Trennflächengefüge) sicherlich die Geomechanik beeinflusst, kann ich den Zusammenhang mit der Kluftdurchlässigkeit nicht nachvollziehen. Ebenso wenig ist klar, wie die dann folgende Tabellierung des Durchlässigkeitsbeiwertes von verschiedenen Graniten und Gneisen (Tabelle 31, Referenzdatensätze), die über sechs Größenordnungen schwankt, eine pauschal günstige Bewertung dieses Indikators unterstützt. Die weiteren Beschreibungen zur Heterogenität von Plutoniten und Metamorphiten bleiben leider oberflächlich.

Eher überraschend ist die Tatsache, dass Heterogenität/Variabilität infolge von Gesteinsdeformation sowohl in Plutoniten als auch in Metamorphiten mit keinem Wort erwähnt wird.

- Indikator Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften

Die Beschreibung ist nachvollziehbar, aber unvollständig und hätte, um den Rahmen des Möglichen abzustecken, von einer detaillierten Analyse wie im vorigen Punkt erwähnt stark profitiert.

- Indikator Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit

Ich schließe mich der Einschätzung, dass *“das Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit ein standortspezifischer Indikator [ist], der im Rahmen eines Referenzdatensatzes für ein Wirtsgestein nur schwer untersucht werden kann”*, an. Ebenso aber der Annahme, *“dass es möglich ist, Gebiete mit einem ungestörten und gering geklüfteten Kristallingestein auszuweisen, die den einschlusswirksamen Gebirgsbereich und den Endlagerbereich aufnehmen können.”* Meschede (Geologie Deutschlands, 2018) wäre ein geeigneteres Lehrbuch zur Evaluierung der Deformation der deutschen Kristallingesteine als Okrusch & Matthes (2009), außerdem sollte die Bandbreite an tektonischen Überprägungen in der Fachliteratur gut dargestellt sein.

- Indikator Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)

Eine “günstig” Bewertung dieses Indikators bedingt laut Anlage 3 (zu § 24 Absatz 3 StandAG) eine “regional einheitliche Fazies”, wobei sich die Bewertung der Gesteinsfazies auf alle Eigenschaften eines Gesteines stützt. Im Referenzdatensatz werden dazu, Becker et al. (2020) folgend, die Gesteinszusammensetzungen (qualitative und quantitative Zusammensetzung) und wichtigsten Gesteinsgefüge (Größe, Gestalt und räumliche Anordnung der Gemengeteile) herangezogen. Dieser Abschnitt im Referenzdatensatz ist im Prinzip eine Zusammenfassung einzelner Kapitel eines Lehrbuches für Anfänger und ist überraschend oberflächlich. Unklar ist, wie diese Beschreibungen bei der Bewertung zum Einsatz kommen.

Kriterium zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse - aus Referenzdaten

Definition durch die BGE: Die für die langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse wichtigen sicherheitsgerichteten geologischen Merkmale sollen sich in der Vergangenheit über möglichst lange Zeiträume nicht wesentlich verändert haben.

- Indikator Zeitspanne über die sich die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht wesentlich verändert hat
- Indikator Zeitspanne, über die sich die Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht wesentlich verändert hat

Die Argumentation zu diesen beiden Indikatoren ist dem gegenwärtigen Wissensstand angemessen und nachvollziehbar, könnte aber auf wissenschaftlichen Arbeiten zum Thema aufbauen, und nicht auf Lehrbüchern für Anfänger. Es wird zurecht auf die Bewertung der *Ausschlusskriterien* und *Mindestanforderungen* verwiesen.

- Indikator Zeitspanne, über die sich die Gebirgsdurchlässigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht wesentlich verändert hat

Die Argumentation ist zum größten Teil nachvollziehbar. Im Gegensatz zur BGE würde ich aber argumentieren, dass die Klüftung und Klüftvernetzung des ewGs zum geringsten Teil von der Genese eines kristallinen Gesteins abhängig sind, sondern mehrheitlich von seiner postgenetischen Entwicklung. Tektonische Überprägungen und die Auswirkungen der Abkühlung und Druckentlastung während der Exhumation/Hebung sind hier besonders hervorzuheben.

Kriterium zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften - aus Referenzdaten

Definition durch die BGE: Die Neigung zur Ausbildung mechanisch induzierter Sekundärpermeabilität im einschlusswirksamen Gebirgsbereich soll außerhalb einer konturnahen entfestigten Auflockerungszone um die Endlagerhohlräume möglichst gering sein.

- Indikator (1) Aufnahme der Beanspruchung des Gebirges aus der Auffahrung ohne planmäßigen tragenden Ausbau und (2) mechanisch bedingte Sekundärpermeabilitäten

Die Argumentation ist nachvollziehbar. Die Anmerkung, dass *“die bisher in Deutschland gemachten Erfahrungen im Bergbau sowie geologische Erkundungen zeigen, dass ungeklüftete homogene Bereiche im Kristallin nicht die für ein Endlagerbergwerk benötigte räumliche Ausdehnung erreichen (BGR 2007)”* (Seite 81, Referenzdatensätze) ist zum jetzigen Zeitpunkt insofern zu relativieren, da die Präzedenzfälle in Olkiluoto (Finnland) und Forsmark (Schweden) die erweiternden Möglichkeiten der geotechnischen und technischen Barrieren in kristallinen Wirtsgesteinen aufzeigen.

Kriterium zur Bewertung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten - aus Referenzdaten

Definition durch die BGE: Die Neigung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs zur Ausbildung von Wegsamkeiten soll möglichst gering sein.

- Indikator Verhältnis repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit/repräsentative Gesteinsdurchlässigkeit

Die Argumentation ist nachvollziehbar. Der Indikator ist explizit auf ortsbezogene Daten zur Gebirgsdurchlässigkeit angewiesen, die zum jetzigen Zeitpunkt nicht vorliegen. Die Annahme, *“dass ein ausreichend großer Bereich für einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich mit geringer oder keiner Klüftung existiert”* (Seite 82, Referenzdatensätze) ist akzeptabel.

- Indikator Erfahrungen über die Barrierewirksamkeit der Gebirgsformationen
- Indikator Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Risschließung
- Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung

Die Argumentation ist zu diesen Indikatoren und die resultierenden Bewertungen sind nachvollziehbar.

Kriterium zur Bewertung der Gasbildung - aus Referenzdaten

Definition durch die BGE: Die Gasbildung soll unter Einlagerungsbedingungen möglichst gering sein.

- Indikator Wasserangebot im Einlagerungsbereich

Die Argumentation ist nachvollziehbar, und weist zu Recht auf die scheinbare Diskrepanz zwischen Beobachtungen aus URLs in Grimsel, Olkiluoto und Forsmark, die alle wasserführende Klüfte in den

relevanten Tiefen zeigen, und der Annahme im Referenzdatensatz für Kristallingestein, dass der Einlagerungsbereich als trocken anzusehen ist, hin.

Kriterium zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit - aus Referenzdaten

Definition durch die BGE: Die von Temperaturänderungen infolge der Einlagerung der radioaktiven Abfälle betroffenen Gesteinsformationen sollen so beschaffen sein, dass dadurch bedingte Änderungen der Gesteinseigenschaften sowie thermomechanische Gebirgsspannungen nicht zu einem Festigkeitsverlust und der Bildung von Sekundärpermeabilitäten im Endlagerbereich führen.

- Indikator Neigung zur Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten

Die Argumentation ist zum größten Teil nachvollziehbar, wobei anzumerken ist, dass der Indikator nur auf dem Gesteinsmaßstab evaluiert wird (sh Tabelle 41 in den *Referenzdatensätzen*), und thermisch-induzierte Schäden auf dem Kornmaßstab übergangen werden. Letztere sind in der Fachliteratur im Detail beschrieben. Die nachweisbaren Beeinträchtigungen der mechanischen (und hydraulischen) Eigenschaften in Graniten sind, z.B. vor allem auf das ungewöhnliche thermische Verhalten von Quarz zurückzuführen.

- Indikator Temperaturstabilität hinsichtlich Mineralumwandlungen

Die Argumentation ist nachvollziehbar und bezieht sich implizit auf die Metastabilität von reaktiven Mineralphasen in Abwesenheit reaktiver Fluide.

Kriterium zur Bewertung des Rückhaltevermögens im ewG - aus Referenzdaten

Definition durch die BGE: Die barrierewirksamen Gesteine eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sollen ein möglichst hohes Rückhaltevermögen gegenüber den langzeitrelevanten Radionukliden besitzen.

- Indikator – Sorptionskoeffizienten für die betreffenden langzeitrelevanten Radionuklide

Die Argumentation ist nachvollziehbar und orientiert sich, zu Recht, an relevanten Studien zu Olkiluoto (Finnland), Forsmark (Schweden) und der Schweiz.

- Indikator – Gehalt an Mineralphasen mit großer reaktiver Oberfläche
- Indikator – Ionenstärke des Grundwassers
- Indikator – Öffnungsweite der Gesteinsporen im Nanobereich

Die Argumentation zu den obigen Indikatoren basiert auf adäquater Literatur und ist nachvollziehbar.

Kriterium zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse - aus Referenzdaten

Definition durch die BGE: Die chemische Zusammensetzung der Tiefenwässer und die festen Mineralphasen des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sollen sich auch nach dem Einbringen von Behälter- und Ausbaumaterial positiv auf die Rückhaltung der Radionuklide auswirken und das Material technischer und geotechnischer Barrieren chemisch möglichst nicht angreifen.

- Indikator – Chemisches Gleichgewicht zwischen dem Wirtsgestein im Bereich des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und dem darin enthaltenen tiefen Grundwasser
- Indikator – Neutrale bis leicht alkalische Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8) im Bereich des Tiefenwassers

- Indikator – Anoxisch-reduzierendes Milieu im Bereich des Tiefenwassers
- Indikator – Möglichst geringer Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern im Tiefenwasser
- Indikator – Geringe Karbonatkonzentration im Tiefenwasser

Die Argumentation zu den obigen Indikatoren ist nachvollziehbar und basiert auf adäquater Literatur.

Kriterium zur Bewertung des Schutzes des ewG durch das Deckgebirge - Individuelle Bewertung

Anwendung durch die BGE: Die Bewertung erfolge anhand gebietsspezifischer Daten; aufgrund der besonderen Bedeutung des Kriteriums bestimmt die schlechteste Bewertung eines Indikators die Gesamtbewertung.

- Indikator – Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge
- Indikator – Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs
- Indikator – keine Ausprägung struktureller Komplikationen (zum Beispiel Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten

Die Argumentation zu diesen Indikatoren und die resultierenden Bewertungen auf Basis der verfügbaren Daten sind nachvollziehbar.

5 Zusammenfassende Bemerkungen

Ich bin zu dem Schluss gekommen, dass die BGE mit dem Zwischenbericht Teilbericht eine belastbare Grundlage für das weitere Standortauswahlverfahren vorgelegt hat. Die Aufgabe war ebenso umfassend wie wichtig, und die Kollegen haben eine vereinheitlichte geowissenschaftliche Datenbasis für die Bundesrepublik geschaffen, deren Bedeutung eigentlich die des Verfahrens weit übersteigt. Das Vorgehen der BGE war transparent, professionell und nachvollziehbar. Zusammenfassend halte ich fest:

- Das zur Erfüllung des §22 StandAG von der BGE entwickelte Verfahren zur Anwendung der Ausschlusskriterien ist praktikabel und nachvollziehbar. Es bleibt zu klären, wie sich eine veränderte Datenlage (wie z.B. neue Erdbebengefährdungskarten, §22 Absatz 2 Punkt 4) auf die erneute Anwendung der Ausschlusskriterien auswirken, wenn gegenwärtig ausgeschlossene Gebiete dann wieder in die Standortsuche integriert werden müssten.
- Das zur Erfüllung des §23 StandAG von der BGE entwickelte Verfahren zur Feststellung der Mindestanforderungen ist praktikabel und nachvollziehbar. Die benützte Definition eines "kristallinen Wirtsgesteins" ist nicht unangreifbar.
- Das zur Erfüllung des §24 StandAG von der BGE entwickelte Verfahren zur Beurteilung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ist praktikabel und im Prinzip nachvollziehbar. Die Abschnitte der Referenzdatensätze, die das Kristallingestein betreffen, sind von variabler wissenschaftlicher Belastbarkeit. Diese Schwankungen können und sollten eliminiert werden. Sie beeinträchtigen die vorliegende erste Bewertung jedoch derzeit nicht maßgeblich. Der Schritt von den Beschreibungen in den Referenzdatensätzen zur verbalargumentativen Bewertung einzelner Indikatoren in einzelnen Teilgebieten könnte klarer sein.
- Die vorliegenden Daten und Dokumente sind ausreichend, um die Regionen NW Marktredwitz und SE Freiberg nach §§22-24 StandAG zu bewerten. Die Bewertung nach den obigen Verfahren ist nachvollziehbar, fachlich korrekt, eine geeignete Diskussionsgrundlage für die Fachkonferenz

Teilgebiete und eine valide Basis für die Ermittlung von Standortregionen für die übertägige Erkundung in Schritt 2/Phase 1.

6 Empfehlungen

Im Zuge meiner gutachterlichen Arbeit sind mir einzelne Aspekte im Bewertungsprozess aufgefallen, die verbesserungswürdig erscheinen, um die nächsten Schritte des Standortauswahlverfahrens konstruktiv zu unterstützen:

- 1) Im kristallinen Wirtsgestein diktiert der Zuschnitt der Teilgebiete die Variabilität der Indikatoren, die für die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien beurteilt werden. Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO, umfasst mit seiner großen Fläche von 32 655 km² weite Teile des deutschen Anteils am Saxothuringikum. Diese paläogeographische Einheit hat eine äußerst komplexe geodynamische Vergangenheit und wird von den unterschiedlichsten Lithologien mit diversen metamorphen Überprägungsgraden aufgebaut. Ich hege gewisse Zweifel, ob mit dem Fokus auf die Paläogeographie bei der Festlegung des Teilgebietes seiner Komplexität Rechnung getragen wurde, oder ob eine Gliederung nach (kleineren) lithotektonischen Erwägungen sinnvoller gewesen wäre.
- 2) Für die initiale Datenaufbereitung und -weitergabe müssen auch auf Seiten der Bundes- und vor allem der kleineren Landesämter (i.e. der Datenquelle) entsprechende personelle Ressourcen bereitstehen. Die dortigen Mitarbeiter stellen zudem selbst eine signifikante Ressource dar, auf die bei der weiteren Standortauswahl nicht verzichtet werden sollte.
- 3) Es ist für Außenstehende wie auch für Mitarbeiter der BGE nicht trivial, gebietsspezifische Daten im GIS abzurufen. Eine Koordinaten-basierte Suchfunktion (i.e. welche Daten sind für ein bestimmtes Gebiet verfügbar?) scheint zu fehlen. Dies wäre eine extrem sinnvolle Ergänzung.
- 4) Einzelne Arbeitsschritte (wie, z.B. die Qualitätssicherung durch extern Beauftragte) bei der Erstellung des Zwischenberichtes scheinen unter signifikantem Zeitdruck und unter den erschwerten Bedingungen der Corona Pandemie erfolgt zu sein. Mir ist nicht aufgefallen, dass sich dies negativ auf das Verfahren und den Zwischenbericht ausgewirkt hätte, allerdings sollte übermäßiger Zeitdruck in Zukunft wohl besser vermieden werden. Zudem scheint mir der informelle wissenschaftliche Austausch unter den beteiligten Kollegen sehr wichtig. Dieser Aspekt scheint unter den Corona-bedingten Restriktionen gelitten zu haben.
- 5) Die *Referenzdatensätze für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien* sind auch im weiteren Verfahrensverlauf enorm wichtig, da auch in Schritt 2/Phase 1 zahlreiche Annahmen zum geologischen Untergrund gemacht werden müssen. Die bisherige Strategie zur wissenschaftlichen Qualitätssicherung hat, meiner Meinung nach, nur bedingt gegriffen und sollte nicht weiter verfolgt werden. Stattdessen sollten die relevanten Einzelteile der Referenzdatensätze einem Peer-Review durch unabhängige wissenschaftliche Experten unterzogen werden, mit dem Ziel die Qualität des Dokumentes auf hohem Niveau zu vereinheitlichen.
- 6) Ich würde die Einrichtung eines wissenschaftlichen Beirats empfehlen, welcher die Arbeit der BGE laufend begleitet, und als Schaltstelle zur wissenschaftlichen Fachgemeinschaft dient. Dieser Beirat könnte auch bei der Klärung grundsätzlicher wissenschaftlicher Fragen (wie der Definition von wichtigen Begriffen) behilflich sein.

7 Literaturverzeichnis

Becker, D.-A., Bertrams, N., Bollingerfehr, W., Eickenmeier, R., Flügge, J., Frenzel, B., Maßmann, J., Mayer, K.-M., Mönig, J., Mrugalla, S., Müller-Hoeppe, N., Reinhold, K., Rübel, A., Schubarth-Engelschall, N., Simo, E., Thiedau, J., Thiemeyer, T., Weber, J. R. & Wolf, J. (2020). Grundlagen zur Bewertung eines Endlagersystems in einer Kristallingesteinsformation mit mehreren

- einschlusswirksamen Gebirgsbereichen (K1). 03.04.2020. Berichtsentwurf. BGE TECHNOLOGY GmbH, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) GmbH. Braunschweig
- Dahm, T., Hrubcová, P., Fischer, T., Horálek, J., Korn, M., Buske, S., & Wagner, D. (2013). Eger Rift ICDP: an observatory for study of non-volcanic, mid-crustal earthquake swarms and accompanying phenomena. *Scientific Drilling*, 16, 93-99.
- DBE TEC (2016). Gutachten - Flächenbedarf für ein Endlager für wärmeentwickelnde, hoch radioaktive Abfälle. K-MAT 58. DBE Technology GmbH. Peine
- Franke, W., Kreuzer, H., Okrusch, M., Schüssler, U., & Seidel, E. (1995). Stratigraphy, structure, and igneous activity. In *Pre-permian geology of central and Eastern Europe* (pp. 277-294). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Franke, W. (2000). The mid-European segment of the Variscides: tectonostratigraphic units, terrane boundaries and plate tectonic evolution. *Geological Society, London, Special Publications*, 179(1), 35-61.
- Geissler, W. H., Kämpf, H., Kind, R., Bräuer, K., Klinge, K., Plenefisch, T., ... & Nehybka, V. (2005). Seismic structure and location of a CO₂ source in the upper mantle of the western Eger (Ohře) Rift, central Europe. *Tectonics*, 24(5).
- Grünthal, G., & Bosse, C. (2020): Unterschiede, Beziehungen und Gemeinsamkeiten der Erdbebenkarten nach bisherigem und neuem Nationalen Anhang zum Eurocode 8: Erdbebenzonenkarte nach DIN EN 1998-1/NA: 2011-01 und Karte der spektralen Antwortbodenbeschleunigungen nach E DIN EN 1998-1/NA: 2018-10. *Bautechnik* 98.
- Grünthal, G., Stromeyer, D., Bosse, C., Cotton, F., & Bindi, D. (2018). The probabilistic seismic hazard assessment of Germany—version 2016, considering the range of epistemic uncertainties and aleatory variability. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(10), 4339-4395.
- Jähne-Klingberg, F., Stück, H., Bebiolka, A., Bense, F., Stark, L. (2019): Prognosemöglichkeiten von großräumigen Vertikalbewegungen für Deutschland – Abschlussbericht; Hannover (BGR).
- Meschede, M. (2018). *Geologie Deutschlands: Ein prozessorientierter Ansatz*. Springer-Verlag.
- Okrusch, M., & Matthes, S. (2009). *Mineralogie: eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde*. Springer-Verlag.
- Press, F., Siever, R., & Grotzinger, J. P. (2008). *Allgemeine Geologie*. Spektrum, Akad. Verlag.
- Reinhold, K. (2005). *Tiefenlage der „Kristallin - Oberfläche“ in Deutschland – Abschlussbericht; Hannover (BGR)*.
- Stettner, G. (1960). Über Bau und Entwicklung der Münchberger Gneismasse. *Geologische Rundschau*, 49(2), 350-375.
- Wehrens, P., Baumberger, R., Berger, A., & Herwegh, M. (2017). How is strain localized in a meta-granitoid, mid-crustal basement section? Spatial distribution of deformation in the central Aar massif (Switzerland). *Journal of structural geology*, 94, 47-67.
- Wenzel, F. (2020). Gutachten: [Prüfung Ausschlusskriterium seismische Aktivität](#). Nationales Begleitgremium. abgerufen am 1.12.2020.
- Zemke, J. (2020). Gutachten: [Prüfung Ausschlusskriterium vulkanische Aktivität](#). Nationales Begleitgremium. abgerufen am 1.12.2020