

Fachkonferenz Teilgebiete

2. Beratungstermin

Datum: 04.06.2021

Dok.-Nr.: FKT_Bt2_015



Zusammenstellung von Links zu Stellungnahmen und Beiträgen zum Zwischenbericht Teilgebiete der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (Stand: 04.06.2021)

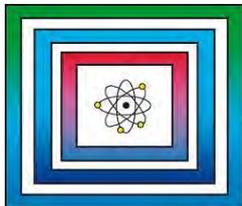
Verfasser	Link	Seite
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)	https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/BGR_Anmerkungen/2021_01_27_anmerkungen_zum_zwischenbericht_teilgebiete.pdf;jsessionid=2365422F313D28782F4092B7C1A18223.1_cid292?_blob=publicationFile&v=3	3
Staatl. Geolog. Dienste der Länder B, BB, HB, M-V, Nds, SN, SH zu tertiärem Tongestein	https://uploads-ssl.webflow.com/5f4796c78ddf417e366f04d7/6034efba0b2cae2df0473cb7_2021-02-01_Positionspapier_SGD_zum_BGE-Zwischenbericht_Teilgebiet-Terti%C3%A4res-Tongestein.pdf	56
Direktorenkreis der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands (SGD)	Anschreiben https://www.bgr.bund.de/Infogeo/DE/Downloads/2020_10_07_anschreiben_DK-vorsitz_fachliche_positionspapiere_SGD.pdf?_blob=publicationFile&v=5	69
	AK Vulkanismus https://www.bgr.bund.de/Infogeo/DE/Downloads/2020_10_07_ausschlusskriterium_vulkanismus.pdf?_blob=publicationFile&v=2	71
	AK Aktive Störungszonen https://www.bgr.bund.de/Infogeo/DE/Downloads/2020_10_07_ausschlusskriterium_aktive_stoerungszonen.pdf?_blob=publicationFile&v=2	85
	AK Bergbauliche Bohrungen https://www.bgr.bund.de/Infogeo/DE/Downloads/2020_10_07_ausschlusskriterium_einfluesse_bergbaulicher_taetigkeit.pdf?_blob=publicationFile&v=1	91
DAEF Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung	https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/20201016_DAEF_an_BGE_Schreiben_zu_Teilgebieten_barrierefrei.pdf	95

Baden-Württemberg Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau	https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungennahmen/20201201_LGRB_an_BGE_Schreiben_Fachliche_Anmerkungen_zum_ZBTG_inkl._Antwort_der_BGE_barrierefrei.pdf	99
Bayerisches Landesamt für Umwelt, Abt. 10 Geologischer Dienst	https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungennahmen/20201118_LfU_an_BGE_Schreiben_Fragen_und_Anmerkungen_zum_ZBTG_inkl._Antwort_der_BGE_barrierefrei.pdf	104
Berlin Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz - Landesgeologie II B 3	https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungennahmen/20210121_SUVK_an_BGE_Schreiben_zu_ZBTG_inkl._Antwort_der_BGE_barrierefrei.pdf	117
Hamburg Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft	https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungennahmen/HH_Stellungnahme_Zwischenbericht_Teilgebiete_barrierefrei.pdf	119
Mecklenburg- Vorpommern Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie	https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungennahmen/2021-02-03_LUNG_an_BGE_Stellungnahme_zum_ZBTG_barrierefrei.pdf	123
Niedersachsen Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie	https://uploads-ssl.webflow.com/5f4796c78ddf417e366f04d7/603673cd07949284e78c6830_2021-02-02_Stellungnahme_LBEG_BGE-Zwischenbericht-Teilgebiete.pdf	131
Nordrhein-Westfalen Geologischer Dienst NRW	https://www.gd.nrw.de/zip/endlagersuche-stellungnahme-gdnrw-zwischenbericht-teilgebiete.pdf	156
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie	https://www.geologie.sachsen.de/js/Fachstellungnahme_Pruefung_Zwischenbericht_Teilgebiete_Sachsen.pdf	173
Schleswig-Holstein Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, Abt. Geologie und Boden	https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungennahmen/20210129_LLUR_an_BGE_Schreiben_Stellungnahme_zum_ZBTG_inkl._Antwort_der_BGE_barrierefrei.pdf	215
Thüringen Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz Abt. 8: Geologie, Bergbau	https://tlubn.thueringen.de/fileadmin/00_tlubn/Geologie_und_Bergbau/Landesgeologie/1._Zwischenbericht_des_TLUBN.pdf	222

Standortauswahl

9S2016010000

Anmerkungen der BGR
zum
Zwischenbericht Teilgebiete
der BGE



Kurzbericht

Hannover, Januar 2021

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND
ROHSTOFFE HANNOVER

Standortauswahl

Koordinierung StandAG

Anmerkungen der BGR
zum Zwischenbericht Teilgebiete der BGE

Kurzbericht

Autoren: Bundesanstalt für Geowissenschaften
und Rohstoffe (BGR)
Datum: 19.01.2021
Geschäftszeichen: B3.1/B50161-02/2021-0002/001
Gesamtblattzahl: 52

Im Auftrag:

gez. G. Enste

Direktor und Professor G. Enste
Abteilungsleitung B 3 und Projektleitung Endlagerung

Inhaltsverzeichnis	Seite
Verkürzte Zusammenfassung	4
1 Einleitung	5
2 Redaktionelle Hinweise zum Zwischenbericht Teilgebiete und den unter- setzenden Unterlagen	7
3 Verwendung der Referenzdatensätze	8
4 Anmerkungen zu den Teilgebieten	10
4.1 Wirtsgestein Kristallin	10
4.2 Wirtsgestein Tongestein	12
5 Anmerkungen zur Anwendung der Ausschlusskriterien	13
5.1 Ausschlusskriterium „Vulkanische Aktivität“	13
5.1.1 Tertiäre Vulkanfelder	14
5.1.2 Sicherheitszone	15
5.1.3 Zusätzliche Indikatoren und Ausschlussgebiete	15
5.1.4 Fazit	16
5.2 Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“	17
5.2.1 Aktive Störungszonen im Kristallingestein	17
5.2.2 Methodik bei Fehlen von „Post-Rupel“-Sedimenten	17
5.2.3 Methodik sowie Ursprung und Umgang mit Daten	17
5.2.4 Ausschluss von Scheitelstörungen	20
5.2.5 Ausschluss von Lineamenten durch den Verschnitt mit durch die BGE definierten Strukturregionen	22
5.2.6 Umgang bzw. Berücksichtigung weiterer Aspekte	24
5.3 Ausschlusskriterium „großräumige Vertikalbewegungen“	26
5.4 Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer berg- baulicher Tätigkeit“	27
5.5 Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“	27
5.5.1 Relevanz des Ausschlusskriteriums	27
6 Anmerkungen zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungs- kriterien (geoWK)	28
6.1 Anwendung der geoWK für Gebiete im Tongestein	29
6.2 Anwendung der geoWK für Gebiete im Salzgestein: Steinsalz in steiler Lagerung	30
6.3 Anwendung des geoWK 11	32
6.4 Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs im geoWK-11	38

Seite

6.5	Vorgehen bei der Aggregierung der geowissenschaftlichen Abwägungs- kriterien	41
6.5.1	Beispiele	42
7	Fazit	43
8	Berücksichtigte BGE-Berichte zum Zwischenbericht Teilgebiete	43
	Literaturverzeichnis	45
	Abkürzungsverzeichnis	49
	Abbildungsverzeichnis	52

Verkürzte Zusammenfassung

Autoren:	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Titel:	Anmerkungen der BGR zum Zwischenbericht Teilgebiete der BGE
Schlagwörter:	Abwägungskriterien, Ausschlussgebiete, Ausschlusskriterien, Standortauswahl, Wirtsgestein, Zwischenbericht Teilgebiete

Am 28.09.2020 hat die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) gemäß § 13 des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG) den Zwischenbericht Teilgebiete (Geschäftszeichen: SG01101/16-1/2-2020#1 – Objekt-ID: 830015 – Revision: 000) nebst 74 untersetzender Unterlagen veröffentlicht. Die BGR hat an der Erstellung dieses Zwischenberichtes der BGE nicht mitgewirkt. Im Rahmen einer Zusammenarbeitsvereinbarung zwischen BGE und BGR wurden von der BGR das Standortauswahlverfahren betreffende, geowissenschaftliche Fragestellungen für die BGE bearbeitet. Die daraus hervorgegangenen BGR-Berichte wurden der BGE übersandt. Die BGR-Berichte sind auf dem BGR-Internetportal veröffentlicht.

Der hier vorgelegte Kurzbericht basiert auf einer fachlichen Befassung mit dem Zwischenbericht Teilgebiete der BGE sowie der untersetzenden Dokumente. Er ist als Unterstützung für den weiteren Auswahlprozess zu verstehen. Die Ausführungen mit Stand Dezember 2020 dienen als Anregung zur Befassung und möglichen Verbesserung der Anwendung einzelner geowissenschaftlicher Anforderungen und Kriterien für die weitere Umsetzung des Standortauswahlprozesses und der Kommunikation von Methodiken und Ergebnissen.

1 Einleitung

Am 28.09.2020 hat die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) gemäß § 13 des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG) den Zwischenbericht Teilgebiete (Geschäftszeichen: SG01101/16-1/2-2020#1 – Objekt-ID: 830015 – Revision: 000) nebst 74 untersetzender Unterlagen veröffentlicht.

Ziel des Standortauswahlverfahrens ist es, in einem wissenschaftsbasierten und transparenten Verfahren mit umfassender Bürgerbeteiligung bis zum Jahr 2031 einen Endlagerstandort für hochradioaktive Abfälle zu finden, der die bestmögliche Sicherheit für eine Million Jahre gewährleistet. Die im Gesetz vorgeschriebene Anwendung von Kriterien zur Ermittlung der Teilgebiete obliegt der BGE als Vorhabenträgerin des Standortauswahlverfahrens.

Der Zwischenbericht Teilgebiete der BGE enthält die Ergebnisse der ersten Auswertung von bereits existierenden geologischen Daten über den Untergrund Deutschlands. Das Ergebnis sind zum einen die Gebiete, die für die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen ungeeignet sind, als auch die Gebiete, die eine günstige geologische Gesamtsituation dafür erwarten lassen. Die BGE hat die in den § 22 bis 24 StandAG festgelegten Kriterien anhand der vorliegenden geologischen Daten auf ganz Deutschland angewendet.

Von der BGE wurden 90 Teilgebiete mit günstigen geologischen Gesamtsituationen ausgewiesen, mit einer Fläche von ca. 240.874 km². Davon liegen:

- im Wirtsgestein Tongestein neun Teilgebiete mit einer Fläche von ca. 129.639 km²,
- im Wirtsgestein Steinsalz 74 Teilgebiete mit einer Fläche von ca. 30.450 km², davon befinden sich 60 Teilgebiete in steil stehenden Steinsalzformationen und 14 Teilgebiete in stratiformen, also flachen Steinsalzformationen,
- im kristallinen Wirtsgestein sieben Teilgebiete mit einer Fläche von 80.786 km².

Da sich die Teilgebiete in erdgeschichtlich unterschiedlichen Schichteinheiten befinden, überlagern sie sich teilweise. Berücksichtigt man die Überlagerung einiger Teilgebiete, ist in Deutschland eine Fläche von ca. 194.157 km², also ein Anteil von ca. 54 % der Landesfläche als Teilgebiet ausgewiesen und bildet den Ausgangspunkt für die weiteren Schritte im Standortauswahlverfahren.

Die BGR hat an der Erstellung des Zwischenberichtes Teilgebiete der BGE nicht mitgewirkt.

Im Rahmen einer Zusammenarbeitsvereinbarung zwischen BGE und BGR wurden von der BGR folgende, das Standortauswahlverfahren betreffende, geowissenschaftliche Fragestellungen für die BGE bearbeitet:

- Ausschlusskriterium Großräumige Vertikalbewegungen,
- Ausschlusskriterium Aktive Störungszonen,
- Ausschlusskriterium Seismische Aktivität,
- Ausschlusskriterium Vulkanische Aktivität,
- Ausschlusskriterium Grundwasseralter,
- Konzept zur generellen Vorgehensweise zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien,
- Mitarbeit im Forschungsvorhaben RESUS mit dem Ziel, wissenschaftlich-technische Grundlagen für die sicherheitsgerichtete Abwägung von Teilgebieten und für die Durchführung repräsentativer vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen zu entwickeln,
- geologische und klimatische Langzeitentwicklung in Deutschland mit Relevanz für die Endlagerung im Projekt RESUS.

Die aus der Bearbeitung der oben genannten Fragestellungen hervorgegangenen BGR-Berichte wurden der BGE übersandt. Die BGR-Berichte sind auf dem BGR-Internetportal veröffentlicht, siehe:

https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Produkte/produkte_node.html?tab=Standortauswahl

Die folgenden Ausführungen sind als Unterstützung für den weiteren Auswahlprozess zu verstehen. Sie dienen als Anregung zur Befassung und möglichen Verbesserung der Anwendung einzelner geowissenschaftlicher Anforderungen und Kriterien für die weitere Umsetzung des Standortauswahlprozesses und der Kommunikation von Methodiken und Ergebnissen. Die Ausführungen mit Stand Dezember 2020 basieren auf einer fachlichen Befassung mit dem Zwischenbericht Teilgebiete der BGE sowie der untersetzenden Dokumente. Aufgrund des Umfangs der veröffentlichten Unterlagen erheben die nachfolgenden Ausführungen keinen Anspruch auf vollständige Sichtung. Die BGR bietet sich an, Einschätzungen bei Bedarf zu ergänzen oder im Detail weiter zu überprüfen.

Wörtlich aus den BGE-Berichten übernommene Passagen sind in diesem Text kursiv gedruckt.

2 Redaktionelle Hinweise zum Zwischenbericht Teilgebiete und den untersetzenden Unterlagen

Die Berichtsstruktur des Zwischenberichts Teilgebiete und der zugehörigen Unterlagen ist sehr komplex. Es wird deshalb ein Leitsystem durch das (untersetzende) Berichtswesen angeregt, beispielsweise im Anhang zum Hauptbericht, detaillierter als auf der BGE Internetseite, um gezielt bestimmten Fragestellungen zum Zwischenbericht Teilgebiete nachzugehen. Solche Verweise sind wichtig und hilfreich, da sie eine Grundlage zur Transparenz und Nachvollziehbarkeit bilden. Verweise auf Berichte bzw. Berichtskonvolute (z. B. auf BGE (2020I) mit insgesamt 3740 Seiten) können durch Angabe von jeweils relevanten Kapiteln, Seitenzahlen, etc. die Lesbarkeit erleichtern.

Beispiele

In BGE (2020a, S. 110) wird für das „Kriterium zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ auf das Anwendungsprinzip Nr. 9 in Kapitel 2 desselben Berichtes verwiesen. Die Anwendungsprinzipien in Kapitel 2 in BGE (2020a) umfassen lediglich sieben Prinzipien; es sollte an dieser Stelle wahrscheinlich auf Anwendungsprinzip Nr. 5 verwiesen werden.

In BGE (2020ag) zu den Geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK) fällt auf, dass in geoWK-11 „Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge“ die Reihenfolge der Indikatoren in den Langfassungen der Steckbriefe von der Nummerierung/Reihenfolge der Indikatoren im StandAG abweicht (geoWK 11.3 gemäß StandAG ist geoWK 11.2 bei BGE Anlage 1A/1B). Dies führt beim Lesen der Berichte und des StandAG unter Umständen zu Missverständnissen.

Des Weiteren ist die Übersicht zu den jeweiligen Teilgebieten bezüglich des Kriteriums geoWK-1 irreführend. In Anlage 1 (zu § 24 Absatz 3) des StandAG sind die Punkte „Absolute Porosität“ und „Verfestigungsgrad“ die letzten beiden Punkte, werden jedoch in den Tabellen zu den Teilgebieten (BGE 2020g) bei Indikator 2 und 3 als „nicht anwendbar“ markiert, was man nur wieder der Anlage 1A/1B des Fachberichtes Teilgebiete entnehmen kann. Die BGR regt diesbezüglich eine Überarbeitung der Unterlagen an, um eine Konsistenz und Nachvollziehbarkeit sicherzustellen.

3 Verwendung der Referenzdatensätze

In BGE (2020b) wird dargelegt, dass die Referenzdatensätze „der Bewertung der Indikatoren und Kriterien im Zuge der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK) nach § 24 StandAG mit Hilfe des Bewertungsmoduls für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien“ dienen. Weiterhin wird ausgeführt: „Es wird eine literaturbasierte Betrachtung für diejenigen Indikatoren und Kriterien (aus den Anlagen 1 bis 11 (zu § 24) StandAG) durchgeführt, welche nicht auf Basis von ortsbezogenen Daten bewertet werden. Das Ergebnis dieser Ausarbeitung sind Referenzdatensätze für die Wirtsgesteine Tongestein, Kristallingestein und Steinsalz (§ 1 Abs. 3 StandAG). Demgegenüber wird in BGE (2020g) ausgeführt, dass „im Zuge der Ermittlung von Teilgebieten gemäß § 13 StandAG [...] alle Gebiete in Deutschland in der notwendigen Tiefe mit den vorhandenen geologischen Daten bewertet werden“ konnten. „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“.

§ 13 StandAG besagt, dass „in dem Zwischenbericht [...] sämtliche für die getroffene Auswahl entscheidungserheblichen Tatsachen und Erwägungen dargestellt [werden]; sofern Gebiete vorhanden sind, die aufgrund nicht hinreichender geologischer Daten nicht eingeordnet werden können, sind diese ebenfalls aufzuführen und ist eine Empfehlung zum weiteren Umgang mit diesen Gebieten aufzunehmen.“ Inwieweit auf Basis einer literaturbasierten Betrachtung und einer darauf beruhenden Ausarbeitung von Referenzdatensätzen für die Wirtsgesteine Tongestein, Kristallingestein und Steinsalz eine objektive und angemessene Bewertung aller Gebiete in Deutschland in der notwendigen Tiefe erfolgen kann, sollte von der BGE näher erläutert werden.

Es werden Referenzdatensätzen verwendet, mit denen die Mehrheit der geoWK pauschal für alle identifizierten Gebiete ohne Berücksichtigung ortsspezifischer Daten abgeprüft wird. Hier stellt sich die Frage, ob dieses Vorgehen die erforderliche Verfahrensgerechtigkeit gewährleistet, da es den konservativen Ansatz einer tendenziell positiven Grundannahme nicht konsequent umsetzt. Unklar ist zudem, ob ortsspezifische Daten berücksichtigt werden. Zum anderen fordert das Gesetz explizit die Darlegung des Umgangs mit Gebieten, für die keine hinreichende Datenlage vorliegt. Hierunter ist die Datenlage der von den zuständigen Landes- und Bundesbehörden zur Verfügung zu stellenden Daten zu verstehen. Zum Umgang mit dieser Forderung liefert der Bericht keine Informationen. Es wird angeregt, im Sinne der Nachvollziehbarkeit des Verfahrens die Entscheidung über die Verwendung von Referenzdatensätzen anstelle geringer bzw. nicht repräsentativer Datenmengen zu überprüfen und, wo immer möglich, der tatsächlich vorhandenen Datenlage den Vorrang zu geben. In Fällen, in denen Referenzdaten zur Anwendung kommen, empfiehlt sich eine

stärkere Differenzierung der regionalen und/oder stratigraphischen Gesteinsvorkommen, um erforderliche unterschiedliche Referenzdatensätze für einen Gesteinstyp herzuleiten.

Die Notwendigkeit einer standortspezifischen Betrachtung der Daten/Parameter gilt im Grundsatz für alle im StandAG vorgegebenen Anforderungen und Kriterien. Es ist nicht nachvollziehbar, nach welchen konkreten Aspekten und auf welcher konkreten Datengrundlage sich die Entwicklung und Nutzung von Referenzdatensätzen gründet. Zudem ist nicht erkennbar, welche Datengrundlage konkret für jedes identifizierte Gebiet (IG) vorliegt, welche ortspezifischen Daten für die Anwendung der geoWK benutzt wurden und ob für jedes Teilgebiet (TG) bzw. IG tatsächlich die vorliegende standortspezifische Datenlage bei der Bewertung berücksichtigt wurde oder ob stattdessen in einem vereinfachten Ansatz nur der Referenzdatensatz angewendet wurde. So fehlt etwa im IG 045_00IG_S_s_z eine Erläuterung, wie mit vorliegenden standortspezifischen Daten gegenüber dem Referenzdatensatz umgegangen wird.

Bei der Darstellung der Referenzdatensätze in BGE (2020b) werden die Datenquellen und daraus zitierte Werte inklusive der in der Literatur vorhandenen Spannbreiten benannt. Eine Bewertung dieser Datenquellen und damit zusammenhängend eine Einschätzung, welche dieser Literaturdaten als repräsentativ und belastbar angesehen und für die Zusammenstellung eines Referenzdatensatzes verwendet wurden, ist nicht dokumentiert. Die Bewertung erfolgt nur indirekt durch Zuordnung der Wertungsgruppen in BGE (2020k), was die Nachvollziehbarkeit der Bewertung der Datengrundlage erschwert. Auffallend ist, dass seitens BGE (2020k) stets von einer tendenziell günstigen Annahme ausgegangen wird, auch wenn im Referenzdatensatz (BGE 2020b) durchaus differenziertere Daten vorhanden sind.

Im Referenzdatensatz für Tongestein wird nicht zwischen tertiärem und prä-tertiärem Ton unterschieden. Eine differenzierte Betrachtung hätte ggf. bei einigen Kriterien bzw. Indikatoren (z. B. BGE 2020k, Anhang 1.1) zu einer anderen Bewertung geführt (tertiäre Tone haben z. B. höhere Porosität und höhere Wassergehalte). Im Referenzdatensatz für Tongestein wird überwiegend etablierte und einschlägige Literatur zu bekannten Endlagerprojekten oder Forschungsstandorten in europäischen Nachbarländern zitiert. Hinzu kommen Datenerhebungen aus generischen Studien, die Tongestein berücksichtigen (z. B. die Projekte ANSICHT und RESUS). Konkrete Daten oder Parameter zu Standorten oder Tongesteinsinformationen in Deutschland sind im Teilgebietebericht selten angeführt (z. B. die Untersuchungsbohrung K101 im Bereich des Endlagers Konrad), was mit der geringen Datenlage erklärt werden könnte, aber keine Erwähnung findet.

In BGE (2020b, S. 31) beziehen sich die Angaben zum Diffusionskoeffizienten im Referenzdatensatz für Tongestein auf den charakteristischen effektiven Diffusionskoeffi-

zienten für tritiiertes Wasser (HTO). Allerdings ist der Temperaturbereich (25 °C gemäß StandAG), bei dem die Messwerte erhoben wurden, nicht einheitlich. Ab wieviel Grad ein signifikanter Unterschied besteht, wird nicht ausgeführt.

Bei der Anwendung des Referenzdatensatzes (BGE 2020k, ab S. 62) weicht die BGE in ihren Steckbriefen von dem selbst erstellten Muster ab. Die beiden Indikatoren des geoWK-1 „Absolute Porosität“ und „Verfestigungsgrad“ werden in der Übersicht in Tabelle 7 mit „günstig“ für Tongestein angegeben. In den Steckbriefen für die Teilgebiete und die identifizierten Gebiete wird „nicht anwendbar“ angegeben. Als Begründung wird angeführt: „Dieser Indikator kommt nicht zur Anwendung, da bereits der Indikator charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient angewendet wurde.“ In Anlage 1 zu § 24 Absatz 3 werden diese Punkte für Tonstein extra angeführt, sodass „nicht anwendbar“ nur für die Wirtsgesteine Salz und Kristallin gilt.

4 Anmerkungen zu den Teilgebieten

Im Folgenden wird nicht auf die Methodik der Ausweisung der Teilgebiete selbst, sondern auf grundsätzliche Fragen, die Teilgebiete mit den Wirtsgesteinen Kristallin und Tongestein betreffen, eingegangen.

4.1 Wirtsgestein Kristallin

Die Teilgebiete mit kristallinen Wirtsgesteinen ergeben sich aus den großtektonischen Einheiten des Variszikums (Renoherzynikum, Nördliche Phyllitzone, Mitteldeutsche Kristallinzone, Südliche Phyllitzone, Saxothuringikum und Moldanubikum) und umfassen insgesamt sehr große Flächen mit jeweils mehreren nicht weiter ausgehaltenen Einzelflächen.

Aus dem Zuschnitt der Gebiete ergeben sich Fragen bezüglich ihrer Eingrenzung. An einzelnen Stellen, zum Beispiel in Sachsen, wurde die Grenzziehung u. a. auch an vorliegenden 3D-Modellen ausgerichtet, was zum Teil zu scharfen/unnatürlichen Grenzziehungen führt. An anderen Stellen, zum Beispiel in Nordbayern, endet das Teilgebiet „Saxothuringikum“ ohne ersichtlichen Grund abrupt an der Landesgrenze von Bayern zu Thüringen. Bei Verschnitt der Ausschlussgebiete mit der Karte der Teilgebiete und den Auswahlgebieten der BGR-Kristallinstudie (Bräuer et al. 1994) bleiben einige Flächenanteile der Auswahlgebiete übrig, die nicht als Teilgebiet in Betracht kommen, aber nicht wie zum Beispiel der Malsburggranit in Baden-Württemberg wegen eines Ausschlusskriteriums verworfen wurden. Dies trifft zum Beispiel auf Teilflächen des Graugneiskomplexes, des

Meißner Massivs und des Gebietes Radeberg-Löbau zu (vgl. Abbildung 1) und hängt vermutlich mit dem Zuschnitt auf Gebiete mit einer Grundgebirgsoberfläche zwischen 300 und 1300 m unter GOK zusammen (vgl. Abbildung A 54 in BGE 2020j). Dies ist verwirrend, da in der Karte auch oberflächennahe Vorkommen enthalten sind. Folglich kann nur eine zu große Tiefenlage der Grund des Zuschnittes sein. Im Zusammenhang mit der folgenden Abbildung A 55 in BGE (2020j) wird dann nicht mehr von Grundgebirgsoberfläche, sondern von Gebieten mit kristallinem Grundgebirge in Tiefen zwischen 300 und 1300 m unter GOK gesprochen, was zutreffender erscheint (vgl. § 23 Abs. 5 Nr. 3 StandAG, minimale Teufe des ewG).

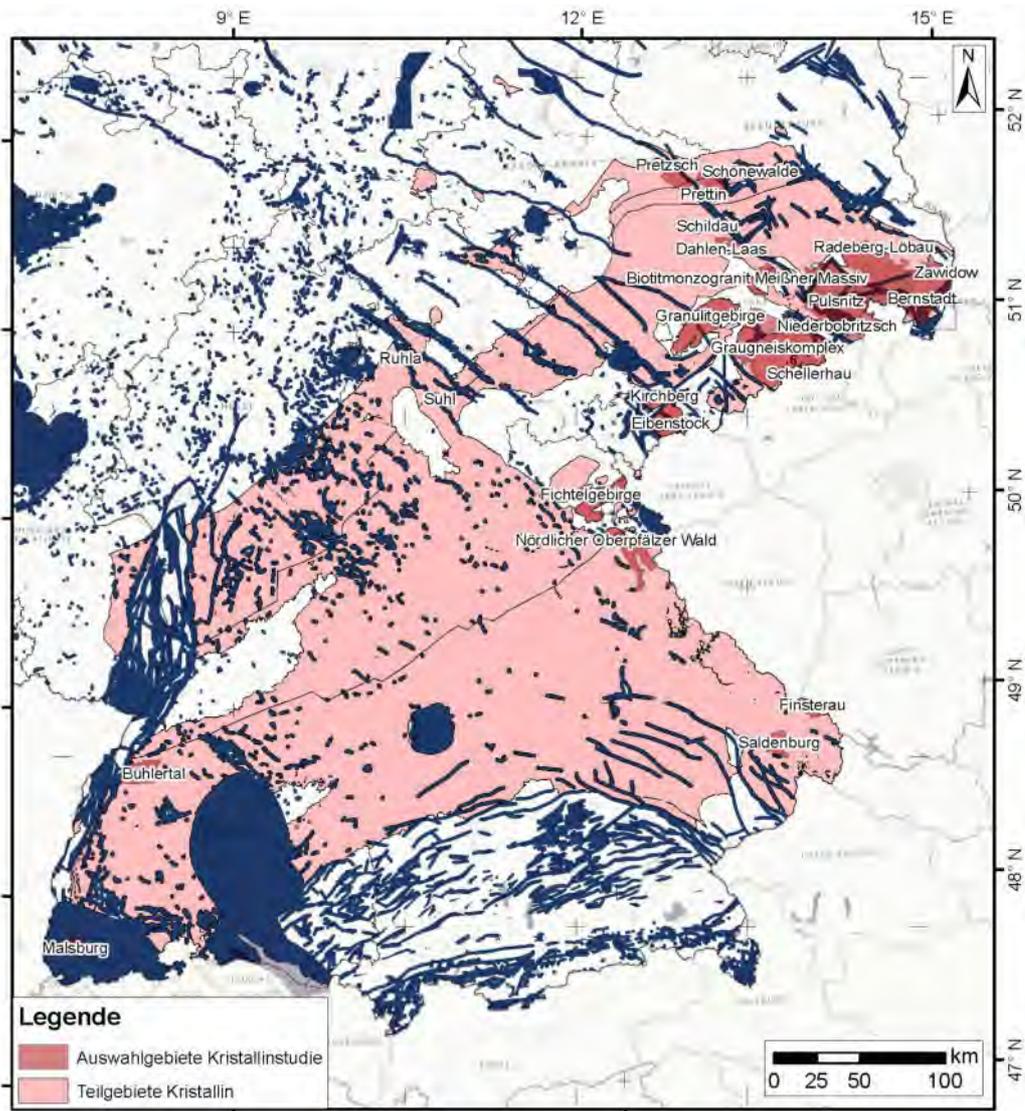


Abb. 1: Teilgebiete mit kristallinen Wirtsgesteinen (rosa) und Ausschlussgebiete (dunkelblau) nach BGE (2020g und 2020h) sowie Auswahlgebiete aus der Kristallinstudie (rot) nach Bräuer et al. (1994).

Für das weitere Vorgehen bei der Ermittlung von Standortregionen bietet sich eine differenzierte fazielle und stratigraphische Betrachtung, die wegen des kurzen Zeitrahmens der BGE zur Datenerhebung, -sichtung und Erarbeitung des Zwischenberichts Teilgebiete sicher noch nicht leistbar war, an.

4.2 Wirtsgestein Tongestein

Im Wirtsgestein Tongestein sind sowohl Tonsteine des Paläogen, der Ober- und Unterkreide und des Mittel- (Opalinuston) und Unterjura in Betracht gezogen worden. Die für den Zwischenbericht Teilgebiete zugrunde gelegten Bewertungen zu den Wirtsgesteinseigenschaften von Tongestein basieren auf den Referenzdatensätzen (BGE 2020b, BGE 2020g), die vorwiegend aus Erkenntnissen ausländischer Standorte zusammengestellt sind. Qualitativ kann eine nennenswerte Anzahl von Eigenschaften (Indikatoren) grundsätzlich auf andere Standorte übertragen werden (z. B. geringere Durchlässigkeit, günstiges Sorptionsvermögen). Wie bereits in Kapitel 3 erläutert, empfiehlt sich aufgrund der zu erwartenden Bandbreite der tatsächlichen Ausprägung einzelner Kriterien bei Tonstein, (im weiteren Verfahren) eine entsprechende Differenzierung vorzunehmen.

5 Anmerkungen zur Anwendung der Ausschlusskriterien

Die Anwendung der Ausschlusskriterien ist essentiell für den ersten Schritt der Standortauswahl d. h., bei der Ausweisung von Ausschlussgebieten. Im Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020g) finden sich einige Punkte, die diskussionswürdig sind und für das weitere Standortauswahlverfahren nicht außer Acht gelassen werden sollten. Diese werden nachfolgend dargelegt.

5.1 Ausschlusskriterium „Vulkanische Aktivität“

Das Ausschlusskriterium „Vulkanische Aktivität“ nach § 22 StandAG beinhaltet zwei Aspekte:

1. es liegt quartärer Vulkanismus vor,
2. es ist zukünftig vulkanische Aktivität zu erwarten.

Zu 1.: quartärer Vulkanismus

In dem Zwischenbericht Teilgebiete werden für die Ausweisung von Ausschlussgebieten die bekannten quartären Eruptionszentren zugrunde gelegt und um diese ein Sicherheitsradius von 10 km gezogen, welcher mit den Ergebnissen der Expertenbefragung des AkEnd (Jentzsch 2001) begründet wird. Die Verbreitung von Vulkaniten, insbesondere Tephren, und indirekte Wirkungen vulkanischer Aktivitäten (u. a. aufgestaute Flüsse) reichten in Einzelfällen jedoch deutlich darüber hinaus.

Zu 2.: zukünftige Aktivität

Über die in 1. bezeichneten Gebiete hinaus werden im Zwischenbericht Teilgebiete keine weiteren Gebiete ausgeschlossen, in denen zukünftig vulkanische Aktivität zu erwarten ist. Die Begründung stützt sich auf:

- die Datenabfrage an die Länder: „eine Prognose über zukünftigen Vulkanismus im Nachweiszeitraum wurde von keinem der Bundesländer abgegeben“,
- die beauftragte Studie der BGR: „Quantitative Vorhersagen zur Ausbruchshäufigkeit während der nächsten eine Million Jahren können nach May (2019) auf Grundlage des derzeitigen Prozessverständnisses nicht getätigt werden.“

Die in dem Kurzbericht von May (2019) exemplarisch aufgezeigte Möglichkeit einer regionalen Differenzierung zukünftiger vulkanischer Aktivität wird im BGE-Bericht zur Anwendung der Ausschlusskriterien wiedergegeben. May schlägt drei Kategorien vor: (1) erwartete, (2) mögliche und (3) nicht auszuschließende Aktivität. Die BGE bezieht (dem Wortlaut des Gesetzestextes folgend) lediglich die Kategorie „erwartete Aktivität“ bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums mit ein. Indikatoren für känozoische und rezente magmatische Prozesse im Untergrund gibt es jedoch auch in Regionen außerhalb der Vulkangebiete mit quartären Eruptionszentren. Zukünftig mögliche Aktivität (z. B. in den tertiären Vulkangebieten) und nicht auszuschließende Aktivität (z. B. in Gebieten mit Mantelgasaustritten außerhalb von Vulkanfeldern) werden nicht berücksichtigt. Bei der Anwendung des Kriteriums stützt sich die BGE lediglich auf einen von 27 in dem Kurzbericht von May (2019) genannten Indikatoren und greift auch nicht die darin begründeten Vorschläge für eine Sicherheitszone von mehr als 10 km Radius um die Eruptionszentren auf.

Einige Aspekte, die im weiteren Standortauswahlverfahren bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums vulkanische Aktivität berücksichtigt werden sollten, sind nachfolgend kurz erläutert:

5.1.1 Tertiäre Vulkanfelder

Diese sehr begrenzte Anwendung des Ausschlusskriteriums entspricht nicht dem Stand der wissenschaftlichen Debatte (und den Ausführungen von May 2019). Gleichwohl werden Jentzsch (2001) und May (2019) in der Begründung der Nichtberücksichtigung tertiärer Vulkangebiete im Bericht zur Anwendung der AK (BGE 2020h) wie folgt zitiert: „Da nach aktuellem Wissensstand (vgl. Jentzsch (2001); May (2019)) eine Wiederkehr vulkanischer Aktivität in tertiären Vulkanfeldern innerhalb des Nachweiszeitraums nicht als erwartbar anzusehen ist, wird diese daher nicht berücksichtigt.“ Diese Zusammenfassung ist eine stark vereinfachte Interpretation der Aussagen aus den zitierten Berichten. In einem Gutachten für den Freistaat Sachsen (Jentzsch 2013), welches der BGE vorliegt, werden auch tertiäre Vulkanite als Indikator für zukünftigen Vulkanismus herangezogen. May (2019) hat in dem von BGE zitierten Bericht ebenfalls die Möglichkeit eines zukünftigen Vulkanismus in den tertiären Vulkangebieten aufgezeigt und u. a. mit dem Wiederaufleben des Vulkanismus im tertiären Vulkanfeld der Hoheifel argumentiert, wo vor 11.000 Jahren der jüngste Ausbruch in Deutschland stattfand, bei dem das Ulmener Maar entstand.

Die Sicherheitsstandards der International Atomic Energy Agency (IAEA) für kerntechnische Einrichtungen (IAEA 2012, 2016) sehen Regionen, in denen vulkanische Aktivität in den vergangenen 10 Millionen Jahren auftraten, als solche mit Potenzial für zukünftige Aktivität an. Neben dem Vorliegen von Schmelzen in der Asthenosphäre sind tektonische Prozesse

in der Lithosphäre für die Bildung von Aufstiegswegen für Magmen und Vulkanismus erforderlich. Da neotektonische Aktivität beim Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“ auch bis ins Alttertiär zurück betrachtet wird, sollte entsprechend auch der tertiäre Magmatismus als Indiz für zukünftig zu erwartenden Vulkanismus Berücksichtigung finden.

Erneute Ausbrüche im Nachweiszeitraum in den tertiären Vulkanfeldern werden, der aktuellen Expertenbefragung im BGR-Projekt Magmatismus zufolge, von nahezu der Hälfte der befragten Expertinnen und Experten für wahrscheinlich oder sehr wahrscheinlich gehalten (Bartels et al. 2020).

5.1.2 Sicherheitszone

Die aus der Eifel bekannte Verlagerung der Eruptionszentren im Quartär wird von der BGE nicht, wie in der BGR-Studie (May 2019) empfohlen, in einer erweiterten Sicherheitszone berücksichtigt. Dies wird im Bericht zu den Ausschlusskriterien (BGE 2020h) wie folgt begründet: „Eine belastbare Abschätzung solcher, in der Zukunft liegender Prozesse ist aufgrund der aktuellen Daten- und Literaturgrundlage nicht möglich.“ In der Tat variieren die Ansichten über die möglichen Richtungen zukünftiger Verlagerungen und die Übertragbarkeit der Beobachtungen aus der Westeifel auf andere Gebiete (Bartels et al. 2020, Zemke 2020). Angesichts dieser Ungewissheiten schlagen May (2019) sowie der Direktorenkreis der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands (SGD 2020) in seiner „Fachlichen Position zum Ausschlusskriterium Vulkanismus“ die Berücksichtigung einer allseitigen Verlagerung zukünftiger vulkanischer Aktivität vor.

5.1.3 Zusätzliche Indikatoren und Ausschlussgebiete

Die Prognose der BGE basiert auf einem Indikator: der Lage quartärer vulkanischer Eruptionszentren. Weitere Indikatoren sind Eigenschaften des tiefen Untergrunds oder aktuelle Beobachtungen an der Erdoberfläche. Austritte von Mantelgasen, langfristige, großräumige Hebung oder seismische Anomalien im Erdmantel z. B. ragen weit über die quartären Vulkangebiete hinaus. Jentzsch (2001, 2013) nutzt mehrere Indikatoren zur Abgrenzung von Bereichen vulkanischer Gefährdung in der Oberpfalz, im Vogtland und im Erzgebirge. May (2019) zeigt exemplarisch auf, wie erweiterte Sicherheitszonen, die auf solchen Indikatoren aufbauen, bemessen werden könnten. Die Berücksichtigung dieser Indikatoren bei der großräumigen Ausweisung von Sicherheitszonen wird auch in der „Fachlichen Position des Direktorenkreises der SGD zum Ausschlusskriterium Vulkanismus“ (SGD 2020) für notwendig erachtet.

Gebiete, in denen weitere Indikatoren Hinweise auf magmatische Aktivität im Untergrund geben, hat die BGE im 1. Schritt der Phase I nicht ausgeschlossen. Jedoch wurde eine

Studie an Professor Schreiber (Universität Duisburg-Essen) und Professor Jentzsch (Gravity Consult, Bonn) vergeben, welche zusätzliche Parameter für eine genauere Risikanalyse einzelner Gebiete als Grundlage für die Bemessung von Ausschlussgebieten heranziehen sollen (BGE (2020h)). „Darin sollen Lokationen mit einem Risiko vulkanischer Aktivität identifiziert, eine genauere Gefährdungsanalyse für die einzelnen Gebiete durchgeführt und damit ein individuell angepasster Sicherheitssaum bestimmt werden.“ Bei einer individuellen Anpassung sollten die Nachvollziehbarkeit und eine gleichwertige Anwendung zusätzlicher Indikatoren in allen Teilgebieten gewährleistet werden. Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass Indikatoren, wie beispielsweise Austritte von Mantelgasen, auch in Gebieten ohne quartäre Eruptionszentren verbreitet sind. Eine Ausweitung der Sicherheitszonen alleine um die quartären Eruptionszonen würde dem Ausschlusskriterium nicht gerecht. Es empfiehlt sich, mit den zusätzlichen Indikatoren gemäß § 13 (2) StandAG für das gesamte Bundesgebiet zu prüfen, ob Ausschlusskriterien in anderen Gebieten erfüllt werden. Eine Beschränkung der Prognose zukünftigen Vulkanismus auf die Entwicklung der bekannten Vulkangebiete der jüngsten erdgeschichtlichen Vergangenheit reicht für Prognosen nicht aus, da in der Zukunft neue Vulkangebiete entstehen könnten, wie Lorenz (2010) in einem Gutachten zur vulkanischen Gefährdung eines möglichen Endlagerstandortes in Belgien ausführt.

5.1.4 Fazit

Die BGE hat das Ausschlusskriterium sehr kleinräumig angewendet und nach eigener Darstellung im Zwischenbericht Teilgebiete die „ausgeschlossenen Gebiete flächenmäßig eher unter- als überschätzt“. Der Kartierung der Ausschlussgebiete liegt ein Indikator für magmatische Prozesse, namentlich die Lage quartärer Eruptionszentren zugrunde, obwohl mehrere andere Indikatoren als Anzeiger rezenter magmatischer Aktivität im Untergrund angesehen werden.

Die Anzahl und die Größe der Ausschlussgebiete entspricht nicht dem Stand der Forschung über zukünftig zu erwartende und mögliche vulkanische Aktivität (z. B. May 2019) in Deutschland und der Diskussion über die Anwendung dieses Ausschlusskriteriums (Bartels et al. 2020).

Es sollte im weiteren Verfahren bei der Ermittlung von Standortregionen geprüft und dargestellt werden, inwieweit sich bei Berücksichtigung zusätzlicher Indikatoren zur Ausweisung von Sicherheitszonen zusätzliche Ausschlussgebiete ergeben, u. a. in tertiären Vulkangebieten. Dies ist insofern wichtig, als eine erneute Anwendung der Ausschlusskriterien gemäß §16 (2) StandAG erst am Ende der Phase II nach Durchführung der übertägigen, standortbezogenen Erkundung, der weiterentwickelten vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen und der sozioökonomischen Potenzialanalysen vorgesehen ist.

5.2 Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“

Folgende Punkte können hinsichtlich der Vorgehensweise zum Ausschluss von Störungszonen nicht eindeutig nachvollzogen werden:

5.2.1 Aktive Störungszonen im Kristallingestein

Im Bericht findet sich keine Ausführung darüber, wie das Ausschlusskriterium im Wirtsgestein Kristallingestein angewendet wurde. Wie und auf welcher Basis (beispielsweise Methodik und zur Verfügung stehende Daten) in diesen Regionen (z. B. Erzgebirge, Bayerischer Wald, Schwarzwald) Störungen als aktiv oder inaktiv charakterisiert und infolgedessen ausgeschlossen bzw. nicht ausgeschlossen wurden, kann anhand der vorliegenden Unterlagen nicht nachvollzogen werden.

5.2.2 Methodik bei Fehlen von „Post-Rupel“-Sedimenten

Die zugrunde gelegte Methode zur Bewertung der Störungsaktivität basiert auf der Berücksichtigung der Verteilung tertiärer bis quartärer Sedimente. Nicht überall jedoch, sind diese Sedimente „Post-Rupelium“ (34 Ma) erhalten geblieben oder abgelagert worden. Die Ausschlussführung in diesen Regionen wird nur kurz zusammengefasst erörtert. Aufgrund der häufig nur grob abzuschätzenden Aktivitätszeiträume von Störungen in Gebieten ohne Post-Rupelium-Sedimente sollte in der methodischen Beschreibung umfangreicher darauf eingegangen werden.

5.2.3 Methodik sowie Ursprung und Umgang mit Daten

Datensätze, die explizit tertiäre oder neotektonische Aktivität ausweisen, sind nur für Sachsen und Norddeutschland (Datensatz Brückner-Röhling et al. 2002) verwendet worden. Für alle anderen Regionen wurden nach der Übersichtstabelle Tab. 4 (BGE 2020h, S. 37/38) Daten im Maßstab kleiner als 1:200.000 verwendet. Diese Daten unterliegen zwangsweise einer erheblichen Generalisierung hinsichtlich Anzahl, Orientierung sowie Geometrie und Lage der Störungen. Zudem ist nicht immer ersichtlich, was die Ursprungsdatenquelle ist und wie die zugrundeliegenden Datensätze qualitativ bewertet wurden bzw. ob und wenn ja, welchen Datensätzen qualitativ Vorrang gegeben wurde.

Hilfreich wären Informationen darüber, ob die Lineamente mit anderen Daten (Tiefenlinienkarten, hochauflösenden Geländemodellen) auf ihre Lagetreue überprüft wurden. Durch Generalisierung, aber auch Übertragung, kann eine ungenaue Verortung von wenigen hundert Metern bis wenige Kilometer bei tiefreichenden Strukturen oder generalisierten überregionalen Lineamenten entstehen. Dadurch könnte ein Ausschluss an falscher

geographischer Position erfolgen und Bereiche, die tatsächlich neotektonische Aktivität ausweisen, nicht miteingeschlossen sein.

All diese Punkte lassen die Frage aufkommen, wie eine Qualitätsprüfung durchgeführt und mit Unschärfen von 2D- und 3D-Daten umgegangen wurde. Der überwiegende Teil der für Deutschland vorhandenen und somit für die Anwendung des Ausschlusskriteriums verwendbaren Datengrundlage basiert im Wesentlichen auf 2D-Daten aus verschiedenen Kartenwerken der Bundesländer (z. B. Geophysikalisches Kartenwerk der DDR (Reinhardt & Gruppe Regionales Kartenwerk 1968 - 1991) oder dem Geotektonischen Atlas (Baldschuh et al. 2001, Bombien et al. 2012). Diese wiederum beruhen auf unterschiedlich interpretierten und interpolierten Datensätzen (seismische Daten, Bohrungsdaten, stratigraphische Horizonte interpretiert). Für die Erstellung von 3D-Modellen wurden diese Datensätze in der Regel harmonisiert, generalisiert und mit neueren Daten ergänzt. Die heterogene Datenbasis und verwendeten Interpretationskonzepte, um die Modelle konsistent zu schließen, lassen sich letztlich nicht immer zweifelsfrei voneinander trennen. Ein 3D-Modell stellt eine weitere Interpretation dar, bei der häufig für einige Gebiete, Strukturen oder Horizonte ein besserer Wissensstand oder aber ein über die Fläche gleich verteilter Wissensstand impliziert wird, als eigentlich vom Modellierer beabsichtigt ist. Daher sind 3D-Modelle immer ganzheitlich mit den Modellbeschreibungen und der teils enthaltenen Auseinandersetzung mit Modelleinschränkungen und Unschärfen zu betrachten. Wurden 3D-Modelle bei der Ausschlussführung unabhängig des Wissens eingegangener Daten oder enthaltener Unschärfen berücksichtigt, so sind diese Modelle in ihrer Wertigkeit für den Ausschluss nicht über die präexistente 2D-Kartenwerke zu stellen. Somit stellt sich an diesem Beispiel die Frage, wie einzelne Datensätze, Modell, Kartenwerk oder Einzeldatum, qualitativ bewertet wurden.

Sowohl im Bericht „Anwendung Ausschlusskriterien“ gemäß § 22 StandAG als auch im Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG wird die Begrifflichkeit „deutlicher Gesteinsversatz“ mehrfach verwendet, jedoch nicht genauer erörtert. Für eine konsistente Ausschlussführung sollte diesem zu definierenden Parameter ein Wert zugeordnet sein. Alle Störungen mit einem Versatz, der größer als der definierte Grenzwert ist, würden dann bei der Ausschlussführung berücksichtigt werden. Derzeit stellt sich die Frage, wie der Parameter Versatz für alle betrachteten Störungen konsistent erhoben wurde.

Bei bundeslandübergreifenden Störungen fällt auf, dass die Ausschlussführung bei grenzübergreifenden oder generalisierten Lineamenten wie der Fränkischen Linie nicht immer nachvollziehbar ist: Während auf der Seite von Thüringen der ganze Strukturzug der Fränkischen Linie entlang des Thüringer Waldes und des thüringischen Schiefergebirges ausgeschlossen wurde, reduziert sich auf der bayerischen Seite der Ausschluss auf vereinzelte kleinere lokale Störungen, die teils nicht mehr eindeutig der Fränkischen Linie

(siehe auch Peterek & Schröder 1997) zuzuordnen sind. Hieraus ergeben sich zum einen Unsicherheiten in der Zuweisungen zur fränkischen Linie. Darüberhinaus folgen aus dem unterschiedlichen Generalisierungsgrad der Strukturzone (Lage, Orientierung und Anzahl von Einzelstörungen) auf thüringischer und bayerischer Seite sichtbare Unterschiede in der flächigen Ausschlussführung. Ein weiteres Beispiel eines inkonsistenten Ausschlusses ist die Harznordrandstörung. Ein klarer, allgemein anerkannter Nachweis der Aktivität dieser Störung im Post-Oligozän ist entlang des gesamten Verlaufs des Lineamentes bis jetzt nicht erfolgt. Für die Hebungsstruktur des Harzes könnte man auf Basis bestehender Daten und der allgemeinen Hebungsgeschichte eine neogene Aktivität entlang dieses Segmentes der Aufschiebung zumindest postulieren (Müller et al. 2019), jedoch nicht für die Verlängerungen des in Abbildung 17 (BGE 2020h) dargestellten Lineamentes nach NW in das Niedersächsische Becken oder nach SE entlang der Grundgebirgsausbisse nördlich Halle. Nach SE sowie nach NW ändert sich der Charakter der mesozoisch geprägten Störungszone entscheidend. Inwiefern die Lineamente in diesen Bereichen im Zusammenhang mit der Harz-Nordrandstörung stehen, ist bis heute nicht geklärt. Hier wurden offensichtlich Störungsscharen unterschiedlichen Alters und Aktivitätszeiträume vom Paläozoikum bis ins Tertiär zusammengefasst. Eine Begründung dafür ist nicht gegeben.

In BGE (2020h, S. 60) wird die Herleitung der Aktivität der „mitteldeutschen Hauptabbrüche“ auf Basis geodätisch nachgewiesener Vertikalbewegungen begründet. Die Kompilation der Erkenntnisse zu Vertikalbewegungen aus Jähne-Klingberg et al. (2019) und die darin erfolgte Diskussion kommt zu einem anderen Schluss. Vermutlich nur geringe Exhumierungs- und Hebungsraten seit dem Oligozän von wenigen 10er Metern bis max. wenig über 100 Meter pro Million Jahre, die zudem an großräumige Hebungsstrukturen gebunden sind, zeigen keine klare Indikation für eine erhöhte neotektonische Aktivität entlang der mitteldeutschen Hauptabbrüche. Die geodätisch gemessenen, meist kurzen Zeitreihen der Region sind sehr widersprüchlich und basieren auf verschiedenen Methoden, die nach Erkenntnis der BGR bis jetzt nicht aufeinander abgestimmt und harmonisiert sind. Deren Ergebnisse sind teils gegensätzlich und bedürfen einer intensiven Diskussion der von diesen Datensätzen abgeleiteten Interpretationen.

Keiner der Hauptabbrüche zeigt eindeutige geomorphologische Belege von ruckartigen Störungsbewegungen, die mit seismischen Ereignissen verbunden wären. Die Übergänge vom Vorland zu den Mittelgebirgshochlagen sind hingegen eher meist fließend und entsprechen viel eher einer monoklinalen Aufwölbung oder Flexur. Geodätisch messbare Störungsbewegungen müssten sich deutlich im Reliefbild zeigen. Brandes et al. (2012) beschreiben zwar neotektonische Indikatoren am Beispiel von quartärzeitlichen Aufschlüssen in der Nähe der Osning-Störung. Doch stellt sich hier zum einen die Frage, ob diese untersuchten Strukturen den Tatbestand „deutlicher Gesteinsversatz“ erfüllen und zum

anderen, inwiefern die lokalen Erkenntnisse auf ganze überregionale Störungslineamente zu übertragen sind.

Bei geringen Absolutbewegungsraten müssen zudem weitere, häufig in kurzen Messreihen hervortretende exogene und endogene Prozesse, die Einfluss auf Vertikalbewegungen der Oberfläche nehmen (z. B. Grundwasserspiegelschwankungen), zuerst aus dem Messsignal herausgefiltert werden, um eine mögliche Störungsaktivität bewerten zu können. Ohne stützende Langzeitreihen aus stratigraphischen Betrachtungen sowie paleoseismologischen oder geomorphologischen Erkenntnissen ist solch eine Aussage zumindest für die mitteldeutschen Hauptabbrüche nicht zweifelsfrei zu treffen. Des Weiteren ist nicht klar ersichtlich, wie diese Aussage für alle „mitteldeutschen Hauptabbrüche“ getroffen werden kann und zudem noch zu einem Ausschluss über ganze Lineamentlängen führt. Die uns bekannte Datenbasis stützt unserer Meinung nach nicht den durchgeführten Ausschluss. Wie es zu einem Ausschluss überregionaler Störungszonen/Lineamente kam, bei denen keine oder nur lokale Studien über die Aktivität entlang des Streichens existieren, geht aus den Berichten (BGE 2020g, BGE 2020h) nicht eindeutig hervor. Eine lokale/regionale Indikation sollte ohne weitere Annahmen und zum Beispiel begleitende geomechanische Modellierungen nicht zum Ausschluss des gesamten überregionalen Lineamentes führen.

5.2.4 Ausschluss von Scheitelstörungen

Folgende Fragen ergeben sich bezüglich der Ausschlussführung zu Scheitelstörungen:

- a) Im Bericht zur Anwendung der Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG (BGE 2020h, S. 58) und dem Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG (BGE 2020g, S. 53) wird der methodische Ansatz zum Ausschluss von Scheitelstörungen zu kurz und für den Leser dadurch nur schwer nachvollziehbar erläutert. Zusätzliche, beispielhafte Erläuterungen, z. B. anhand von Abbildungen, würden dazu beitragen, diesen komplexen Sachverhalt sowohl der interessierten Öffentlichkeit als auch der Fachwelt zu vermitteln. Nachfolgend wird auf BGE (2020h, S. 58) eingegangen:

„Für den betroffenen Bereich im Deckgebirge einer Salzstruktur gilt das Ausschlusskriterium als erfüllt, wenn die Störungszonen innerhalb der letzten 34 Millionen Jahre aktiv waren und der höchste Punkt der Salzstruktur unterhalb von 300 m unter GOK liegt. Damit wird auf die Ausweisung ausgeschlossener Gebiete verzichtet, die komplett oberhalb der Minimaltiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches liegen.“

In dieser Ausführung bleibt offen, weshalb bei der Ausschlussführung zusätzlich der Abstand Top-Salzstruktur zur GOK (Geländeoberkante) berücksichtigt wurde. Eine

fachliche Begründung dieser Vorgehensweise ist in den Berichten (BGE 2020g, BGE 2020h) nicht dargelegt. Offen bleibt auch, warum das Ausschlusskriterium nicht erfüllt ist, wenn das Salzstrukturtop oberhalb von 300 m unter GOK liegt. In einem weiteren Satz wird diese Differenzierung noch einmal erläutert: „Damit wird auf die Ausweisung ausgeschlossener Gebiete verzichtet, die komplett oberhalb der Minimaltiefe des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches liegen.“ Unklar ist, ob nur tiefer reichende Scheitelstörungen ausgeschlossen worden sind, die im Kontakt mit dem liegenden Salzkörper stehen.

- b.) Die Gesamtkarte der ausgeschlossenen Störungszonen (BGE 2020g, Abb. 11) ist schwer lesbar. Für eine bessere Lesbarkeit ließe sich beispielsweise der Ausschluss von Strukturen, der auf diese methodische Einschränkung zurückzuführen ist, als eigene Klasse darzustellen. Die derzeit gewählte Darstellungsform ermöglicht es nur sehr erfahrenen Geologen, die sich mit Salzgeologie regional beschäftigt haben, einen Bezug zu Scheitelstörungen herzustellen.

Auch wird eine eigenständige Klassifizierung dieser ausgeschlossenen Scheitelstörungen als sinnvoll erachtet, um im Kartenbild darzustellen, dass es in diesen Regionen zu einem Ausschluss kam, jedoch die liegende Geologie von diesem Ausschluss nicht betroffen ist.

- c.) Brückner-Röhling et al. (2002, 2004) fassen in einer umfassenden Studie die damaligen Erkenntnisse zur känozoischen Aktivität von Deckgebirgsstrukturen Norddeutschlands zusammen. Der Fokus liegt auch auf Scheitelstrukturen. Diskutiert wird dabei auch der mögliche Zusammenhang mit Socketstörungen im näheren Umfeld. Über Kartenserien werden basierend auf der Analyse seismischer Daten, Bohrungen und bestehender Kartenwerke Aktivitäten für Deckgebirgsstrukturen und liegende Socketstörungen pro Zeitabschnitt abgeleitet. Der Vergleich dieser grundlegenden Arbeit für das norddeutsche Becken mit der Gesamtkarte ausgeschlossener Störungszonen (BGE 2020g, Abb. 11) zeigt deutliche Diskrepanzen hinsichtlich von Ausschlüssen, welche nach Brückner-Röhling et al. (2002, 2004) nicht nachvollziehbar sind. Dies schließt nicht ausgewiesene Strukturen mit interpretierter Post-Rupel-Aktivität mit ein. Hier wäre eine Diskussion der Unterschiede zu diesem Basiskartenwerk wünschenswert.
- d.) Ein großer Teil der Störungen im norddeutschen Deckgebirge steht im direkten Zusammenhang mit der Genese liegender Salzstrukturen. Ob die Scheitelstörung ihre Ursache in einer Setzung oder Aufwöbung der Salzstruktur oder in Lösungs-/ Bildungsprozessen hat oder ob ein externer geodynamischer Mechanismus zu ihrer Bildung führte, ist durch eine bloße Auswertung auf Basis von Karten nicht zu entscheiden. Brückner-Röhling et al. (2002) diskutieren die Herausforderungen, in

Sedimentbecken mit hohen Salinarmächtigkeiten Sockelstörungen in Beziehung zu Deckgebirgsstrukturen zu stellen. Somit ist auch die Beweisführung, ob eine Scheitelstruktur oder eine durch großräumige Prozesse ausgelöste Störungszone vorliegt, ohne detaillierte Standortdaten häufig nicht zweifelsfrei durchzuführen. Zur Nachvollziehbarkeit der Klassifikation in „Scheitelstörung oder nicht“ sollte daher die Argumentation für die Auswahl der Scheitelstörungen dargelegt werden.

5.2.5 Ausschluss von Lineamenten durch den Verschnitt mit durch die BGE definierten Strukturregionen

Im Folgenden wird auf eine methodische Erläuterung zur Kategorisierung von Störungsspuren zur Anwendung der Ausschlusskriterien (BGE 2020h, S. 60) Bezug genommen: „Zusätzlich konnten durch die Verschneidung von Störungsspuren mit geologischen Einheiten, die ein Maximalalter von 34 Millionen Jahren aufweisen, viele aktive Störungszone in Gebieten identifiziert werden, in denen bisher wenig über tektonische Aktivitäten innerhalb der letzten 34 Millionen Jahre bekannt ist. Dazu zählen insbesondere die deutschen Mittelgebirgsregionen, wo ohne die Verschneidungsmethode mit post-eozänen geologischen Einheiten in den meisten Fällen keine aktiven Störungszone hätten ausgewiesen werden können. Die aus dieser Methode resultierenden Störungsspuren sind in der Regel relativ kurz, da sich Störungsspuren häufig kreuzen oder aufteilen.“

Hilfreich wäre an dieser Stelle, für jede der definierten Struktureinheiten darzulegen, warum das kleinteilige Strukturinventar entsprechend der großräumigen Entwicklung eine ähnliche Aktivitätshistorie aufweisen sollte und worauf basierend die geologischen Struktureinheiten definiert wurden. Es stellt sich weiterhin die Frage, inwiefern das Alter der kleineren kartierten Störungen tatsächlich bekannt ist. Insbesondere in Gebieten mit paläozoischen und mesozoischen Abfolgen an der Oberfläche ohne substantielle Tertiär-/Quartärbedeckung sind die potenziellen Alter der kartierten Störungen nur über zusätzliche Methoden zu ergründen (z. B. Störungslettedatierung, Electron Spin Resonance (ESR)), die bis jetzt nur exemplarisch und lokal durchgeführt wurden. Aufgrund der meist fehlenden Altersangaben kleinerer Störungen ist ohne weitere Annahmen keine gesicherte Ausschlussführung möglich. Daher werden im Zuge zukünftiger Betrachtungen umfassende Studien zu Störungsdatierungen empfohlen.

Den Bezug zwischen Störungen und einer umgebenden Strukturregion zu setzen, erfordert u. a. Kenntnis darüber, dass die Störung innerhalb der Struktureinheit nicht älter ist als die Struktureinheit selbst. Auch die Definition von Struktureinheiten ist nicht immer einfach, beispielsweise kann sich die Ausdehnung und die damit verbundene Definition einer Struktureinheit über die geologische Entwicklung deutlich ändern. Zudem sind Übergänge zu anderen Struktureinheiten teils fließend oder nur zu bestimmten Zeiten überhaupt

vorhanden. Auch wenn es für bestimmte Zeitabschnitte sinnvoll ist, eine Unterteilung des Strukturbildes in Strukturregionen vorzunehmen, um zum Beispiel strukturelle Zusammenhänge im Kartenbild auszuschärfen, so ist diese Art der Unterteilung stark skalensabhängig und eng an ein Interpretationskonzept gebunden.

Jähne-Klingberg et al. (2019) geben auf Basis einer Literaturrecherche zu Prozessen, die die Vertikalbewegungen der Kruste beschreiben, und regionalgeologischer Arbeiten einen Überblick zu großräumigen Vertikalbewegungen Deutschlands seit dem Mesozoikum. Dabei ist besonders eine im Übergang vom Paläogen zum Neogen hervortretende Hebungsanomalie in Mitteldeutschland ersichtlich (siehe dazu auch Meier et al. 2016). Angrenzend ist davon auch das Rheinische Schiefergebirge erfasst. Ein weiteres Beispiel ist die Hebung des Erzgebirges im Zusammenhang mit der Entstehung des Eger-Grabens. All diese großräumigen Vertikalbewegungen zeigen große Wellenlängen von mehreren 10er Kilometer Ausbreitung bis hin zu wenigen 100 Kilometer, bei relativ kleinen Hebungsbeträgen von maximal ca. 1 km innerhalb der letzten 34 Mio. Jahre. Eine Einschränkung der Hauptphasen dieser Hebung ist schwierig herzuleiten. Faziesraumverschiebungen vom Oligozän bis ins Quartär (u. a. Doornenbal & Stevenson 2010), als auch die großräumige Verkippung der paläogenen Sedimente (u. a. Ludwig 2001) sind jedoch starke Indikationen für die Festlegung auf das post-oligozäne Alter für die großräumige Hebung. Eine Ursache für die Herausbildung dieses Reliefs könnte möglicherweise die Umstellung auf das moderne Spannungsfeld im Miozän sein. Selbst bei konservativer Betrachtung der Hebungsraten ergibt sich hieraus eine Größenordnung von nicht viel mehr als 100 m Gesteinshebung pro Millionen Jahre. Solche geringen Vertikalbewegungen müssen nicht zwangsläufig mit neotektonischer Aktivität an Störungen im Zusammenhang stehen. Eine allgemeine Kategorisierung von Elementen innerhalb dieser Strukturen als „neotektonisch aktiv“ ist daher bei diesen sehr geringen Hebungsraten nicht schlüssig zu begründen, insbesondere da viele dieser Mittelgebirgsstrukturen an diskreten Strukturen herausgehoben oder verkippt erscheinen. In älterer geologischer Literatur wurde diese geomorphologische Form als „Pultscholle“ oder „Kippscholle“ beschrieben. Beispiele hierfür sind der Thüringer Wald, der Harz oder der Kyffhäuser. Diese Art der Heraushebung ohne deutliche Anzeichen kleinräumiger differentieller Bewegungen ist sogar ein Beleg dafür, dass innerhalb dieser Strukturen nur wenig differentielle Tektonik im Tertiär erfolgte. Sofern Bewegung überhaupt stattfand, waren die begrenzenden Störungen wie die Fränkische Linie oder die Harz-Nordrandstörung nur in Teilen aktiv. Dies muss wiederum nicht zwangsläufig zum Ausschluss entlang des gesamten Störungslinamentes führen, da im Tertiär vermutlich auch nur Teilstücke der mesozoisch, teils paläozoisch angelegten Störungen reaktiviert wurden und andere Teile solcher mesozoischen Störungslinamente keinen auffälligen Wechsel im topographischen Gradienten oder andere geomorphologische Auffälligkeiten aufweisen. Für die meisten Störungen außerhalb des Alpenraumes und des Ober-Rheingrabens sind meist nur lokale Versatzbeträge von Metern bis wenigen Dekametern

Post-Oligozän zu vermuten. Diese geringen, häufig nur sehr schwer nachzuweisenden und meist auch nur vermuteten Versatzbeträge, führten entsprechend der Ausweisung neotektonisch aktiver Strukturen nach BGE (Abbildung 11; Zwischenbericht Teilgebiete) zum Ausschluss. Zur Nachvollziehbarkeit des Ausschlusses ist eine ausführliche Erörterung und Festlegung eines Wertes für den in § 22 Abs. 2 Nr. 2 StandAG erwähnten „deutlichen Gesteinsversatz“ erforderlich.

5.2.6 Umgang bzw. Berücksichtigung weiterer Aspekte

Im Folgenden werden einzelne Aspekte im Kontext des Ausschlusskriteriums „Aktive Störungszonen“ erörtert, die es aus fachlicher Sicht der BGR berücksichtigt werden sollten.

Die Quartär- und Tertiärverteilung in Deutschland ist in vielen Regionen (insbesondere Mitteldeutschland) sehr kleinteilig erhalten und häufig nicht gut datiert oder belegt. Ein Verschnitt dieser unterbestimmten Kartengrundlage zur Tertiär- und Quartärverteilung, ohne Hinzuziehen weiterer Informationen wie der Faziesverteilung oder Altersverteilung, könnte beim Vergleich mit den verwendeten generalisierten Störungsdaten im Maßstab 1 : 200000 zu falschen Schlussfolgerungen führen.

Ausschluss aufgrund scheinbarer Kohärenz von Störungslinamenten und der Verteilung von Tertiärsedimenten: Nicht wenige Täler richten sich zumindest teilweise nach Materialkontrasten entlang präexistierender struktureller Heterogenitäten des Untergrundes und somit u. a. auch nach Strukturbau, faziellen Wechseln und deren umgebenden Aufrüftungszonen. Entlang des Einschnittes wurden wiederum verstärkt Quartär-/Tertiärsedimente abgelagert oder sind umgelagert erhalten geblieben. Für diese geomorphologische Kohärenz zwischen Sedimentverteilung und Strukturbau braucht es, wie bereits erwähnt, nicht unbedingt eine Aktivität entlang einer Störungszone. Die Anlage der Heterogenität des Untergrundes kann deutlich älter sein als die spätere Verteilung von tertiären Sedimenten vielleicht impliziert.

Nachweisführung Mitteldeutschland und Mittelgebirgshochlagen: In diesen Regionen existiert meist keine Bedeckung mit Tertiär oder stratiformem Quartär oder die Verteilung ist sehr lückenhaft. Somit ist für diese Gebiete die Möglichkeit einer Bewertung stark eingeschränkt. Daher ist ein Großteil der insbesondere kleineren, lokal nachgewiesenen Störungen, die ausgeschlossen wurden, in diesen Regionen anzuzweifeln, solange es keine Belege oder zusätzlichen Informationen zum Beispiel zum Alter von Störungsbreuzien oder Mineralisationen gibt.

Bislang wurden neotektonische Studien meist in Gebieten offensichtlicher, nachweislicher Aktivität durchgeführt. Naheliegend ist daher, dass sich wissenschaftliche Belege

neotektonischer Aktivität scheinbar zum Beispiel entlang des Rhein-Grabens häufen. In den Plattformgebieten und Hochlagen dazwischen gab es hingegen nur äußerst selten Studien gleichen Ausmaßes. Dementsprechend fehlt für diese Regionen in den allermeisten Fällen ein klarer Beleg für die neotektonische Aktivität. Es ist daher zu empfehlen, die heterogene Datengrundlage umfassend zu präsentieren und den Einfluss des heterogenen Wissenstandes auf die Ausschlussführung zu diskutieren.

Maskierung von Neotektonik durch quartärzeitliche Prozesse oder Vegetation: Glazialtektonische Überprägungen, Permafrostphänomene oder dynamische Umlagerung von Quartärsedimenten, als auch Bodenbildung und langanhaltende Verwitterung, können sehr effektiv tektonische Spuren im Untergrund verwischen/maskieren. Daher ist aus oberflächengeologischer Betrachtung häufig kein eindeutiger Rückschluss auf Aktivität von liegenden Störungen aufgrund der vorherrschenden mitteleuropäischen Bedeckungsverhältnisse zu treffen. Bei sehr guter punktueller Aufschlussituation in Kiesgruben und Tagebauen kann dies natürlich auch anders sein (u. a. Brandes et al. 2012). Mögliche lokale Indikationen zu neotektonischer Aktivität sind, wie beschrieben, nicht ohne weitere Informationen auf angrenzende Bereiche der betroffenen Störungzone zu projizieren. Liegen keine klaren Belege für die Internstruktur von Quartär- und Tertiärsedimenten vor (Indikationen durch Schürfe, Grabungen, Transsekte über Störungszonen oder z. B. seismitähnliche Strukturen im Tagebau oder Tertiäraufschluss), überwiegen eher die negativen Einschränkungen in der Ausweisung von Störungszonen unter Quartärbedeckung. So gibt es z. B. in Mitteldeutschland große Gebiete, welche mächtige Solifluktionserscheinungen aufweisen (u. a. Hessisches Bergland) und so die Untergrundgeologie sehr effektiv maskieren.

Die thematische Auseinandersetzung mit der Tertiärtektonik findet überwiegend im Rahmen der akademischen „Community“ statt. Die Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) der Länder sowie die BGR haben hierzu zwar vereinzelt Produkte erarbeitet, jedoch beschränken sich diese Informationen in der Regel nur auf ausgewählte Regionen oder gar einzelne Störungen. Eine umfassende zusammenhängende Auseinandersetzung mit dem Thema erfordert daher die Kompilation und Analyse der Vielzahl an Literatur mit grenzübergreifendem, überregionalem Charakter. So wurden seit der tektonischen Übersichtsarbeit von Ziegler (1990) große Fortschritte sowohl im Verständnis der großtektonischen Zusammenhänge als auch zur Tektonik des Känozoikums gemacht. Hier wäre es wünschenswert, insbesondere den Wissenszuwachs der letzten 30 Jahre abzubilden (u. a. Sissingh 2003, Kley 2018) und noch bestehende Lücken aufzuzeigen, die einen Einfluss auf die Ausweisung des Ausschlusskriteriums haben.

Störungen sind nicht nur auf onshore-Gebiete beschränkt. Im Nordosten Deutschlands, innerhalb des Teilgebietes 078_08TG, welches Rügen, Hiddensee und die Ostsee betrifft,

sind die Störungen nur auf dem Land (SW-Ecke Rügens) ausgewiesen. Die Störungen setzen sich jedoch in die Ostsee fort und reichen dann auch in das ausgewiesene Teilgebiet hinein. Bezüglich des Teilgebietes 078_08TG fällt ein weiterer Punkt, die Ausweisung der Verbreitung von Steinsalz betreffend, auf. Sowohl die Lage auf dem Plattformhang als auch eine im SE des Teilgebietes liegende Bohrung bestätigen eine karbonatische Lithologie des Zechstein dieser Region und keine bis nur geringe Salzmächtigkeiten. Die im vorgelegten Bericht „entscheidungserheblich genutzten Bohrungen“ sind für den Zechstein dieser Region nicht repräsentativ (siehe Tabelle 14 in BGE Datenbericht_Teil_3_von_4_MA_und_geoWK), da sie faziell alle eine andere Ausprägung als im Teilgebiet 078_08TG aufweisen.

Des Weiteren sind für Mecklenburg-Vorpommern (MV) in BGE (2020g, Abb. 11) vier größere generalisierte, SE bis ESE streichende Störungslinamente ausgewiesen. Durch Güstrow und westlich an Schwerin vorbei laufende große Störungszonen sind dem Landesamt von Mecklenburg-Vorpommern so bisher nicht bekannt (pers. Aussage Wojatschke). Als Datengrundlage wurden für Mecklenburg-Vorpommern die Tiefenkarten des Southern Permian Basin Atlas (SPBA) verwendet (BGE 2020I, Datenbericht Teil 3). Eine Durchsicht des SPBA (Doornenbal and Stevenson (2010)) erklärt jedoch nicht, woher die Störungsspuren stammen, da sie dort nicht zu finden sind.

5.3 Ausschlusskriterium „großräumige Vertikalbewegungen“

Die BGE nimmt zur Argumentation der Anwendung des Ausschlusskriteriums im vollen Umfang Bezug auf Jähne-Klingberg et al. (2019). Es wird hierzu folgende Aussage getätigt:

„Die BGE schließt sich der Einschätzung von Jähne-Klingberg et al. (2019) an und kommt zu dem Ergebnis, dass auf Basis des aktuellen Prozessverständnisses in Deutschland innerhalb des Nachweiszeitraums von einer Million Jahren wahrscheinlich keine Hebungsbeiträge von 1000 m erreicht werden. Es werden daher auf Basis des Ausschlusskriteriums „großräumige Vertikalbewegungen“ keine Gebiete ausgeschlossen.“

Der Fokus der Studie von Jähne-Klingberg et al. (2019) lag auf der Einschätzung von Prognosemöglichkeiten für großräumige Vertikalbewegungen für einen Zeitraum von 1 Million Jahre. Auf Basis verschiedener geodynamischer und klimatischer Szenarien wurden Prognosemöglichkeiten diskutiert. Dabei wurden auf Basis des bestehenden Stands der Forschung die verschiedenen Szenarien nach ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit qualitativ eingeordnet oder auch auf Basis von Prozessbetrachtungen resultierende Vertikalbewegungen diskutiert. Eine direkte Diskussion der Anwendung des Ausschlusskriteriums auf Deutschland ist nicht erfolgt.

5.4 Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“

Größe des ausgeschlossenen Gebietes um das Endlager Konrad: Im Gegensatz zu anderen bestehenden Grubengebäuden sind nicht Grubenrisse oder Umhüllende verwendet worden, sondern die Umrisse eines Modellgebietes zur hydrogeologischen Modellierung. Dadurch werden ungleich größere Bereiche ausgeschlossen als im Umfeld der Asse oder Morsleben.

5.5 Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“

Der Abschlussbericht der BGR zum Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“ (Kaiser & Spies 2020) wurde im Zwischenbericht Teilgebiete der BGE nicht berücksichtigt.

Als Grundlage zur Anwendung des Ausschlusskriteriums „Seismische Aktivität“ wurde im Zwischenbericht Teilgebiete die Karte der Erdbebenzonen in der Norm DIN EN 1981/NA:2011-01 verwendet. BGE weist anschließend darauf hin: „Der Stand der Wissenschaft zur probabilistischen seismischen Gefährdungsanalyse hat sich jedoch inzwischen weiterentwickelt.“

Ungewissheiten bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums „Seismische Aktivität“ wurden von der BGE zu diesem Zeitpunkt nicht betrachtet. Entgegen des formulierten Anspruchs im Abschnitt „Wissenschaftsbasiertes Arbeiten“ (BGE 2020g, Zeilen 348 - 349) wurden die Ungewissheiten im vorgelegten Teilgebietebericht bislang nicht bewertet.

5.5.1 Relevanz des Ausschlusskriteriums

Die BGR hat in Kaiser & Spies (2020) auf ungeklärte Fragen zur Relevanz dieses Ausschlusskriteriums für die Ermittlung der Erdbebengefährdung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle hingewiesen.

Zum Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“ hat das Nationale Begleitgremium im September 2020 ein Gutachten von Prof. Dr. Friedemann Wenzel (KIT) veröffentlicht. Die Aussagen von Wenzel (2020) decken sich mit den Aussagen der BGR zur Relevanz des Ausschlusskriteriums „Seismische Aktivität“ im Hinblick auf die Erdbebengefährdung eines Endlagers. Die BGR unterstützt die Schlussfolgerungen und Empfehlungen von Wenzel. Auf die Notwendigkeit, die Erdbebengefährdung durch bruchartige Verschiebungen in einem Endlager in tiefen geologischen Formationen zu berücksichtigen, wurde bereits von der BGR im Bericht von Kaiser & Leydecker (2003) hingewiesen.

6 Anmerkungen zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK)

Gemäß StandAG (2017) und insbesondere in der Gesetzesbegründung zu § 24 (Geowissenschaftliche Abwägungskriterien) wird ein hoher Stellenwert auf den Vergleich von Standorten gelegt. In § 1 StandAG heißt es: „Der Standort mit der bestmöglichen Sicherheit ist der Standort, der im Zuge eines vergleichenden Verfahrens aus den in der jeweiligen Phase nach den hierfür maßgeblichen Anforderungen dieses Gesetzes geeigneten Standorten bestimmt wird“. Insbesondere zu § 24 StandAG heißt es in Absatz 1: „Die Festlegung von geowissenschaftlichen Abwägungskriterien dient dazu, die nach der Anwendung von Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen verbleibenden Gebiete hinsichtlich ihrer Eignung als Endlagerstandort vergleichend bewerten zu können“ und weiter in Absatz 3: „In die erste Kriteriengruppe, Güte des Einschlussvermögens und Zuverlässigkeit des Nachweises, sind diejenigen Abwägungskriterien eingeordnet, mit denen im Vergleich von Gebieten untereinander die Qualität des Einschlusses der radioaktiven Stoffe am Ort ihrer Endlagerung sowie die Robustheit der Nachweisführung für den Nachweis der Langzeitsicherheit bewertet werden“.

Das StandAG verlangt einen Vergleich der Teilgebiete oder identifizierten Gebiete. Da die Aggregation der Bewertungen der geoWK das entscheidende Element des Einengungsverfahrens auf dem Weg zur Ausweisung der Teilgebiete ist, sollte das vergleichende Vorgehen im Standortauswahlverfahren deutlich erkennbar sein, ggf. in einer untersetzenden Unterlage.

In BGE (2020g) wird zu den drei Arbeitsschritten bei der Anwendung der AK, MA und geoWK auf Folgendes hingewiesen: „Bei den Arbeitsschritten wurden generische Endlagerkonzepte mitberücksichtigt, sodass im Ergebnis der sicherheitsgerichteten Abwägung Gebiete mit günstigen geologischen Gesamtsituationen als Teilgebiete ausgewiesen werden.“ Hier wäre ein Hinweis darauf, wie die Endlagerkonzepte berücksichtigt wurden, hilfreich und welchen Einfluss verschiedene Endlagerkonzepte möglicherweise auf das Ergebnis der Anwendung der geoWK haben. Die folgende Aussage in BGE (2020g) bezieht sich ausschließlich auf Gebiete mit kristallinem Wirtsgestein: „Im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen zur Ermittlung von Teilgebieten gemäß § 13 StandAG erfolgt innerhalb von Gebieten mit kristallinem Wirtsgestein keine Unterscheidung hinsichtlich der oben genannten Endlagerkonzepte.“

6.1 Anwendung der geoWK für Gebiete im Tongestein

Bei der Anwendung des geoWK-1 für Gebiete im Tongestein wird in BGE (2020k, S. 77) dargelegt: „Der Indikator „Verfestigungsgrad“ ist stark von der Versenkungsgeschichte (Druck, Temperatur und Zeit) und diagenetischen Veränderungen abhängig. Im Tongestein erfolgt die Abschätzung des Verfestigungsgrades dahingehend, dass eine günstige, bedingt günstige oder weniger günstige Bewertung möglich ist. Eine pauschale Einordnung in eine der Wertungsgruppen ist nicht möglich.“ Eine Einteilung in tertiäre und prä-tertiäre Vorkommen wäre an dieser Stelle sinnvoll und möglich gewesen (z. B. Hoth et al. 2007). Durch die gemeinsame Betrachtung von Ton/Tonstein im Referenzdatensatz wird dies aber erschwert. Weiterhin wird geschrieben: „Belastbare Aussagen können nur auf Basis von In-situ-Messungen bzw. geologischen Beschreibungen vorgenommen werden. Da jedoch standortspezifische Untersuchungen durchgeführt werden müssen, wird der Indikator mit „günstig“ bewertet.“ Dies steht im Gegensatz zur Aussage der nicht möglichen pauschalen Einordnung in eine der Wertungsgruppen.

Bei der Anwendung des geoWK-6.2b „Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung“ für Gebiete im Tongestein wird in BGE (2020k, S.77) dargelegt: „Bei verfestigtem Tongestein tritt die Verheilung primär durch Sekundärmineralisation auf, bei unverfestigten Tongesteinen kann die Verheilung ebenfalls durch geochemisch geprägte Prozesse ablaufen. Es ist zu beachten, dass zwischen verfestigten und unverfestigten Tongesteinen unterschiedliche Bewertungen auftreten können, da die Bewertung des Indikators vom Verfestigungsgrad des Gesteins abhängig sein kann. Stratigraphisch ist hierbei auch bei jüngeren Tongesteinen formationsintern mit zunehmender Tiefe eine Zunahme des Verfestigungsgrades zu erwarten. Dies ist standortspezifisch im weiteren Verlauf des Verfahrens zu ermitteln. Dementsprechend wird der Indikator mit „günstig“ bewertet.“ Diesen Indikator als günstig für alle Tone und Tonsteine zu bewerten (mit Verweis auf die Notwendigkeit standortspezifischer Untersuchungen in BGE 2020k), ist aufgrund der obigen Ausführungen schwer nachvollziehbar. Die grundlegenden Unterschiede zwischen tertiären und prä-tertiären Tonsteinen bieten nach Einschätzung der BGR das Potenzial einer differenzierten Bewertung des Indikators (siehe auch Kap. 3).

Bei der Anwendung des geoWK-8 „Temperaturverträglichkeit“ für Gebiete im Tongestein wird in BGE (2020k, S. 88) dargelegt: „Da sich das Kriterium jedoch auf die Änderungen der Gesteinseigenschaften bezieht, wird der Aspekt des Porenwasserdruckes nicht mit diesem Indikator behandelt.“ Die Bewertung der hochkomplexen thermischen Prozesse im Ton/Tongestein im Rahmen von geoWK-8.1 wird in BGE (2020b) und BGE (2020k) auf einen einzelnen Parameter (den thermischen Ausdehnungskoeffizienten) reduziert. Der größte Einfluss der Temperaturzunahme besteht hingegen in der vorübergehenden Erhöhung des Porenwasserdruckes und der Gebirgsspannung im Wirtsgestein (z. B. NAGRA 2002).

Bei der Anwendung des geoWK-10 „Hydrochemische Verhältnisse“ für Gebiete im Tongestein werden in BGE (2020k, S. 100) Aussagen bzgl. der Karbonatkonzentration im Tiefenwasser getroffen. Es ist wissenschaftlich nachgewiesen, dass in vielen Fällen die teilweise ausgeprägte karbonatische Komponente im Tongestein (z. B. durch Fossilien) aufgrund ihrer erhöhten Löslichkeit im Porenwasser einer entsprechenden Tongesteinsformation durchaus sichtbar ist (z. B. Pearson et al. 2003). Eine Aussage darüber, was eine „geringe Karbonatkonzentration“ im Verständnis der BGE (auch im Vergleich mit anderen Wirtsgesteinen) ist, konnte den Unterlagen nicht entnommen werden. Gleiches gilt auch für die anderen in geoWK-10 abgefragten geochemischen Parameter. Definitionen dieser Parameter tragen erheblich zur Nachvollziehbarkeit der Anwendung des geoWK-10 bei.

6.2 Anwendung der geoWK für Gebiete im Salzgestein: Steinsalz in steiler Lagerung

Zur Anwendung des geoWK-2 „Konfiguration der Gesteinskörper, Indikator: Flächenhafte Ausdehnung“ für das Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung führt BGE (2020j) aus: „Eine Beschreibung dieses komplexen inneren Aufbaus und die Abgrenzung des Steinsalzbereiches innerhalb dieser Struktur ist ohne detaillierte Kenntnisse des jeweiligen Salzdiapirs nicht möglich. Daher wird in den frühen Phasen der Standortauswahl der gesamte Salzdiapir (Salzstöcke und Salzmauern) als endlagerrelevante Steinsalzabfolge betrachtet.“ Diese Aussage ist zu hinterfragen, da (BGR-)Studien zu geologischen Internbaustilen von Salzstrukturen gezeigt haben, dass die verschiedenen Steinsalzbereiche in einer Salzstruktur von Ton-, Anhydrit- und Karbonatgesteinen getrennt werden und die resultierende nutzbare Fläche (auf ca. 30 % - 65 %) verringert wird. Hierfür genügt die Kenntnis, welche Salinargesteine am Salzaufstieg beteiligt sind (ungleich 100 % Steinsalz). Identifizierte Gebiete mit 3 - 4 km² Gesamtfläche erfüllen nach BGE (2020j) die Mindestanforderung „Mindestfläche“. Diese ist jedoch aus den genannten Gründen nicht zwangsläufig zu erwarten und hätte ggf. schon zum Ausschluss führen können. Diese identifizierten Gebiete werden erst durch Anwendung des geoWK-2 (bei 3 - 6 km² komplett, bei 6 - 9 km² in Kombination mit anderen ungünstigen geoWK) ausgeschlossen (siehe auch BGE 2020k).

Zur Anwendung des geoWK-3 „Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit, Indikator Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit“ für das Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung führt BGE (2020k) aus: „Basierend darauf, dass Salzstöcke im Zuge ihrer Entstehung tektonische Prozesse erfahren haben, welche z. B. zur Verfaltung der beteiligten Gesteine geführt haben, wurden alle identifizierte Gebiete in steilstehenden Salzformationen für diesen Indikator mit „bedingt günstig“ bewertet“. Hier sollte überprüft werden, ob Störungen in bestimmten Entfernungen zum ewG vorkommen.

Gemäß StandAG wäre ein Gebiet mit „bedingt günstig“ zu bewerten, sofern Gesteine im ewG eine Flexur aufweisen und wenig gestört sind (z. B. durch weitständige Störungen, Abstand 100 m bis 3 km vom Rand des ewG). Sind die Gesteine gestört (engständig zerblockt, Abstand < 100 m) und gefaltet, ist das Gebiet als „ungünstig“ zu bewerten. Die von der BGE vorgenommene Bewertung für identifizierte Gebiete mit „steiler Lagerung“ ist nicht vollständig nachvollziehbar.

Zur Anwendung des geoWK-3 „Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit Indikator Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies) bzw. räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften“ für das Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung führt BGE (2020k) aus: Wie in BGE (2020a) beschrieben und durch Jockwer (1981, S. 36) gezeigt, weist die Staßfurt-Formation des Zechsteins einen homogenen Aufbau und z. T. große Mächtigkeiten auf (bis zu über tausend Meter). Aufgrund des fast monomineralischen Aufbaus der Staßfurt-Formation, ist die räumliche Verteilung der Gesteinstypen und ihrer Eigenschaften als „gleichmäßig“ zu bewerten. Daher werden reine Zechsteinsalinare und Doppelsalinare mit Internbautyp 2 als „günstig“ bewertet. Wie in BGE (2020a) dargestellt, bestehen die Salinare des Oberrotliegend aus einem Salz-Ton-Gemisch, welches den Kern der Doppelsalinarstrukturen bildet (Pollok et al. 2016, S. 111). Innerhalb der Oberrotliegendsalinare ist demnach mit räumlichen Veränderungen von salz- oder tondominierten Bereichen zu rechnen. Darüber hinaus erfolgt innerhalb der Doppelsalinare eine räumliche Änderung von Oberrotliegendsalinaren zu den flankierenden Zechsteinsalinaren. Diese räumliche Änderung ist durch die Typisierung des InSpeeDS-Projektes bekannt. Da innerhalb der Doppelsalinare des Internbautyps 1 und 3 mit räumlichen Veränderungen der Gesteinstypen zu rechnen ist, diese aber bekannt sind, wird dieser Indikator für Doppelsalinare des Internbautyps 1 und 3 mit „bedingt günstig“ bewertet.

Diese Verweise auf die Typisierung der Doppelsalinare finden sich bei mehreren Indikatoren, ohne dass der dazugehörige Bericht an entsprechender Stelle zitiert wird. Im von BGE zitierten Abschlussbericht des Projektes InSpEE (Pollok et al. (2016)) sind alle Doppelsalinarstrukturen in einem Internbautyp (InSpEE-Internbautyp 5) zusammengefasst. Die weitere Differenzierung erfolgte erst innerhalb des Nachfolgeprojekts InSpEE-DS (Röhling et al. 2020) und berücksichtigt nur überwiegend onshore liegende Strukturen. Es wäre daher zu prüfen, welche Typisierung (InSpEE-Typ 1-5 oder InSpEE-DS-Typ 1-3) jeweils verwendet wurde und auf welcher Basis die Typisierung der offshore gelegenen Strukturen erfolgte.

6.3 Anwendung des geoWK 11

Das geoWK-11 „Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge“ wird in BGE (2020ag) insgesamt für alle als günstig erachteten Teilgebiete im Tongestein mit „bedingt günstig“ bewertet. Diese Bewertung ergibt sich aus der bedingt günstigen Bewertung des Indikators „Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (z. B. Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den einschlusswirksamen Gebirgsbereich ergeben könnten“. Die Nachvollziehbarkeit dieser Annahme ließe sich mit entsprechenden Strukturkarten der Teilgebiete verbessern.

Die Bewertung der beiden Indikatoren „Überdeckung des ewG mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge“ und „Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des ewG“ wird von BGE durch die Annahme einer ausreichend mächtigen Überdeckung mit tertiären (und quartären) Sedimenten vorgenommen. Dazu reicht (nach BGE 2020ag) ein Abstand von mehr als 150 Meter für „weite Teile“ der entsprechenden Gebiete zwischen der „Oberfläche der endlagerrelevanten Tongesteinsabfolge“ und der Basis des Quartär. Wünschenswert ist eine nähere Bestimmung des Begriffs „weite Teile“ (teilweise auch „große Teile“) und die Klärung, ob mit der „Oberfläche der endlagerrelevanten Tongesteinsabfolge“ die Oberfläche des ewG gemeint ist. Zudem werden durch eine Dokumentation der genutzten 3D-Datensätze oder entsprechenden Niveauschnittkarten auf Höhe der Quartärbasis die in BGE (2020ag) getroffenen Einschätzungen besser nachzuvollziehbar.

Die Annahme, dass Gesteine des Tertiär oder älter als grundwasserhemmend bzw. erosionshemmend betrachtet werden, ohne konkret die entsprechenden Gesteinstypen zu erfassen, ist insbesondere für die tertiären Tonformationen nicht zwingend zutreffend. Hoth et al. (2007) weist darauf hin, dass der Rupel-Ton des Oligozäns eine der wichtigsten Barrieren zwischen dem Salz- und dem Süßwasserstockwerk in Norddeutschland bildet. Es ist davon auszugehen, dass unmittelbar oberhalb dieses „Aufstau-Horizontes“ stark grundwasserführende Schichten vorhanden sein können. Beispiele für prominente Grundwasserleiter im sandig ausgebildeten Tertiär sind bekannt. Dasselbe gilt für die Tertiäre Obere Süßwassermolasse (betrifft 002_00TG_044_00IG_T_f_tUMa und 003_00TG_046_00IG_T_f_tUMj in Südostdeutschland) mit einem hohem Sand- und Kiesanteil, die ebenfalls ein bekannter Grundwasserleiter ist. Gleiches gilt analog für die Karstgrundwasserleiter des Malm (Oberer Jura), was von der BGE erwähnt wird, aber nur für den Indikator „Keine Ausprägung struktureller Komplikationen (z. B. Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge...“ im Rahmen der Bewertung von 001_00TG_032_01IG_T_f_fmOPT Berücksichtigung findet. Der überdeckende Karst stellt einen großräumigen Tiefengrundwasserleiter mit entsprechend stark variierender

Durchlässigkeit und verminderter erosions-/grundwasserhemmender Wirkung dar. Letzteres wird in BGE (2020ag) nicht weiter berücksichtigt.

Grundsätzlich fällt zum Vorgehen bei Anwendung des geoWK-11 für das Wirtsgestein Tongestein auf, dass bei der Bewertung der standortspezifischen Kriterien im Vergleich zur Anwendung anderer geoWK anders vorgegangen wurde („worst case“ vs. „best case“). Wenn sich bei den standortspezifischen Kriterien/Indikatoren auf Grund der Datenlage eine bedingt günstige oder sogar ungünstige Situation andeutet (z. B. Hinweise auf Störungen/strukturelle Komplikationen im Deckgebirge), aber anhand der zum jetzigen Zeitpunkt vorliegenden Informationen eine vollständige Bewertung (noch) nicht möglich ist, führte dies zu einer Bewertung von „bedingt günstig“ statt wie häufig im Referenzdatensatz Tongestein pauschal zu „günstig“.

In BGE (2020j) wird zu geoWK-11 „Kriterium zur Bewertung des Schutzes des ewG durch das Deckgebirge“ ausgeführt: „Die ersten 100 m des Deckgebirges werden vom Gesetzgeber als nicht schützenswert angesehen (§ 21 Abs. StandAG). Daher wurden IG mit einer minimalen Teufe der Wirtsgesteinsoberfläche kleiner als 100 m als unterhalb der Geländeoberkante „ungünstig“ bewertet.“

An dieser Stelle ist die Anwendung des § 21 StandAG in Verbindung mit § 24 StandAG nicht nachvollziehbar. Bei der Aussage „Die ersten 100 m des Deckgebirges werden vom Gesetzgeber als nicht schützenswert angesehen (§ 21 Abs. StandAG)“ handelt es sich um eine Auslegung des Gesetzestextes durch BGE, die so nicht im Gesetz zu finden ist. Mit den Sicherheitsvorschriften gemäß § 21 StandAG sollen vielmehr potenzielle Wirtsgesteine in Tiefen zwischen 300 m und 1500 m vor Veränderungen (z. B. Bohrungen) geschützt werden. Offen bleibt, weshalb bei der Abwägung ein identifiziertes Gebiet per se als ungünstig eingestuft wird, wenn die Wirtsgesteinsoberfläche < 100 m unter GOK liegt, da dort nicht zwangsläufig der ewG ausgewiesen wird, der gemäß Mindestanforderung mind. 300 m unter der Erdoberfläche liegen muss.

In BGE (2020k, Abb. 9) werden Anwendungsbeispiele zur Bewertung identifizierter Gebiete nach Anlage 11 (zu § 24) StandAG gegeben. Demnach werden Gebiete in Tongestein und kristallinem Wirtsgestein mit „ungünstig“ bewertet, „wenn die minimale Wirtsgesteinsoberfläche flächig kleiner als 100 m“ ist. Zudem legt die BGE für die Bearbeitung fest, dass unter dem Begriff „Überdeckung“ die das Wirtsgestein überlagernden Gesteine verstanden werden. Zur Nachvollziehbarkeit der Vorgehensweise sollte erläutert werden, warum diese Konstellation als ungünstig bewertet wird und infolgedessen ggf. ein oberflächennahes Auftreten von Tongestein als ungünstig bewertet wird, auch wenn zur Tiefe hin > 300 m unter GOK Wirtsgestein mit den erforderlichen Eigenschaften vorhanden ist. Dies folgt nicht dem in BGE (2020b) dargelegten konservativen Ansatz,

wonach „bei wenig, keinen oder nicht eindeutigen Daten [...] stets von einer tendenziell günstigen Annahme ausgegangen [wird]“. Gleichzeitig ist hier die Gleichbehandlung von Tongestein und Kristallingestein nicht nachvollziehbar, da im Falle des Kristallingesteins wegen der zu unterstellenden Kluftvernetzung bereits ein punktuelles Schneiden der Gesteinsoberfläche mit der 100 m Tiefenlage unter GOK bzw. der Quartärbasis im Zusammentreffen mit einer Kluft nicht mehr mit günstig zu bewerten wäre. Dieser Fall sollte in den Anwendungsbeispielen nicht berücksichtigt werden.

In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass demgegenüber für das Wirtsgestein Steinsalz ein „identifiziertes Gebiet mit „ungünstig“ bewertet [wird], wenn die minimale Wirtsgesteinsoberfläche punktuell kleiner als 100 m“ ist. Es ist nicht in jedem Fall folgerichtig, dass durch eine punktuelle Unterschreitung einer 100 m mächtigen Überdeckung die komplette Struktur als ungünstig zu bewerten ist, ungeachtet der Ausmaße dieser Struktur (z. B. lang gezogene Salzmauern im Norddeutschen Becken). Dies steht nicht im Einklang mit BGE (2020k), wonach von einer tendenziell günstigen Annahme ausgegangen werden sollte, wenn keine ortsspezifischen Daten vorliegen. Das Gleiche gilt für den Fall, dass „das identifizierte Gebiet mit „ungünstig“ bewertet wird, wenn die minimale Wirtsgesteinsoberfläche die Quartärbasis punktuell schneidet“. Auch hier erfolgt bereits bei punktueller Erfüllung der betrachteten Bedingung (Quartärbasis berührt die Struktur) für die gesamte Struktur die Bewertung „ungünstig“, ohne die weitere Erstreckung der Struktur in die Tiefe in die Bewertung einzubeziehen. Beispielfhaft sei in diesem Zusammenhang auf den nicht vollständig nachvollziehbaren Ausschluss des IG 045_00IG_S_s_z hingewiesen (siehe auch weiter unten).

Für Tongestein und kristallines Wirtsgestein gilt, dass, wenn „die minimale Wirtsgesteinsoberfläche in einem bestimmten Bereich kleiner als 100 m ist, die identifizierten Gebiete, welche sich ausschließlich unter diesem Bereich befinden, mit „ungünstig“ bewertet werden“. Eine Gleichbehandlung von Tongestein und Kristallingestein ist wegen der verschiedenartigen hydrogeologischen Eigenschaften beider Gesteine zu hinterfragen, da eine hydraulisch wirksame Kluftvernetzung im Kristallingestein und eine tendenziell geringere Durchlässigkeit im Tongestein unterstellt werden können.

Weiterhin gilt für Tongestein und kristallines Wirtsgestein, dass „identifizierte Gebiete mit „ungünstig“ bewertet werden, wenn die minimale Wirtsgesteinsfläche die Quartärbasis in einem bestimmten Bereich schneidet, und sich die Gebiete ausschließlich unter diesem Bereich befinden“. Angesichts der zu unterstellenden Kluftvernetzung ist nicht nachvollziehbar, warum die Bewertung „ungünstig“ bei Kristallingestein nicht über einen größeren Gesteinsbereich erfolgt.

Zur Anwendung des geoWK-11 „Kriterium zur Bewertung des Schutzes des ewG durch das Deckgebirge“ wird in BGE (2020j) dargelegt: „Das Quartär, welches erdgeschichtlich die jüngste Einheit darstellt, wird grundsätzlich als nicht grundwasser- bzw. erosionshemmend angesehen.“ In dem von BGE verfolgten konservativen Sinne könnte diese Festlegung nicht allen vorzufindenden Standortgegebenheiten gerecht werden, da diese Festlegung unabhängig von ortsspezifischen Daten gilt und die ortsspezifische Mächtigkeit und lithologischen Ausbildung des Quartär keine Berücksichtigung findet. Zum Beispiel können mächtige Tonsedimente im Quartär Grundwasserstockwerke voneinander trennen. In BGE (2020a) wird „der Begriff grundwasserhemmendes Gestein als Gesteinstyp mit geringer Durchlässigkeit interpretiert. Grundwassergeringleiter weisen im Vergleich zu den umgebenden Schichten eine geringe Permeabilität auf. Der Durchlässigkeitsbeiwert für Grundwassergeringleiter wird in der Literatur mit 10^{-5} m/s bis 10^{-9} m/s angegeben (Coldewey & Göbel (2015); Prinz & Strauß (2011)).“ In diesem Zusammenhang ist beispielsweise der hydrogeologische Aufbau von Norddeutschland bzw. Niedersachsen zu erwähnen, für den entsprechend der hydrostratigraphischen Gliederung Niedersachsens die hydrogeologischen Untergrundverhältnisse, d. h. Vorhandensein, Mächtigkeit und Verbreitung von Grundwasserleitern und insbesondere -geringleitern überwiegend bekannt sind (LBEG 2011). In den quartären hydrogeologischen Einheiten sind dementsprechende Grundwassergeringleiter ausgewiesen, die großflächig als grundwasserhemmend einzustufen sind.

Zur Anwendung des geoWK-11 „Kriterium zur Bewertung des Schutzes des ewG durch das Deckgebirge“ wird in BGE (2020j) ausgeführt: „Aufgrund der Wasserlöslichkeit von Steinsalz erfolgte die Anwendung im Vergleich zu den anderen Wirtsgesteinen unterschiedlich. Ausschlaggebend für die Bewertung von Steinsalz ist ein punktuelles Auftreten „ungünstiger“ Verhältnisse, während für kristalline Wirtsgesteine und Tongesteine ein flächiges Auftreten „ungünstiger“ Verhältnisse ausschlaggebend für die Bewertung ist. Kristalline Wirtsgesteine werden grundsätzlich als grundwasser- und erosionshemmend angesehen. Dies wird in der zusammenfassenden Bewertung entsprechend berücksichtigt.“ Diese Vorgehensweise ist in Anlehnung an den Indikator „Potenzialbringer“ (geoWK-2) nicht nachvollziehbar. Demnach sind „GW-Leiter in Nachbarschaft zum Wirtsgestein (hier: Tonstein/ewG) vorhanden“ als „nicht günstig“ zu bewerten, unabhängig davon, ob diese Verhältnisse punktuell oder flächenhaft bestehen. Es wird nicht erläutert, wie sich punktuelle und flächenhafte Gegebenheiten quantitativ voneinander unterscheiden. Das StandAG fordert hier explizit die Isolation des Wirtsgesteins Tongestein von GW-führenden Schichten. Nicht plausibel ist die Bewertung, dass Kristallingesteine trotz des potenziellen Vorhandenseins von Klüften von BGE grundsätzlich als grundwasserhemmend eingestuft werden.

Des Weiteren wird in BGE (2020j) zu geoWK-11 „Kriterium zur Bewertung des Schutzes des ewG durch das Deckgebirge“ ausgeführt: „Für die identifizierten Gebiete, die durch diese Vorgehensweise nicht mit „ungünstig“ bewertet wurden, erfolgte eine weitere Prüfung auf Grundlage der gelieferten Daten hinsichtlich Störungen, Karststrukturen, Subrosion bzw. Erdfälle. Wurden im Rahmen dieser Prüfung strukturelle Komplikationen innerhalb des identifizierten Gebietes identifiziert, wurde das identifizierte Gebiet für diesen Indikator mit „bedingt günstig“ bewertet.“ Es sollte in diesem Zusammenhang die Übereinstimmung mit der Intention der Ausführungen im StandAG dargelegt werden, da sinngemäß nur für den Fall, dass durch diese strukturellen Komplikationen subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den ewG zu besorgen sind, die identifizierten Gebiete mit „ungünstig“ zu bewerten sind. Das Gesetz legt als Maßstab nicht allein das Vorhandensein von Störungen, Karststrukturen, Subrosion bzw. Erdfällen an, sondern verlangt den Nachweis, dass keine hydraulische Wirksamkeit dieser Strukturen besteht. Wünschenswert ist eine Erläuterung, ob bzw. inwieweit die o. g. Vorgehensweise in Übereinstimmung mit dem StandAG liegt bzw. aus welchem Grund evtl. davon abgewichen wurde.

Zur Anwendung der geoWK-11 „Kriterium zur Bewertung des Schutzes des ewG durch das Deckgebirge“ im Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung heißt es in BGE (2020j): „In Anlehnung an das „Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper“ (geoWK2) wird als eine mächtige grundwasser- oder erosionshemmende Überdeckung eine Mächtigkeit von mindestens 150 m festgelegt. Insofern der Abstand zwischen Oberfläche des Wirtsgesteins und der Quartärbasis kleiner als 150 m ist, wurde das entsprechende identifizierte Gebiet der Wertungsgruppe „bedingt günstig“ zugeordnet. Bei einer Überdeckung größer/gleich 150 m, wurde das identifizierte Gebiet mit „günstig“ bewertet.“ Diese Auslegung der gesetzlichen Formulierung ist nicht nachvollziehbar. GeoWK-2 bezieht sich auf Barrieregesteine im ewG, jedoch nicht im Deckgebirge. Barrieregesteine können auch im Wirtsgestein liegen. Dies stellt BGE in einer Abbildung dar (BGE (2020g), Abb. 35, S. 122), folgt dieser Definition jedoch textlich nicht. Daher ist die entsprechende Schlussfolgerung nicht nachvollziehbar und sollte begründet werden.

Zur Anwendung der geoWK im Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung ist die Ausweisung von (ausgeschlossenen) identifizierten Gebieten und Teilgebieten nicht immer nachvollziehbar (BGE 2020ah, BGE 2020ag). Beispielsweise ist nicht nachvollziehbar, weshalb das Gebiet 045_00IG_S_s_z (Salzstruktur Bunde/Jemgum/ Leer/ Rhaude/ Scharren, NW-Nds.) als nicht günstig und demgegenüber das Gebiet 028_00TG_040_00IG_S_s_z (Salzstruktur Lathen, W- Nds.) als günstig bewertet wird. In BGE (2020ah) wird zum Ausschluss von IG 045_00IG_S_s_z auf Basis der Bewertung des geoWK-11 festgehalten: „Der Salzstocktop des identifizierten Gebietes befindet sich in einer Teufe von weniger als 100 Meter unter Geländeoberkante und ist potenziell anthropogenen Einflüssen ausgesetzt. Dieser Bereich

wird als nicht schützenswert angesehen (§ 21 Abs. 2 StandAG). Das identifizierte Gebiet besitzt keine bis nur gering mächtige Überdeckung und steht in Kontakt mit quartären Ablagerungen, welche als nicht erosionshemmend angesehen werden. Auf dieser Grundlage wird der Indikator „Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ mit „ungünstig“ bewertet.“

In § 21 Abs. 2 StandAG wird nicht (wie in BGE (2020ah) zitiert) auf nicht schützenswerte Bereiche in weniger als 100 m unter GOK hingewiesen. Die Auslegung des Gesetzes seitens der BGE zu diesem Sachverhalt (s. o.) sollte überprüft werden.

Im Fall des IG 045_00IG_S_s_z ist nicht nachvollziehbar, warum das zusammengefasste Gebiet, aufgrund der hohen Kulmination eines Strukturteils (Bunde, dort auch im Kontakt mit Tertiär und Quartär) und der Bergbautätigkeit im Strukturteil Jemgum, zum Ausschluss des gesamten Gebiets führen muss. Eine Aufteilung des Gebietes in mehrere kleinere identifizierte Gebiete bzw. Teilgebiete hätte zu anderen Ergebnissen geführt, die Strukturteile Leer, Rhaude und Scharrel wären ggf. im Verfahren geblieben. Der Ausschluss der gesamten Struktur ist daher nicht nachvollziehbar.

Im Zuge der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien das AK „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“ heranzuziehen, ist ebenfalls nicht nachvollziehbar, da dieses AK im Vorfeld als nicht erfüllt eingeordnet wurde. Zudem ist bei der mit 140 km² recht großen Struktur in IG 045_00IG_S_s_z der flächenhafte Einfluss durch Bergbau (Kavernen) zwischen Jemgum und Leer eher gering. Die Strukturteile Leer, Raude, Scharrel sind von Bergbau nicht betroffen.

Zu beachten ist auch, dass die Kulminationsteufen in den beiden Strukturzügen des 029_00TG_043_00IG_S_s_z in einem sehr ähnlichen Bereich wie bei IG 045_00IG_S_s_z liegen, in den Strukturen Kamperfehn und Zwischenahn sogar relativ hoch (-406 m und -296 m). Aus den Daten zum Strukturzug Bunde bis Scharrel (IG 045_00IG_S_s_z) geht hervor, dass lediglich die Strukturteile Bunde und Jemgum bis < 500 m aufgestiegen sind, Leer und Raude liegen bei 700 m – 831 m unter GOK. Im TG 029_00TG_043_00IG_S_s_z (Zwischenahn-Kamperfehn) sind die Strukturteile in nahezu gesamten TG über < 500 m aufgestiegen. Die Salzstrukturen Kamperfehn-Zwischenahn (029_00TG_043_00IG_S_s_z) sowie Wahn und Börger (028_00TG_040_00IG_S_s_z) liegen also ebenfalls sehr hoch, bleiben aber im Verfahren, da sie an keiner Stelle bis < 100 m unter GOK reichen und/oder punktuell im Kontakt mit dem Quartär stehen.

Zum TG 028_00TG_040_00IG_S_s_z ist anzumerken, dass ortsspezifische Daten aus dem öffentlich verfügbaren Schichtenverzeichnis der verzeichneten Bohrung „Wahn 1“ vorliegen. Aus diesen ist ersichtlich, dass die Struktur deutlich höher liegt (Hutgestein bei

189 m angetroffen) als von der BGE angegeben (Aufstieg bis -500 m unter GOK). Dies sollte von der BGE überprüft werden.

Grundsätzlich wäre zu prüfen, ob die an diesen Beispielen gezeigte Vorgehensweise auch in anderen Fällen zutrifft und ggf. zum Ausschluss unnötig großer Gebiete führt.

6.4 Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs im geoWK-11

Bei der Anwendung des geoWK-11 „Kriterium zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge“ weicht die BGE von den Vorgaben des StandAG ab.

Das geoWK-11 ist auf der Grundlage von drei Indikatoren zu bewerten, in denen die Verbreitung von grundwasserhemmenden Gesteinen im Deckgebirge, die Verbreitung von erosionshemmenden Gesteinen im Deckgebirge sowie die Ausprägung struktureller Komplikationen im Deckgebirge zum Tragen kommen. Zum ersten Indikator Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen... definiert Anlage 11 StandAG die Wertungsgruppen mächtige vollständige Überdeckung... (günstig), flächenhafte, aber lückenhafte beziehungsweise unvollständige Überdeckung... (bedingt günstig) sowie fehlende Überdeckung... (ungünstig). Anstatt für die in den Wertungsgruppen genannte Überdeckung die im Indikator angegebene Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs heranzuziehen, beurteilt die BGE den Indikator anhand der Überdeckung des Wirtgesteins.



Abb. 2: Abbildung zur Verdeutlichung des Unterschieds zwischen der „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ und der „Überdeckung des Wirtgesteins“.

In BGE (2020k, S. 50) weist die BGE auf diesen Umstand hin und verweist auf einen weiteren Bericht: „Es ist zu beachten, dass unter Überdeckung die das Wirtsgestein überlagernden Gesteine verstanden werden, während das Deckgebirge per Definition (§ 2 Nr. 13 StandAG) alle Gesteine oberhalb des Einlagerungsbereichs bzw. einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) beinhaltet, also auch Teile des Wirtsgesteins (für weitere Informationen siehe BGE (2020a))“. In BGE (2020a) findet sich die folgende Erläuterung:

„Die für die Indikatoren „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge“ und „Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ in der ungünstigen Wertungsgruppe genannte „fehlende Überdeckung“ darf nicht mit fehlendem Deckgebirge gleichgesetzt werden, da letzteres durch die Mindestanforderung „minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ (§ 23 Abs. 5 Nr. 3 StandAG) bereits ausgeschlossen ist und somit kein zu berücksichtigender Fall für die Abwägungskriterien wäre. Unter Überdeckung werden entsprechend die das Wirtsgestein überlagernden Gesteine verstanden, während das Deckgebirge per Definition alle Gesteine oberhalb des Einlagerungsbereichs bzw. einschlusswirksamen Gebirgsbereichs beinhaltet, also auch Teile des Wirtsgesteins (§ 2 Nr. 13 StandAG)“.

In dieser Erläuterung wird korrekt dargelegt, dass die in der Wertungsgruppe angegebene fehlende Überdeckung nicht mit einem fehlendem Deckgebirge gleichgesetzt werden kann. Denn dies würde bedeuten, dass ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich bis an die Tagesoberfläche reicht, was durch die Mindestanforderung gemäß § 23 Abs. 5 Nr. 3 StandAG, die Oberfläche eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs muss mindestens 300 Meter unter der Geländeoberfläche liegen, ausgeschlossen ist.

Zu hinterfragen ist jedoch die Schlussfolgerung, dass unter dem Begriff Überdeckung „entsprechend die das Wirtsgestein überlagernden Gesteine“ (BGE 2020a, S. 125, erster Absatz) zu verstehen seien. Dies lässt sich anhand folgender Konstellation überprüfen: Wenn nach Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen ein Gebiet identifiziert wird, in dem ein mächtiger Granitkomplex an der Tagesoberfläche ausstreicht, und dieser Granitkomplex bis auf einen begrenzten verwitterten Bereich nahe der Tagesoberfläche ungeklüftet ist, dann wäre ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich, der in einigen hundert Meter Tiefe ausgewiesen wird, von mehreren hundert Metern ungeklüftetem Granit überdeckt. Eine solche Konstellation wäre hinsichtlich der Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen aufgrund der in diesem Fall äußerst geringen Gebirgspermeabilität zweifellos als „günstig“ einzustufen. Zweifellos wäre auch der zweite Indikator des geoWK-11, die „Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des einschlusswirksamen

Gebirgsbereichs“, aufgrund der ausgeprägten mechanischen und chemischen Stabilität von Granit mit „günstig“ zu bewerten. Demgegenüber würde jedoch die von der BGE gewählte Vorgehensweise für beide Indikatoren aufgrund der fehlenden Überdeckung des zu Tage austreichenden Granits zur Einstufung „ungünstig“ führen. Würden stattdessen für die Einordnung in die Wertungsgruppen „mächtige vollständige Überdeckung...“ (günstig), „flächenhafte, aber lückenhafte beziehungsweise unvollständige Überdeckung...“ (bedingt günstig) sowie „fehlende Überdeckung...“ (ungünstig) jeweils die im Indikator genannte „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ zugrundegelegt, würde dies für die vorgenannte Konstellation zu günstigen Bewertungen führen.

Für eine direkte Bewertung des Indikators „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen...“ anhand der dort genannten „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ spricht auch die Tatsache, dass sich bei allen im StandAG genannten Indikatoren die Wertungsgruppen direkt auf den jeweiligen Indikator beziehen. Deshalb braucht beispielsweise beim ersten Indikator des geoWK-3, der „Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich“, nicht die Frage gestellt zu werden, ob sich die Angabe „gering“ in der Wertungsgruppe „günstig“ auf etwas anderes bezieht als auf eben jene im Indikator genannte „Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich“. Ebenso ist beispielsweise davon auszugehen, dass im geoWK-2 beim Indikator „Barrieremächtigkeit [m]“ die Angabe „> 150“ in der Wertungsgruppe „günstig“ eben jene im Indikator genannte „Barrieremächtigkeit“ beziffert. Warum dies bei den Indikatoren des geoWK-11 anders sein sollte, ist nicht ersichtlich. Demnach wäre unter „fehlende Überdeckung“ in der Wertungsgruppe „ungünstig“ des ersten Indikators des geoWK-11 nicht das generelle Fehlen einer Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit Gesteinen im Sinne eines fehlenden Deckgebirges zu verstehen, sondern das Fehlen der im Indikator genannten „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen“, was mit dem Vorhandensein eines Deckgebirges nicht im Widerspruch steht.

Das Argument, dass mit der „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ nicht der in der Definition des Deckgebirges in § 2 StandAG genannte „Teil des Gebirges oberhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ gemeint sein könne, weil andernfalls im StandAG der Gebirgsbereich oberhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit den Begrifflichkeiten „Deckgebirge“ einerseits und „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ andererseits unterschiedliche Benennungen erfahren würde, was möglicherweise dem Grundprinzip einer widerspruchsfreien Rechtsordnung entgegenstünde, hält einer Überprüfung nicht stand. Der Indikator „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen“ bezeichnet nicht nur den mit dem Deckgebirge identischen Gebirgsbereich, sondern hebt zusätzlich auf eine Eigenschaft ab, nämlich die grundwasserhemmende Wirkung von dort vorhandenen Gesteinen. Er

umfasst damit eine Bedeutung, die sich von der Bedeutung des „Deckgebirges“, das lediglich einen bestimmten Bereich im Raum bezeichnet ohne diesem Bereich auch eine Eigenschaft zuzuordnen, unterscheidet. Daher ist für den Indikator die Verwendung einer vom Begriff „Deckgebirge“ verschiedenen Bezeichnung erforderlich, was durch die Verwendung der Begrifflichkeit „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen“ gegeben ist.

Unbeachtlich ist in diesem Zusammenhang die Frage, welche Bedeutung dem Komma in der vollständigen Formulierung des Indikators „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge“ zukommt. Unabhängig davon, ob einerseits das Komma eine Erläuterung abtrennt oder andererseits im Sinne einer Aufzählung zu verstehen ist, in der es dann entweder die Bedeutung eines „oder“ bzw. eines „und“ haben könnte, führt keine der infrage kommenden Interpretationen zu dem Ergebnis, dass die „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ anhand der das Wirtsgestein überlagernden Gesteine zu beurteilen wäre. Das Gleiche gilt für die infrage kommenden Bedeutungen der Kommata in den Wertungsgruppen zu diesem Indikator.

Es ist erforderlich, die im StandAG genannte Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs heranzuziehen und nicht die das Wirtsgestein überlagernden Gesteine.

6.5 Vorgehen bei der Aggregierung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

Die Aggregierungsweise der Bewertung der Indikatoren zu einer Gesamtbewertung des geoWK wird nicht nachvollziehbar erläutert. Dies betrifft auch die Gesamtbewertung eines Teilgebiets auf Basis der Aggregierung aller geoWK. Gemäß StandAG-Begründung ist ein einzelnes Abwägungskriterium nicht hinreichend, um die günstige geologische Gesamtsituation nachzuweisen oder auszuschließen. Es ist nicht nachvollziehbar, warum bei der Aggregierung der Indikatoren nicht analog vorgegangen wurde.

Insgesamt lässt sich bei der dargelegten Anwendung der geoWK keine Wichtung der Kriterien ausmachen. Die Einteilung in drei Wertungsgruppen wird erwähnt, die Kriterien scheinen aber nicht nach den Wertungsgruppen gewichtet zu werden. Es ist nicht nachvollziehbar, ob und inwieweit dieses bei der Bewertung verfolgt wird.

Es ist im Vergleich der Teilgebiete und identifizierten Gebiete nicht erkennbar, ob die Vorgehensweise zur Aggregierung der Indikatoren eines geoWK bzw. aller geoWK für ein Teilgebiet bzw. ein identifiziertes Gebiet immer dieselbe ist oder ob beispielsweise

Gebiet im Vergleich miteinander und unter Berücksichtigung der standortspezifischen Daten unterschiedlich bewertet werden.

Es ist zudem nicht erkennbar, wie sich geoWK-Bewertungen mit „bedingt günstig“, „weniger günstig“ und „günstig“ auf die Gesamtbewertung für ein Teilgebiet bzw. ein identifiziertes Gebiet auswirken können, wenn beispielsweise gleichzeitig kein geoWK mit „ungünstig“ bewertet wurde und ob dieser Fall auch zu einem Ausschluss von Gebieten führen kann.

6.5.1 Beispiele

In BGE (2020g) heißt es: „Dementsprechend wurden alle Indikatoren mit gleichen Maßstab betrachtet, sodass im Ergebnis der am schlechtesten bewertete Indikator maßgebend für die Gesamtbewertung des Kriteriums war.“ Es wird nicht nachvollziehbar erläutert, womit dieses Vorgehen begründet wird. Diese Vorgehensweise mit recht scharfen Anforderungen an die Gesamtbewertung des Kriteriums verleiht einem einzelnen Indikator ein hohes sicherheitliches Gewicht.

Zum Beispiel wird das geoWK-2 anhand von vier Indikatoren bewertet. Im Falle von IG 004_00IG_S_s_z werden von diesen vier Indikatoren drei mit „günstig“ und einer mit „weniger günstig“ bewertet, was zur Gesamtbewertung des geoWK-2 mit „weniger günstig“ führt. Als weiteres Beispiel stellt sich die Frage, weshalb bei geoWK-10 (Kriterium zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse) die „nicht günstige“ Bewertung eines Indikators gegenüber den vier anderen mit „günstig“ bewerteten Indikatoren zu einer Gesamtbewertung des Kriteriums mit „nicht günstig“ führen.

In BGE (2020a) wird zum Anwendungsprinzip (5) in Kapitel 2 dargelegt: „(5) Für die Indikatoren der Anlagen 5, 8 und 10 sowie teilweise Anlage 9 (zu § 24 Abs. 4 bis 5) StandAG existiert nur die Wertungsgruppe „günstig“. Diese Indikatoren werden mit den Wertungsgruppen „günstig“ oder „nicht günstig“ bewertet 2. (Fußnote 2 lautet: „Günstig“ bedeutet, dass die in der entsprechenden Anlage aufgestellte Bedingung erfüllt wird und „nicht günstig“ bedeutet, dass diese Bedingung nicht erbracht wird. Es ist nicht mit „ungünstig“ zu verwechseln.)“. Es ist nicht erkennbar, wie eine Indikator-Bewertung „nicht günstig“ gegenüber der Bewertung „ungünstig“ zu verstehen ist bzw. welche der beiden Bewertungen als nachteiliger angesehen wird.

7 Fazit

Einen Zwischenbericht Teilgebiete in diesem Umfang in vorgegebener Zeit zu erstellen, ist anerkennenswert. Vieles ist nachvollziehbar dokumentiert, Verbesserungen sind möglich. Die kommenden Monate sollten genutzt werden, Inkonsistenzen zu identifizieren und auszuräumen. Dieser Bericht möchte hierzu einen Beitrag leisten. Die Ausführungen in der Stellungnahme sind als Unterstützung für den weiteren Auswahlprozess zu verstehen. Sie dienen als Anregung zur Befassung und möglichen Verbesserung der Anwendung einzelner geowissenschaftlicher Kriterien für die weitere Umsetzung des Standortauswahlprozesses und der Kommunikation von Ergebnissen. Eine transparente Darlegung der angewandten Methoden, die einheitliche Auslegung und Anwendung der Kriterien und der Umgang mit aufgetretenen Fragen tragen maßgeblich dazu bei, den weiteren Verlauf des Verfahrens erfolgreich zu gestalten.

8 Berücksichtigte BGE-Berichte zum Zwischenbericht Teilgebiete

BGE (2020a): Arbeitshilfe zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG. Stand 03.09.2020.- Geschäftszeichen: SG02102/5-2/2-2020#7; BGE Peine.

BGE (2020ag): Anlage 1A (zum Fachbericht Teilgebiete und Anwendung Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG). Ergebnisse der Bewertung: Teil A (Teilgebiete). Stand 28.09.2020.- Geschäftszeichen: SG02102/5-5/2-2020#12; BGE Peine.

BGE (2020ah): Anlage 1B (zum Fachbericht „Teilgebiete und Anwendung Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG“). Ergebnisse der Bewertung: Teil B (Keine Teilgebiete). Stand 28.09.2020.- Geschäftszeichen: SG02102/5-5/2-2020#13; BGE Peine.

BGE (2020am): Endlagerkonzepte. Überblick über grundsätzliche Rahmenbedingungen in der ersten Phase des Standortauswahlverfahrens. Stand 28.09.2020.- Geschäftszeichen: SG02302/3-1/1-2020#1; BGE Peine.

BGE (2020b): Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG. Grundlagen. Stand 01.09.2020.- Geschäftszeichen: SG02102/5-3/3-2020#26; BGE Peine.

BGE (2020g): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG. Stand 28.09.2020.- Geschäftszeichen: SG01101/16-1/2-2019#3; BGE Peine.

BGE (2020h): Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG. Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. Stand 28.09.2020.- Geschäftszeichen: SG02101/32-1/2-2020#15; BGE Peine.

BGE (2020j): Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG. Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete. Stand 28.09.2020.- Geschäftszeichen: SG02103/9-1/2-2020#12; BGE Peine.

BGE (2020k): Teilgebiete und Anwendung. Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. Stand 28.09.2020.- Geschäftszeichen: SG02102/5-5/2-2020#7; BGE Peine.

BGE (2020l): Datenbericht Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete.- BGE Peine.

Datenbericht Teil 1 von 4: Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete. Stand 28.09.2020.- Geschäftszeichen: SG02103/9-2/2-2020#2; 237 S.

Datenbericht Teil 2 von 4: Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete. Stand 28.09.2020.- Geschäftszeichen: SG02103/9-2/2-2020#2; 950 S.

Datenbericht Teil 3 von 4: Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete. Stand 28.09.2020.- Geschäftszeichen: SG02103/9-2/2-2020#2; 2234 S.

Datenbericht Teil 4 von 4: Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG. Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete. Stand 28.09.2020.- Geschäftszeichen: SG02103/9-2/2-2020#2; 319 S.

Literaturverzeichnis

ANSICHT: <https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Projekte/Langzeitsicherheit/abgeschlossen/AnSichT.html>.

Bartels, A., Rummel, L., May, F. (2020): Dokumentation und Auswertung einer Expertenbefragung zur langfristigen Vorhersage vulkanischer Aktivität in Deutschland.- BGR, Hannover, 104 S.

Kaiser, D. & Spies, T. (2020): Anwendung des Ausschlusskriteriums Seismische Aktivität.- Abschlussbericht, 52 S., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.

Baldschuhn, R.; Binot, F.; Fleig, S. & Kockel; F. (2001): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor – Strukturen, Strukturentwicklung, Paläogeographie.- Geologisches Jahrbuch, A 153: S. 3-95.

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: S. 6-13.

Brandes, C.; Winsemann, J.; Roskosch, J.; Meinsen, J.; Tanner, D.C.; Frechen, M.; Steffen, H. & Wu, P. (2012): Activity of the Osning thrust during the Lateglacial: ice-sheet and lithosphere interactions.- Quaternary Science Reviews, 38, S. 49-62.

Bräuer, V.; Reh, M.; Schulz, P.; Schuster, P. & Sprado, K.-H. (1994): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands – Untersuchung und Bewertung von Regionen in nichtsalinaren Formationen.- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Abschlußbericht, 12437/91: 147 S.; Hannover und Berlin.

Brückner-Röhling, S.; Espig, M.; Fischer, M.; Fleig, S.; Forsbach, H.; Kockel, F.; Krull, P.; Stiewe, H. & Wirth, H. (2002): Projekt Gorleben, Standsicherheitsnachweise Nachbetriebsphase: Seismische Gefährdung. (Teil 1: Strukturgeologie).- Archiv-Nr. 0128111: 183 S.; Hannover.

Brückner-Röhling, S.; Fleig, S.; Forsbach, H.; Kockel, F.; Krull, P. & Wirth, H. (2004): Die Bewegungsphasen tektonischer Störungen im Tertiär Norddeutschlands.- Zeitschrift für geologische Wissenschaften, 32: S. 295-312.

- Coldewey, G. & Göbel, P. (2015): Hydrogeologische Gelände- und Kartiermethoden. Verlag Springer. ISBN 978-3-8274-2728-1.
- Doornenbal, J.C. & Stevenson, A.G. (2010): Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area.- 341 p.; Houten (EAGE Publications b.v. Houten).
- Fachliche Position der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands (SGD 2020) zu den Ausschlusskriterien des Standortauswahlgesetzes (StandAG): Ausschlusskriterium „Vulkanismus“ (§ 22 Abs. 2 Nr. 5 StandAG) (07.10.2020).- <https://www.infogeo.de>.
- GRS (2020): RESUS – Empfehlungen zur sicherheitsgerichteten Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien des StandAG (Synthesebericht).- GRS-567; ISBN 978-3-947685-53-0.
- Hoth, P.; Wirth, H.; Reinhold, K.; Bräuer, V.; Krull, P. & Feldrappe, H. (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands: Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen.- 124 S.; Berlin/Hannover (BGR).
- Jähne-Klingberg, F.; Stück, H.; Bebiolka, A.; Bense, F. & Stark, L. (2019): Prognosemöglichkeiten von großräumigen Vertikalbewegungen für Deutschland.- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; S. 140; Hannover.
- Jentzsch, G. (2001): Vulkanische Gefährdung in Deutschland. Entwicklung eines Kriteriums zum Ausschluss von Gebieten für die weitere Untersuchung hinsichtlich der Eignung als Standort eines Endlagers für radioaktive Abfälle.- K-MAT 12-14. [http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/18/CD09100/4. Materialien/K-MAT%2012-14.pdf](http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/18/CD09100/4.Materialien/K-MAT%2012-14.pdf).
- Jentzsch, G. (2013): Ausarbeitung Vulkanische Gefährdung in Sachsen.- Unveröffentlichtes Gutachten für das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Jena, 35 S.
- Kaiser, D. & Leydecker, G. (2003): ERA Morsleben 9M2142002100 Stellungnahme zum Teil-Prüfbericht der AG Morsleben zum Seismologischen Gutachten und zur Stellungnahme des Geologischen Landesamtes Sachsen-Anhalt zum Teil-Prüfbericht.- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Bericht, Tagebuch-Nr.: 12804/02: S. 1-46; Hannover.
- Kley, J. (2018): Timing and spatial patterns of Cretaceous and Cenozoic inversion in the Southern Permian Basin.- Special Publication, Geological Society of London, 469, 1: pp. 19-31. DOI:10.1144/SP469.12.

- LBEG (2011): Boden und Wasser Geofakten 21. Hydrostratigrafische Gliederung Niedersachsens.- Reutter, E.; Februar 2011; Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.
- Ludwig, A.O. (2001): Vertical movements since the beginning of Rupelian stage (map 1).- Brandenburgische geowissenschaftliche Beiträge, 8, 1: S. 5-12.
- May, F. (2019): Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland.- Kurzbericht, 87 Seiten, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Meier, T.; Soomro, R.A.; Viereck, L.; Lebedev, S.; Behrmann, J.H.; Weidle, C.; Cristiano, L. & Hanemann, R. (2016): Mesozoic and Cenozoic evolution of the Central European lithosphere.- Tectonophysics. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.09.016>.
- Müller, K.; Brandes, C. & Winsemann, J. (2019): Paleoseismic investigation of northern Germany.- Von der BGR beauftragte Studie. Contract 201-10079313; S. 155.
- NAGRA (2002): Projekt Opalinuston: Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse. Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle.- NAGRA, Nagra Techn. Ber., NTB 02-03: 659 S.; Wetingen/Schweiz.
- Pearson, F.J.; Arcos, D.; Bath, A.; Boisson, J.-Y.; Fernández, A.M.; Gäbler, H.-E.; Gaucher, E.; Gautschi, A.; Griffault, L.; Hernán, P. & Waber, H.N. (Hrsg.) (2003a): Mont Terri Project – Geochemistry of Water in the Opalinus Clay Formation at the Mont Terri Rock Laboratory (Berichte des BWG, Serie Geologie 5).- 319 S.; Bern/Schweiz (Bundesamt für Wasser und Geologie).
- Peterek, A. & Schröder, B. (1997): Neogene fault activity and morphogenesis in the basement area of the KTB drill site (Fichtelgebirge and Steinwald).- Geologische Rundschau, 86(1): pp. 185-190.
- Pollok, L.; Hölzner, M. & Fleig, S. (2016): AP2: Erfassung des Internbaus von Salzstrukturen und geologische 3D-Modellierung. (In: Bundesanst. f. Geowiss. und Rohstoffe, KBB Underground Technologies & Inst. f. Geotechnik Leibniz Universität Hannover (Hrsg.): Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (InSpEE) (Wasserstoff und Druckluft).- Sachbericht 03ESP323B). S. 53-117; Hannover.

Prinz, H. & Strauß, R. (2011): Ingenieurgeologie.- Verlag Spektrum Akademischer Verlag.
ISBN 978-3-8274-2472-3.

Reinhardt, H.-G. & Gruppe Regionales Kartenwerk (1968–1991): Regionales Kartenwerk
der Reflexionsseismik; Tiefenlinienpläne und Mächtigkeitskarten 1 : 100 000,
1 : 200 000, 1 : 500 000.- VEB Geophysik Leipzig, unveröff. Leipzig.

Röhling, S.; Fleig, S.; Gast, S.; Ruales, A.; Henneberg, M.; Onneken, J. (2020): Infor-
mationssystem Salz: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialab-
schätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren
Energien (Wasserstoff und Druckluft) – Doppelsalinare und flach lagernde
Salzschichten. Teilprojekt Salz- und Strukturgeologie.- Bundesanst. f. Geowiss.
und Rohstoffe, Sachbericht 03ET6062B: S. 234; Hannover.

Sissingh, W. (2003): Stratigraphic framework of the European Cenozoic Rift System:
a visual overview.- (Utrecht). (Geologica Ultraiectina Special Publication).

Stück, H.; Bense, F.; Frenzel, B.,; Henneberg, M.; Kneuker, T.; Lang, J.; Mertineit, M.;
Noack, V. & Pollok, L. (2020): Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“.-
Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Auftrags-
nummer: 9S2019070000: 116 S.; Hannover.

Wenzel, F. (2020): Gutachten für das Bundesumweltamt zu § 22 Abs. 2 Nr. 4 Standort-
auswahlgesetz.- 28 S., KIT, 14.09.2020.

Ziegler, P.A. (1990): Geological Atlas of Western and Central Europe.- Shell Internationale
Petroleum Maatschappij B.V., 2nd ed. ed., Publisher; Den Haag.

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°C	Grad Celsius
14C	Kohlenstoff-14
2D	zweidimensional
3H	Tritium
Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
AK	Ausschlusskriterien
AkEnd	Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte
ANSICHT	Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheits- und Nachweis- konzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BRIUG	Beijing Research Institute for Uranium Geology
BT	Bundestag
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
DDR	Deutsche Demokratische Republik
ewG	einschlusswirksamer Gebirgsbereich
GeoWK	Geowissenschaftliche Abwägungskriterien
ggf.	gegebenenfalls
GOK	Geländeoberkante
GTA	Geotektonischer Atlas

GW	Grundwasser
HTO	tritiertes Wasser
i. d. R.	in der Regel
IAEA	International Atomic Energy Agency
IG	identifizierte Gebiete
inkl.	inklusive
km	Kilometer
km ²	Quadratkilometer
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
li.	links
m	Meter
MA	Mindestanforderungen
Ma	Millionen Jahre
MoU	Memorandum of Understanding
MV	Mecklenburg-Vorpommern
NAGRA	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NBG	Nationales Begleitgremium
Nds.	Niedersachsen
Nr.	Nummer
NW	Nordwest
PTKA	Projektträger Karlsruhe
RESUS	Grundlagenentwicklung für repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen und zur sicherheitsgerichteten Abwägung von Teilgebieten mit besonders günstigen geologischen Voraussetzungen für die sichere Endlagerung hochradioaktiver Abfälle
S.	Seite
SGD	Staatliche geologische Dienste
SPBA	Southern Permian Basin Atlas

StandAG	Gesetz zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle und anderer Gesetze
SW	Südwest
TG	Teilgebiete
u. a.	unter anderem
v.	von
vgl.	vergleiche
W	West
z. B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Teilgebiete mit kristallinen Wirtsgesteinen (rosa) und Ausschlussgebiete (dunkelblau) nach BGE (2020g und 2020h) sowie Auswahlgebiete aus der Kristallinstudie (rot) nach Bräuer et al. (1994).	11
Abb. 2: Abbildung zur Verdeutlichung des Unterschieds zwischen der „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ und der „Überdeckung des Wirtsgesteins“.	38

**Fachliche Position der Staatlichen Geologischen Dienste von
Berlin, Brandenburg, Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern,
Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein
zur Ausweisung des Teilgebietes „Tertiäres Tongestein“
im Zwischenbericht Teilgebiete der
Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
vom 28.09.2020**

Stand 01. Februar 2021

Anlass

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat am 28.09.2020 ihren „Zwischenbericht Teilgebiete“¹ gemäß § 13 Abs. 2 S. 3 StandAG veröffentlicht:

„Im Ergebnis werden durch die Bewertung der identifizierten Gebiete (vgl. Kapitel 4.3.7) anhand der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 90 Teilgebiete ausgewiesen, welche eine günstige geologische Gesamtsituation für die Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen.“

Das Teilgebiet 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg „Tertiäres Tongestein“ beschreibt laut BGE (siehe Tabelle Seite 144):

„Tongesteine des Tertiär im Norddeutschen Becken (vorwiegend im Niedersächsischen Becken) – in Teilen von Berlin, Brandenburg, Bremen, Niedersachsen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein“. ...

„Das Teilgebiet bezieht sich auf die stratigraphische Einheit Tertiär (Paläogen), welche das Wirtsgestein Tongestein enthält. Es hat eine maximale Mächtigkeit von 1.055 Metern. Die Basisfläche des Teilgebietes befindet sich in einer Teufenlage von 400 Metern bis 1.500 Metern unterhalb der Geländeoberkante.“

Das Teilgebiet „Tertiäres Tongestein“ umfasst 62.885 km². Es wurden für Norddeutschland nur die Tongesteinsabfolgen aus dem älteren Paläogen ausgewiesen (Unteres Paläogen: Stufen des Thanet aus dem oberen Paläozän und des Ypres aus dem unteren Eozän).

¹ BGE (2020): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß §13 StandAG, Stand 28.09.2020

BGE-Ansatz zur Ausweisung des Teilgebietes „Tertiäres Tongestein“

„Die BGE subsumiert unter dem Wirtsgesteinsbegriff Tongestein sowohl plastische Tone als auch Tonsteine, welche ... diagenetisch verfestigt sind. Gemäß §23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG, muss der ewG [einschlusswirksame Gebirgsbereich] eines Endlagersystems eine geringe Gebirgsdurchlässigkeit mit kf-Werten von kleiner als 10^{-10} m/s aufweisen. Des Weiteren dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche den Erhalt der Barrierewirkung gemäß § 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG zweifelhaft erscheinen lassen.“ (Zwischenbericht Teilgebiete Seite 41).

Die BGE beschreibt in der „Anwendung Mindestanforderungen“²:

„Tongesteine treten in verschiedenen stratigraphischen Einheiten auf, ihre Mächtigkeit und flächenmäßige Verbreitung sowie ihre Homogenität und stoffliche Ausbildung variieren jedoch stark. Das stratigraphische Inventar Deutschlands wurde systematisch auf vorkommende endlagerrelevante Tongesteinsabfolgen geprüft. Anhand von allgemeinen Beschreibungen der lithologischen Ausbildung, des regionalen Vorkommens und der Mächtigkeit der stratigraphischen Einheiten wurden potentiell endlagerrelevante Gesteins-einheiten in einem ersten Schritt (Inventarisierung, vgl. Kapitel 6.3.4 und Datenbericht Inventarisierung) identifiziert.“ „Auf Grundlage von 3D-Modellen, publizierten Beschreibungen, Karten und Bohrungsdaten wurden die Mindestanforderungen angewendet...“ (Seite 128) ...

„Für Bereiche, die nicht von einem Ausschlusskriterium betroffen sind und die alle Mindestanforderungen erfüllen, werden identifizierte Gebiete ausgewiesen. Dabei werden die aus der Bearbeitung resultierenden Einzelflächen zu einem Gebiet zusammengefasst.“ ... „Bei der Bewertung der für die Endlagerung relevanten Mächtigkeiten und Tiefenlagen muss jedoch beachtet werden, dass die Bearbeitung zunächst auf Basis stratigraphischer Einheiten beruht, die von endlagerrelevanten Gesteinstypen dominiert werden oder von denen zu erwarten ist, dass sie Bereiche enthalten, die aus Gesteinstypen bestehen, die alle Mindestanforderungen erfüllen...“ (Seite 133)

„Für Tongesteinsformationen des Obereozän, Rupelium und post-Rupelium in Norddeutschland ... bestehen bereits zum jetzigen Zeitpunkt begründete Zweifel, ob die vom StandAG vorgegebenen Mindestanforderungen gegenwärtig erfüllt sind bzw. über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahren erfüllt werden können (vgl. (BGE 2020)). Diese Formationen werden daher im Zuge der Anwendung der Mindestanforderungen nicht weiter berücksichtigt...“ (Seite 134)

Zu den tertiären Tongesteinen Norddeutschlands führt die BGE in der „Anwendung Mindestanforderungen“ aus:

² BGE (2020) Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 Stand AG (Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete), Stand 28.09.2020

„Eine besondere Herausforderung bei der Prüfung der Mindestanforderungen stellen die tertiären Tongesteine in Norddeutschland dar. Durch teils lokale Vorkommen, eine detaillierte stratigraphische Gliederung sowie regionale Abweichungen in der Nomenklatur der stratigraphischen Einheiten ist eine Harmonisierung im derzeitigen Schritt des Verfahrens nicht möglich (vgl. Kapitel 6.4). Wie auch für andere relevante Gesteinstypen üblich, wurden potentiell relevante Gesteine des Tertiärs in Norddeutschland zu einer chronostratigraphischen Einheit zusammengefasst. Diese stratigraphische Einheit ist in einem Teil der zu bearbeitenden Gebiete in geologischen 3D-Modellen abgebildet und wird daher wie in diesem Kapitel beschrieben bearbeitet. Für Gebiete, für die keine 3D-Modelle oder Karten zur Verfügung standen, wurden die Mindestanforderungen, basierend auf ausgewählten Schichtenverzeichnissen angewendet. Aus diesen Schichtenverzeichnissen wurde eine Basis- und eine Topfläche der stratigraphischen Einheit durch Interpolation erzeugt. Mit diesen Hilfsflächen konnte die Prüfung der Erfüllung der Anforderungen an die Mächtigkeit und die Tiefenlage eines ewG erfolgen. Die Bearbeitung dieser stratigraphischen Einheit wurde dokumentiert, Einzelheiten zur Bearbeitung sind in den Modellierprotokollen in der untersetzenden Unterlage „Datenbericht Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG“ (BGE 2020) nachzulesen.“ (Seite 80 ff)

Die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien beruht im Wesentlichen auf Referenzdatensätzen. Die BGE beschreibt in der „Anwendung Abwägungskriterien“³:

„Für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sind zumeist ortsspezifische, detaillierte Informationen notwendig. Solche geologischen Daten liegen in Schritt 1 der Phase I des Standortauswahlverfahrens nicht flächendeckend vor. Um dennoch eine Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien auf jedes identifizierte Gebiet zu gewährleisten, können für einige der Kriterien nach Anlage 1 bis 11 (zu § 24) StandAG wirtsgesteinsspezifische geologische Daten herangezogen werden. Diese auf Literatur basierenden Daten werden in den Referenzdatensätzen (BGE 2020b) zusammengestellt (vgl. Anwendungsprinzip (2) und (3) in Kapitel 5.4).“ (Seite 34)

Für das Wirtsgestein Tongestein basieren die Indikatoren und Kriterien der Anlage 1 sowie 5 bis 10 (zu § 24 Abs. 3 bis 5) StandAG auf Referenzdatensätzen. Die Indikatoren und Kriterien der Anlagen 2, 3, 4 und 11 beruhen auf einer *„individuellen Bewertung des identifizierten Gebiets“*. (Seite 38)

„Der Referenzdatensatz für Tongestein dient, falls keine oder sehr wenige ortsspezifische geologische Daten vorliegen, für die Bewertung aller Tongesteinsformationen. Dazu gehören sowohl verfestigte als auch unverfestigte Tongesteine.“⁴ (Seite 21)

³ BGE (2020): Teilgebiete und Anwendung Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG (Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete), Stand 28.09.2020

⁴ BGE (2020): Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG Grundlagen, Stand 01.09.2020

Fachliche Position der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) der vom Teilgebiet „Tertiäres Tongestein“ betroffenen Bundesländer

Datengrundlagen und Methodik der BGE

Der Ausweisung des Teilgebietes „Tertiäres Tongestein“ durch die BGE liegen in Norddeutschland in den betroffenen Bundesländern sehr unterschiedliche Datengrundlagen zugrunde:

-  **Berlin und Brandenburg:** Bohrungen und thematische Karten
-  **Mecklenburg-Vorpommern:** Bohrungen und thematische Karten
-  **Niedersachsen, Hamburg und Bremen:** „Geotektonischer Atlas 3D (GTA-3D)“
-  **Sachsen-Anhalt:** Bohrungen und thematische Karten
-  **Schleswig-Holstein:** Basismodell SH 2012 (GTA-3D) und Strukturmodell SH 2016 (aus Projekt „StörTief“)

Das Teilgebiet wurde, wenn vorhanden, aus geologischen 3D-Modellen abgeleitet und dort, wo sie nicht vorhanden sind durch Interpolation von Schichtgrenzen aus Einzelbohrungen ermittelt. Die Ausweisung des identifizierten Gebietes erfolgte für den Betrachtungsraum Nordostdeutschland (Brandenburg, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt) durch die Auswertung von Bohrungen verschiedener Bohrdatenbanken sowie von Verbreitungskarten (Infos hierzu s. S. 757 ff im Datenbericht Teil 2 von 4).

Durch die Anwendung geowissenschaftlicher Abwägungskriterien im Wesentlichen anhand von Referenzdatensätzen wurde anschließend das Teilgebiet „Tertiäres Tongestein“ ausgewiesen, wobei festzustellen ist, dass dies nicht unbedingt zu einer Verkleinerung des „identifizierten“ Gebietes „Tertiäres Tongestein“ führte.

Prüfung der Mindestanforderungen

Bei der Prüfung der Mindestanforderungen verfolgte die BGE einen „konservativen“ Ansatz, indem sie im ersten Schritt hin zur Identifizierung von Gebieten im Zweifelsfall eher mit einer Überschätzung der Verbreitung der Tongesteinsformationen gearbeitet hat.

Durch die Anwendung sehr unterschiedlicher Datengrundlagen ergeben sich für das Teilgebiet „Tertiäres Tongestein“ allerdings offensichtliche „Ungleichbehandlungen“ der betroffenen Bundesländer. Es ist kritisch zu betrachten, dass die jeweiligen Gesteinsformationen unter dem Begriff „Tertiäres Tongestein“ aufgrund der vorhandenen Informationen nicht nach einheitlichen Maßstäben betrachtet worden sind und dadurch Bundesländer ungleich behandelt wurden. Insbesondere der Verzicht der BGE zum jetzigen Zeitpunkt auf die Verwendung von Datengrundlagen aus den analogen Archiven einiger SGD bzw. bei digitalem Datenbestand den vollständigen Rückgriff auf die in diesen Unterlagen vorhandenen sehr viel detaillierteren Basisinformationen incl. der verwendeten 3D-Modelle

widerspricht dem Ansatz einer auf einheitlichen Kriterien basierenden Gebietsausweisung. Dies stellt nicht in jedem Fall ein konservatives Ergebnis sicher.

Der Umgang mit dieser „Verteilungsungerechtigkeit“, bezogen auf die heterogene Datenbasis, ist ein wesentlicher Aspekt, den die BGE hätte berücksichtigen sollen. Die Vorgehensweise der BGE, im Wesentlichen mit einem Werkzeug, das als Modell im Maßstab 1:300.000 (Geotektonischer Atlas 3D) „nur“ stratigraphische Einheiten abbildet, ein Teilgebiet für die beschriebenen Einheiten des Paläogen als potenzielles Wirtsgestein belastbar nach den Maßstäben des StandAG abzugrenzen, wird seitens der SGD als zu starke Vereinfachung gesehen.

Der sehr unterschiedliche Detaillierungsgrad der verwendeten Datengrundlagen (z.B. Flächen im GTA-3D im Maßstab 1:300.000) lassen Zweifel aufkommen, ob die abschließende, d.h. der Schritt vom identifizierten Gebiet „Tertiäres Tongestein“ hin zur Ausweisung des Teilgebietes „Tertiäres Tongestein“ in Norddeutschland belastbar ist. Aufgrund der Modellgrenzen endet das Teilgebiet bspw. an einigen Stellen an Ländergrenzen, weil hier eine Datenharmonisierung offensichtlich nicht möglich war. Demnach erfolgte hier die Ausweisung des Teilgebietes nicht anhand geologischer Bewertungen (sondern anhand politischer Grenzen). Im Grunde kann dies dazu führen, dass eine Fläche aufgrund fehlender oder kleinmaßstäblicher Daten oder Daten, die bspw. in den Archiven der SGD nicht recherchiert wurden, ausgeschlossen wurde. Nach dem Gesetz müsste hier zum Umgang mit diesen Gebieten eine Empfehlung seitens der BGE ausgesprochen werden (§13 StandAG) und diese Gebiete umgekehrt weder ausgeschlossen noch als Teilgebiet ausgewiesen werden. Der Ansatz wäre im diesem Sinne nicht „konservativ“.

Der GTA-3D als Modell für Niedersachsen, Hamburg und Bremen sowie die in Schleswig-Holstein verwendeten Modelle (Basismodell SH 2012 (GTA-3D) und Strukturmodell SH 2016 (aus Projekt „StörTief“) bilden „nur“ stratigraphische Einheiten ab, die für eine Bewertung der Gesteinsformationen in lithostratigraphische bzw. am Ende lithologische Einheiten übersetzt werden mussten. Ohne eine systematische und umfängliche Hinzuziehung sowie Prüfung der Informationen aus vorhandenen und zugänglichen Tiefbohrungen (die der BGE vor Veröffentlichung des Zwischenberichtes vorlagen) ist dies nicht möglich. Das Ergebnis stellt dementsprechend eine starke Vereinfachung dar. Die aus den angegebenen Quellen ermittelten Mächtigkeiten im Paläogen von bis zu 1.055 m sind zwar im Sinne eines konservativen Vorgehens (maximal angetroffene Mächtigkeit des Paläogen) nicht zu beanstanden, für das Wirtsgestein Tongestein im Tertiär aber über das gesamte Verbreitungsgebiet Norddeutschlands genommen deutlich überschätzt.

Für den sich nun anschließenden Schritt zur Einengung dieses Teilgebietes auf eine oder mehrere Standortregionen stellt sich die Frage, ob und wie dies überhaupt geowissenschaftlich belastbar vorgenommen werden kann.

Verwendung von Referenzdatensätzen bei der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

Sieben der Indikatoren und Kriterien nach § 24 StandAG (Geowissenschaftliche Abwägungskriterien) beruhen auf der Verwendung von Referenzdatensätzen, vier Kriterien beruhen auf der Grundlage gebietsspezifischer Daten. Die Referenzdatensätze wurden losgelöst von der Stratigraphie und Erdzeitalter und der sehr unterschiedlichen Lithologie der jeweiligen Tongesteinsformationen für alle Tongesteine gleichermaßen und ohne weitere Differenzierung untereinander angewendet. Dabei wurden überwiegend Datensätze aus verfestigten Tonsteinen (Jura/Kreide) als Referenzdatensätze abgeleitet.

Insbesondere für das Teilgebiet „Tertiäres Tongestein“ ist diese Vereinheitlichung nicht nachvollziehbar und wird als nicht sachgerecht eingestuft. Für die tertiären Tongesteine ist zwingend ein eigener Referenzdatensatz erforderlich.

Zahlreiche Bohrungen und Schichtenverzeichnisse, die der BGE von den SGD zur Verfügung gestellt wurden, belegen die große Heterogenität und lithofazielle Differenzierung der tertiären Abfolgen. Die tertiären (paläogenen) Sedimente in Norddeutschland sind gekennzeichnet durch sehr unterschiedliche Faziesräume und große lithologische Unterschiede innerhalb des Verbreitungsgebietes. Wichtige Eigenschaften (u. a. mineralogische Zusammensetzung, Art und Anteil der Tonminerale, Porosität, Permeabilität, Korngröße, Konsistenz, Paläotemperatur) dieser erdgeschichtlich relativ jungen Tongesteine unterscheiden sich wesentlich von denen älterer, prätertiärer Tongesteine.

Für das Verständnis der Eigenschaften und des Verhaltens von Tongesteinen ist deren diagenetische Überprägung von großer Bedeutung. Im Gegensatz zu den Jura- und Unterkreide-Tongesteinen haben die tertiären Tongesteine keine tiefe Versenkung erfahren (Stichwort „Inversion des Niedersächsischen Beckens“). Tertiäre Tongesteine und dementsprechend auch die paläogenen Tongesteine weisen je nach Tiefe und Region sehr variierende Verfestigungsgrade auf.

Die BGE stellt im Zwischenbericht Teilgebiete dar, dass die potentiellen Tongesteinsformationen untergeordnet andere Gesteine (z.B. Sandsteine, Kalksteine, usw.) enthalten. Weiterhin wird nicht zwischen plastischen und verfestigten Tönen unterschieden. Eine Prüfung, inwieweit diese Einlagerungen die Barrierewirkung des Tongesteins vermindern, wurde bisher seitens BGE nicht vorgenommen.

Grundsätzlich ist die Annahme gerechtfertigt, dass die in diesen Zeiträumen abgelagerten feinkörnigen Sedimente granulometrisch häufig in den Tonbereich eingestuft wurden. Dabei wurde in den Originalbearbeitungen primär in unverfestigte Tone und verfestigte Tongesteine differenziert, die stellenweise siltig bis sandige Zwischenlagen aufweisen können. Es ist davon auszugehen, dass im Rahmen der geologischen Bearbeitung zum Zeitpunkt der Bohrung bzw. Probenbearbeitung bei der Klassifikation von den geologischen Bearbeiter*innen bewusst zwischen „Ton“ und „Ton(ge)stein“ unterschieden wurde und auf Grund der

nicht abgeschlossenen Diagenese der relativ jungen tertiären Schichten gravierende Festigkeitsunterschiede anzunehmen sind. In vielen Fällen ist in den Schichtenverzeichnissen die Bezeichnung „Ton“ durch die Konsistenzbegriffe plastisch, weich, mild oder mäßig fest ergänzt worden. Dadurch wurden Festigkeitsunterschiede dokumentiert und eine lithologische Abgrenzung vorgenommen.

Auffällig ist weiterhin, dass an manchen Schichtprofilen gerade im Bereich der Stufen Ypresium bis Thanetium bspw. in Schleswig-Holstein in ein und derselben Bohrung eine Differenzierung zwischen hangenden jüngeren Tonen und liegenden älteren Tonsteinen aufgezeigt werden konnte. Es kann also nicht davon ausgegangen werden, dass die lithologischen Bezeichnungen Ton und Ton(ge)stein beliebig benutzt wurden, sondern dass sie sehr wohl einen prinzipiellen diagenetischen Unterschied markieren und charakterisierende lithologische Termini darstellen, die infolgedessen auch unterschiedliche Gesteinseigenschaften kennzeichnen. Von daher wäre es eigentlich zu erwarten gewesen, dass auch seitens der BGE diese Unterschiede betrachtet und beachtet worden wären und demzufolge eine weitere Differenzierung des Teilgebietes geboten gewesen wäre.

Die Auswertung von zahlreichen Bohrungen im Rahmen von §21 Stellungnahmen der SGD hat gezeigt, dass die Schichten des Paläozän sehr heterogen zusammengesetzt sind und nicht flächendeckend als Tongesteinsformation zu betrachten sind. Die Schichten des Untereozän enthalten oftmals Feinsandsteine neben Tonsteinen. In den Einheiten Mitteleozän und Obereozän treten häufig Mergelsteine auf. Es gibt zahlreiche Beispiele, in denen die Paläozän-Untereozän-Schichten als aus nicht verfestigten Tonen bestehend beschrieben werden.

Im Gegensatz zu Tonsteinen stellen Tone durch ihre im Sinne eines Endlagerstandorts „negativen“ Festigkeitseigenschaften ein Risiko im Hinblick auf die Standfestigkeit eines Endlagerbergwerkes dar. Stellenweise wird das tonige Material, z.B. in Schleswig-Holstein aber auch anderswo, als kleinbröckelig, zerfallend und mit Haarrissen und Harnischen durchzogen beschrieben. Darüber hinaus ist durch eine anzunehmende Wärmeentwicklung eingelagerter radioaktiver Stoffe eine Änderung der tonmineralogischen Zusammensetzung möglich.

Unter Berücksichtigung der Festigkeitseigenschaften sowie einer teilweisen heterogenen Zusammensetzung durch siltige und feinsandige Zwischenlagen bis hin zu Tuffiten muss die Eignung der tertiären Sedimente als potenzielles Wirtsgestein im weiteren Abwägungsprozess kritisch betrachtet werden.

Weitere Offene Fragen

Die BGE sollte darlegen, wie die Wissenslücken zu den Eigenschaften tertiärer Tongesteine nach dem Stand von Wissenschaft und Technik geschlossen werden sollen und welchen ggfs. weiteren Forschungsbedarf sie sieht.

Für das Verständnis der Eigenschaften und des Verhaltens von Tongesteinen ist deren diagenetische Entwicklung von großer Bedeutung. Die unterschiedlichen Diagenese-Stadien (und ihre Abhängigkeit von der Tiefe, aber auch vom Kalkgehalt) der paläogenen Sedimente in Norddeutschland sind daher detailliert zu betrachten. Hierbei sind neben der sedimentologischen, stratigraphischen und paläogeographischen Charakterisierung auch der Kenntnisstand in Bezug auf Regressionsphasen und Erosionshorizonte zu erheben. Mögliche laterale (z.B. Becken-, Schwellen-, Küstensedimente) und vertikaler Differenzierungen (z.B. Leit-horizonte, Tufflagen) sind zu ermitteln. Welche Faktoren beeinflussen die Diagenese?

Vollzieht sich die Diagenese tiefenabhängig „von unten nach oben“ ab einem bestimmten Auflastdruck oder bankweise, von welchen Faktoren ist sie abhängig?

Die regionale und lokale Versenkungsgeschichte der Sedimente ist zu untersuchen und der Kenntnisstand in Bezug auf mögliche biogene Bestandteile sowie auf eine etwaige Öl- und Gasführung zu erweitern. Wie sieht es z.B. mit organikreichen Horizonten in den tertiären Sedimentabfolgen aus?

Die Eigenschaften und das Verhalten von Tongesteinen werden maßgeblich von der mineralogischen Zusammensetzung bestimmt. Hinsichtlich einer Eignung als Wirtsgestein sind neben der Art und dem Anteil der Tonminerale auch der Gehalt bestimmter Nebenbestandteile von besonderem Interesse.

In Bezug auf die mineralogische Zusammensetzung ist zu klären worin sich die norddeutschen Tongesteinsformationen von den Tongesteinsformationen unterscheiden, die international (z.B. Frankreich, Schweiz, Belgien) als Wirtsgesteine in Betracht gezogen werden. Wie hoch ist bspw. der Tonmineralanteil und welche Rückschlüsse auf die Gesteinseigenschaften (Quellfähigkeit, Rückhaltevermögen, etc.) lassen sich daraus für die tertiären Tongesteine ziehen. Für eine mögliche Mobilisierung von Radionukliden ist der Karbonatgehalt des Gesteins mitentscheidend. Auch der Pyritgehalt ist ein wichtiger mineralogischer Parameter, da bspw. eine Freisetzung von Schwefelsäure durch Pyritoxidation in der bergbaulich bedingten Auflockerungszone bei der Errichtung eines Endlagerbergwerks nicht auszuschließen ist.

Für die Eignung eines Tongesteins als Wirtsgestein ist dessen Maximaltemperaturbelastung in der geologischen Vorgeschichte (Paläomaximaltemperaturen) von erheblicher Relevanz. Bei Überschreitung der Paläomaximaltemperaturen besteht die Befürchtung einer Verschlechterung der Barrierefunktionen durch sekundäre Prozesse wie die Alteration der vorhandenen organischen Substanzen, die sich wiederum nachteilig auf das Rückhaltevermögen von Radionukliden auswirken könnte. Die heutigen Tiefenlagen von Tongesteinen sind nicht mit den maximalen Versenkungstiefen gleichzusetzen.

Dementsprechend ist für die tertiären Tongesteinsformationen die Maximaltemperaturbelastung in der geologischen Vorgeschichte (Paläomaximaltemperaturen) zu ermitteln. Die dafür national und international verwendeten Methoden zur

Paläomaximaltemperaturbestimmung von Tongesteinen bzw. der Wirtsgesteinscharakterisierung sind auf ihre Vorteile, Nachteile und ihre generelle Anwendbarkeit für tertiäre Tongesteine zu sichten und zu bewerten. In diesem Zusammenhang spielen auch die Art, Menge und Reife organischer Substanzen in tertiären Tongesteinen einerseits sowie der möglichen Alteration/Zersetzung durch Temperatureinflüsse andererseits eine wichtige Rolle.

Mit Blick auf die mögliche Eignung tertiärer Tongesteine für die Errichtung, den Betrieb und die Stilllegung einer Anlage zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle sind weiterhin Fragen zur geomechanisch/geotechnischen Charakterisierung und zur Standsicherheit von entscheidender Bedeutung.

Die geomechanischen Kennwerte und deren Bandbreite, insbesondere für Wärmeleitfähigkeit, thermischer Ausdehnungskoeffizient, Festigkeiten, Steifigkeiten, Viskosität, Schrumpfen, Wassergehalt sind zu ermitteln.

Die Frage, ob die geomechanisch/geotechnischen Eigenschaften und Kennwerte von oberflächennah anstehenden tertiären Tongesteinen und von oberflächennah anstehenden Tongesteinen anderer geologischer Einheiten, z.B. jurassischen Tongesteinen, auf tertiäre Tongesteine in Teufen eines Endlagers übertragbar sind, ist kritisch zu betrachten. Sind die geotechnischen Erfahrungen mit anderen Tongesteinen überhaupt auf tertiäre Tongesteine (auch in der Anwendung von Referenzdatensätzen) anwendbar?

Wie werden z.B. die Primärspannungszustände, insbesondere in Hinblick auf einen eventuell vorhandenen horizontalen Spannungsüberschuss bewertet?

Wie unterscheiden sich paläogene Tongesteinsformationen von anderen Tongesteinsformationen (z.B. jurassische Tongesteinsformationen) in Hinblick auf ihre Temperaturvulnerabilität und die Fähigkeit zur hydraulisch und mechanisch wirksamen Risschließung?

Es wäre zu prüfen, ob (andere) Stoffgesetze für die Modellierung tertiärer Tongesteine und deren thermischen, hydraulischen, mechanischen und chemischen Verhaltens benötigt werden.

In Bezug auf die Standsicherheit ist von Interesse, in welchen Bau- oder Forschungsprojekten in tertiäre (paläogene) Tongesteinen Auffahrungen durchgeführt oder geotechnische Bauwerke erstellt wurden. Welche geotechnischen und geomechanischen Erfahrungen wurden dabei gewonnen (Teufenlage, Ausbauart, Ausbaugrad)? Welche besonderen Problemstellungen traten dabei auf? Sind Schwierigkeiten bei einer langen Offenhaltung z.B. für eine Rückholung zu erwarten und welche können das sein? Gibt es Untersuchungen/Überlegungen zur technischen Machbarkeit der Rückholung, wenn ja, welche?

Welche Teufe kann für die Erstellung von Hohlräumen in tertiären (paläogenen) Tongesteinen aufgrund des notwendigen Ausbaus als maximal möglich angesehen werden?

Bei all diesen offenen Fragen steht im Raum, wie die BGE plant, diese Wissenslücken in Bezug auf die tertiären Tongesteine zu schließen? Sollte die BGE die tertiären Tongesteine

weiterhin in ihre Betrachtungen einbeziehen, welche weiteren Forschungsarbeiten sind von ihr geplant bzw. welche offenen Fragen sieht die BGE selbst bei diesem Wirtgestein?

Regionalgeologische Hinweise zur Ausweisung des Teilgebietes „Tertiäres Tongestein“

Berlin

Das Teilgebiet „Tertiäres Tongestein“ liegt u. a. im Nordwesten des Landes Berlin. Seine Ausdehnung für den Berliner Raum lässt sich mit den vorliegenden Informationen regionalgeologisch nicht nachvollziehen.

Als entscheidungserheblich für die Gebietsabgrenzung wird von der BGE auch die im Land Berlin positionierte Bohrung Berlin 1 (321006000101) genannt, in der nach Kenntnis des geologischen Dienstes von Berlin keine Sedimente des oberen Paläozäns oder unteren Eozän vorhanden sind. Vielmehr lagert in dieser am Rand des Teilgebietes gelegenen Bohrung unteroligozäner Rupelton in einer Bohrteufe von 100-189 m direkt auf mesozoischen Keuperschichten. Vergleichbare Schichtenfolgen sind auch in weiteren der BGE zur Verfügung gestellten Tiefbohrungen aufgeschlossen, wie z. B. in den weiter nordwestlich im Teilgebiet lokalisierten Bohrungen Berlin 2, Berlin 3, Berlin 4, Berlin 15. Auch in der ebenfalls deutlich innerhalb des Teilgebietes gelegenen Bohrung 425B-3091, deren Informationen der BGE inkl. Schichtenverzeichnis vorliegen, sind keine Schichten des oberen Paläozäns und unteren Eozän aufgeschlossen. Hier wurden lediglich geringmächtige Tone des oberen Mittel- bzw. Obereozän erbohrt. Dementsprechend ist die Ausweisung des Teilgebietes „Tertiäres Tongestein“ für den Raum Berlin regionalgeologisch in Frage zu stellen.

Brandenburg

Die Lithologie aus den Bohrungen Bad Wilsnack Sol Wlk 1/96 in der Prignitz und Velten Gt Vet 2/90 nördlich Berlin belegt die heterogen aufgebauten Wechselfolgen des Paläogens:

- Hauptsächlich wird das Paläogen Brandenburgs aus Schluffen (nach Korngröße definiert in DIN 4022 und DIN EN ISO 14688 von 2004) aufgebaut.
- Weiter wird das Paläogen aus Tonmergeln, Schluffmergeln, Kalkschluffen, Sanden, Kalksandsteinen und Tonen zusammengesetzt.
- Dem sind Konkretionen und Bänke bzw. Flöze von Kalkmergelsteinen, Kalksteinen, Kalksandsteinen, Braunkohlenschluffen, Braunkohlentonen und Braunkohlen eingelagert.

Da beide Bohrungen in Salzabwanderungssenken geteuft wurden, in denen Absenkungsphasen infolge Salzabwanderung auch im Paläogen stattfanden, weisen darin einige Abschnitte des Paläogens auch erhöhte Mächtigkeiten und Lithofaziesdifferenzierungen auf,

die nur lokal in diesen Senken auftreten, insbesondere in den einzelnen Diapirrandsenken auch zu unterschiedlichen Zeiten. Paläogene Tone über 100 m Mächtigkeit treten somit in Brandenburg nur lokal in Salzabwanderungssenken auf. Daher wird bei deren Flächengrenzung im Zwischenbericht Teilgebiete der BGE insbesondere die nach StandAG § 23 Absatz 5 Punkt 2 erforderliche Mindestanforderung „Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ nicht erfüllt und dieses Gebiet hätte infolgedessen nicht als identifiziertes Gebiet in die Anwendung der Geowissenschaftlichen Abwägungskriterien aufgenommen werden dürfen.

Es erscheint daher nicht plausibel, aus einer heterogen lithologischen Zusammensetzung wie beispielsweise im Paläogen von der Rupelton-Formation (Unter-Oligozän) aus hauptsächlich Schluffen, Tonen, Ton- und Schluffmergeln in Nordwest-Brandenburg (mit Sand-Zwischenschaltungen in Ost-Brandenburg außerhalb des Teilgebietes 005_00TG) ein Wirtsgestein „Tertiäres Tongestein“ herzuleiten.

Hamburg

Für die Ausweisung des Verbreitungsgebietes „Tertiäres Tongestein“ wurde die Basisfläche des oberen Eozän des Geotektonischen Atlas 3D gewählt, und mit dem Basiskriterium 1.500 m verschnitten. Dies ist für das GLA Hamburg nachvollziehbar.

Laut Geotektonischem Atlas 3D ist diese Formation auch am Othmarschen-Langefelde-Diapir aufgeschleppt, erreicht aber nicht Teufen oberhalb 1.500 m. Daher ist die Verbreitung dieser Formation in der veröffentlichten Karte ab der Grenze zu Schleswig-Holstein nicht plausibel.

Neben der Erdgas- und Erdölförderung als Solche, die durchaus auch zu starken und mitunter negativen Auswirkungen auf die Eigenschaften des Untergrunds für ein Endlager führen kann, bestand für das ehemalige Erdölfeld Reitbrook eine Nachnutzung als Gasspeicher. Durch das wiederholte Füllen und Entleeren des Gasspeichers unter dem potentiellen Wirtsgestein „Tertiäres Tongestein“ ist es zu Hebungen gekommen, die auch an der Oberfläche nachweisbar sind. Der Bewegungsbereich des Gasspeichers, der von 1973 – 2017 am Standort Reitbrook betrieben wurde, kann aus den Radarinterferometriedaten (Daten BBD-Programm der BGR), die der BGE vorliegen sollten, abgeleitet werden. Die Hebungen lagen in den letzten Jahren der Nutzung demnach in einer Größenordnung bis zu einigen Zentimetern. Der betroffene Bereich entspricht in etwa der Ausdehnung der im GTA-3D dargestellten Salzstockberandung und etwas darüber hinaus (ca. 4 km im Durchmesser).

Es ist daher davon auszugehen, dass es auch im Bereich der überlagernden Deckschichten und damit auch im Bereich des potenziellen Wirtsgesteines „Tertiäres Tongestein“ zu Schädigungen wie Rissbildung gekommen sein könnte. Dies hätte bei der Ausweisung des Teilgebietes differenziert betrachtet und dementsprechend berücksichtigt werden müssen.

Niedersachsen

Für Niedersachsen wurde noch keine detaillierte regionalgeologische Betrachtung des Teilgebietes „Tertiäres Tongestein“ vorgenommen, es ist jedoch zu erwarten, dass vergleichbar wie in den benachbarten Bundesländern ähnliche Beispiele und vor allem großflächige Regionen identifiziert werden könnten, die die Ausweisung des Teilgebietes „Tertiäres Tongestein“ in der aktuellen Ausprägung mehr als in Frage stellen. Die Verhältnisse, wie sie bspw. aus Schleswig-Holstein beschrieben werden, wären auch für Niedersachsen nach regionalgeologischer Prüfung nicht überraschend und mitunter übertragbar.

Mecklenburg-Vorpommern

Das Teilgebiet „Tertiäres Tongestein“ umfasst nahezu die gesamte westliche Landesfläche von Mecklenburg-Vorpommern. Zur Abgrenzung wurden dafür vor allem Tiefbohrungen und thematische Karten herangezogen. Ergänzend dazu kann auch der seismische Reflektor T1 verwendet werden, der die transgressive Basis des Tertiär in Nordostdeutschland abbildet, und in Form von Isobathenkarten vorliegt.

Die Isolinien des Reflektors zeigen an, dass das von der BGE ausgewiesene Teilgebiet auch Bereiche oberhalb von Salzstrukturen einschließt, in denen sich die Basis der alttertiären Abfolgen nicht tiefer als 300 m u. NN befindet. Dies betrifft die Salzkissen Brustorf, Karow-Schwaan, Krakow am See, Marnitz, Neubuckow und Triebkendorf. Teilweise fehlt das Tertiär im Top dieser Antiklinalstrukturen völlig.

In den zahlreich vorhandenen Bohrungen sind die Abfolgen des Paläozän und Eozän häufig >100 m mächtig. Jedoch bestehen diese bis etwa 600 m Tiefe überwiegend aus unverfestigten und damit noch plastischen Tonen und enthalten teilweise auch Ton/Schluff-Wechselagerungen. Aufgrund ungünstiger geomechanischer Eigenschaften und erhöhter Sensitivität gegenüber Temperaturerhöhungen sollten diese Bereiche von einer weiteren Betrachtung ausgenommen werden.

Schleswig-Holstein

Die Konsistenz der tertiären Tonfolgen des Untereozän 2 bis 4 wird in den Bohrungsbeschreibungen in vielen Regionen als „plastisch“ und „weich“ beschrieben. Auf eine unvollkommene diagenetische Verfestigung weisen auch Beschreibungen wie „zäh“ hin.

In allen Regionen Schleswig-Holsteins finden sich in größerer Zahl Schichtenverzeichnisse, die untereozänes und oberpaläozänes Material als „mild“ sowie „mäßig fest“ beschreiben.

Es kann also davon ausgegangen werden, dass die allgemeine lithologische Einstufung als „Ton“ (und nicht als Tonstein) weiten Teilen des Landes – auch in endlagerrelevanten Tiefen – zutrifft.

Mit Blick auf die mineralogische Zusammensetzung der Tone in Schleswig-Holstein ist für die Tone des Ypresiums (Eozän) die enthaltenen quellfähigen Montmorillonite hervorzuheben. Besonders in sog. „Grüner Eozänton“ bilden die quellfähigen Montmorillonite bis zu 50% des Gesamtanteils an Tonmineralen.

Die paläogeographische Situation Schleswig-Holsteins ist durch den von Salzmauern und Salzdiapiren überprägten Glückstadtgraben gekennzeichnet. Durch noch im Tertiär andauernde Halokinese konnte es an den Flanken der Salzstrukturen stellenweise zu erosiven Prozessen kommen, deren Spuren sich in den benachbarten Trögen durch unterschiedlich mächtige siltig/sandige Zwischenlagen dokumentieren. Weiterhin ist besonders das Untereozän 1 durch Tuffitlagen gekennzeichnet.



Baden-Württemberg

REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG
LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU

Direktorenkreis
der Staatlichen Geologischen Dienste

2019/2020

Regierungspräsidium Freiburg, Abteilung 9 · 79095 Freiburg i. Br.

An die
Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE),
das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen
Entsorgung (BASE) und das
Nationale Begleitgremium (NBG)

Freiburg i. Br. 07. Oktober 2020
Name Prof. Dr. Eckhardt
Durchwahl 0761 / 208-
Aktenzeichen 90-4760//18-11313
(Bitte bei Antwort angeben)

Fachliche Positionspapiere des DK der SGD zu den Methodensteckbriefen der BGE

- Anlagen:**
- Positionspapier zum Ausschlusskriterium „Aktive Störungen“
 - Positionspapier zum Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger und früherer bergbaulicher Tätigkeit – Bohrungen“
 - Positionspapier zum Ausschlusskriterium „Vulkanismus“

Sehr geehrte Damen und Herren,

anliegend erhalten Sie die Positionspapiere des Direktorenkreises (DK) der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands (SGD) zu den Methodensteckbriefen der BGE zu den Ausschlusskriterien „Aktive Störungszonen“ (§ 22 Abs. 2 Nr. 2 StandAG), „Einflüsse gegenwärtiger und früherer bergbaulicher Tätigkeit – Bohrungen“ (§ 22 Abs. 2 Nr. 3 StandAG) und „Vulkanismus“ (§ 22 Abs. 2 Nr. 5 StandAG).

Aus Sicht des DK erscheint das Vorgehen der BGE, das zur Ausweisung der Teilgebiete nach § 13 StandAG am 28. September 2020 geführt hat, zum jetzigen Verfahrenszeitpunkt weitgehend nachvollziehbar und plausibel, da durch die pauschale und schematisierte Vorgehensweise der Verfahrensgerechtigkeit Genüge getan wird.

Dienstgebäude Albertstraße 5 · 79104 Freiburg i. Br. · Telefon 0761 208-3000 · Telefax 0761 208-393029 · abteilung9@rpf.bwl.de
www.rp.baden-wuerttemberg.de · www.service-bw.de

VAG-Linien 4, 5, 27 · Haltestelle Europaplatz · Parkmöglichkeiten Parkleitsystem Parkzone Altstadt

Für das weitere Vorgehen zur Abgrenzung der Standortregionen für die untertägige Erkundung hält der DK jedoch den vertieften Einsatz geologischer Expertise auf regionalgeologischer Ebene durch die BGE für unabdingbar. Die hierfür zu berücksichtigenden Aspekte und Methoden aus Sicht der SGD sind in den anliegenden Positionspapieren dargestellt, die auch auf InfoGeo.de veröffentlicht werden.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. Eckhardt
Abteilungspräsident
DK-Vorsitzender

**Fachliche Position der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands (SGD)
zu den Ausschlusskriterien des Standortauswahlgesetzes (StandAG)**

**Ausschlusskriterium „Vulkanismus“
(§ 22 Abs. 2 Nr. 5 StandAG)**

07. Oktober 2020

Anlass

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat auf ihrer Internetseite den „Methodensteckbrief: Ausschlusskriterium Vulkanismus“ (BGE 2020) veröffentlicht. Zur gemeinsamen Herbstsitzung des BLA-GEO und des DK am 09. und 10. September 2020 lag ein Positionspapier zur Anwendung des Ausschlusskriteriums Vulkanismus (§ 22 Abs. 2 Nr. 5 StandAG) der drei Bundesländer Bayern, Rheinland-Pfalz und Sachsen vor, in denen die quartären Vulkanfelder der Eifel und der Region Vogtland-Fichtelgebirge/Oberpfalz-Egerbecken auftreten. Das Vorgehen wurde im Anschluss mit den SGD aller Bundesländer abgestimmt.

BGE-Ansatz zum Teil-Ausschlusskriterium Vulkanismus

Gemäß o. g. Methodensteckbrief „Ausschlusskriterium Vulkanismus“ schlägt die BGE vor, Gebiete, in denen quartärer Vulkanismus nachgewiesen ist, von der Endlagersuche auszuschließen. Diese potentiellen Gefährdungsgebiete werden als Umkreis um quartäre vulkanische Eruptionszentren in der Eifel und der Region Vogtland-Oberpfalz abgegrenzt, wobei die Auswirkungen zukünftiger vulkanischer Aktivitäten mit einem Radius von 10 km um jedes Eruptionszentrum undifferenziert berücksichtigt werden. „Dieser gilt als ‚Minimalabstand‘ und wird auf Grundlage eines extern vergebenen Forschungsprojektes mit einem individuell an die jeweiligen Gebiete angepassten und vom konkreten Chemismus des Vulkanismus abhängigen Sicherheitsaufschlag versehen, der sich bezüglich der ausgeschlossenen Fläche einzig vergrößernd auswirken kann. Während für die Ausweisung von Teilgebieten nach § 13 StandAG zunächst der statische Sicherheitsabstand von 10 km ausgewiesen wird, sollen zur Ermittlung von Standortregionen nach § 14 StandAG individuelle Sicherheitsabstände zur Anwendung kommen“ (BGE 2020).

Fachliche Position der SGD

Die BGE betrachtet ausschließlich die Vulkanbauten an der Erdoberfläche. Eine Vielzahl vulkanischer Erscheinungsformen bleiben dabei unberücksichtigt. Die SGD gehen nachfolgend von einem gesamtheitlichen Ansatz auf Basis der aktuellen wissenschaftlichen Forschungen aus, mit dem bereits heute ein adäquater Sicherheitsabstand festgelegt werden kann.

Neben den eigentlichen oberflächigen Vulkanstrukturen (*Schlackenkegel, Maar, Caldera*) und der seismischen Aktivität (z.B. *Schwarmbeben und tiefe niedrigfrequente Erdbeben*) stellen auch mantelbürtige Gasaustritte (z.B. in *Mofetten* und *Mineralwässern*) und heterogene Hebungsraten (*Magmendynamik, Gasaufstieg*) aus geowissenschaftlicher Betrachtung zu berücksichtigende und beeinträchtigende Faktoren eines Endlagerstandortes für hochradioaktive Abfälle dar.

Forschungsergebnisse der letzten zwei Dekaden haben zu einem deutlichen Sprung im Kenntnisstand der beiden Vulkangebiete geführt. Neben der Entdeckung neuerer quartärer Vulkanstrukturen und der modernen seismologischen Überwachung, zeugen das Langzeitmonitoring von Hebungsraten (*Bewegung des Mantelplume*), die geophysikalische Erkundung (*Verortung von Magmenkörpern*) und die Isotopen-chemische Zusammensetzung austretender Fluide (*mögliche Pfade für Magmenaufstieg*) von den dynamischen Prozessen in und unterhalb der Lithosphäre. Diese Erkenntnisse sind gewichtige Argumente, dass eine Reaktivierung der vulkanischen Aktivität innerhalb der nächsten 1 Millionen Jahre mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit wahrscheinlich ist. Die überwiegende Mehrheit befragter Expertinnen und Experten halten zukünftige Vulkanausbrüche in den genannten Gebieten für wahrscheinlich (1 – 10 Ausbrüche) oder sehr wahrscheinlich (> 10 Ausbrüche) (Bartels et al., 2020). Die beiden Vulkangebiete sind somit nach §22 Abs. 2 Nr. 5 StandAG auszuschließen. Ebenfalls weisen diese neuen Erkenntnisse den von Jentzsch (2001) aufgestellten einheitlichem Radius von 10 km um ein Vulkangebiet als ungenügend aus.

Das Ausschlusskriterium der geogenen, großräumigen Vertikalbewegungen von im Mittel mehr als 1mm pro Jahr über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahren (§ 22 Abs. 2 Nr. 1 StandAG) wird hier nicht berücksichtigt, sondern ist gesondert zu betrachten.

1. Einleitung

Das 2013 erlassene Standortauswahlgesetz (StandAG) sieht vor, ergebnisoffen nach einem geeigneten Endlager für Atommüll zu suchen. Gemäß §1 Abs. 3 StandAG kommen grundsätzlich neben Salzgesteingestein auch Ton- und Kristallingestein in Betracht, welche das Grundgebirge beider quartären Vulkangebiete aufbauen. Gebiete mit quartären oder zu erwartenden Vulkanismus werden vom Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE, ehemals BfE) im Allgemeinen ausgeschlossen. Nach § 22 Absatz 2 sind u.a. Gebiete auszuschließen, in denen zukünftig mit großräumigen Vertikalbewegungen (*geogene Hebungen von > 1mm/y*), aktiven Störungszonen (*Zerrüttungszonen mit tektonischer Bewegung innerhalb der letzten 34 Ma, bis Rupel*), seismischer (*örtliche seismische Gefährdung > Erdbebenzone 1*) und vulkanischer Aktivität (*quartärer oder zukünftig zu erwartender Vulkanismus*) zu rechnen ist. Die von Jentzsch (2001) aufgestellten potenziellen

Gefährdungsgebiete, die von [May \(2019\)](#) unter Hinzuziehung weiterer Kriterien großräumig differenziert wurden, sind nach aktuellem Forschungsstand zu erweitern, da rezente subkrustale magmatische Prozesse (*Bewegungen eines Mantelplumes, Magmenaufstieg, Mantelgasexhalationen*) zur Entstehung Schwarm- und DLF-Erdbeben (Deep Low-Frequency), Hebung der Erdoberfläche und Bildung von Mofetten und Sauerlingen beitragen. Die dabei angelegten tiefen oder reaktivierten Strukturen schaffen potenzielle Wegsamkeiten vulkanischer Durchschlagsröhren. Somit stellen auch weitere vulkanische Erscheinungen (wie Mofetten und Sauerlinge) beeinträchtigende Faktoren eines Endlagerstandortes für hochradioaktive Abfälle dar.

2. Aktueller Forschungsstand

2.1 Eifel

Mit einer Verbreitung der Vulkanbauten von über 2.000 km², bildet die Eifel im Bundesland Rheinland-Pfalz eines der bedeutendsten Vulkangebiete Mitteleuropas ([Bogaard & Schmincke, 1990](#); [Büchel & Bardon, 1994](#)). Die jüngsten Eruptionen der Region bilden jene des Laacher See Vulkans (12.900 a, [van den Bogaard, 1995](#)) und die des ca. 30 km entfernten Ulmener Maars (11.600 a, [Preusser et al., 2011](#)). Mit einem Vulkanexplosivitätsindex (VEI) von 6 stellt die Caldereneruption des Laacher See Vulkans eines der gewaltigsten quartären Vulkanausbrüche Europas dar ([Schuhmacher & Schmincke, 1991](#); [Harms & Schmincke, 2000](#)). Sie wird im Zusammenhang mit dem Kulturwandel in Südsandinavien und Osteuropa am Ende des Alleröd-Interstadials gesehen ([Riede, 2007](#); [Riede et al., 2011](#)). Die größte Entfernung zwischen datierten Vulkanbauten - dem Dümpelmaar der Osteifel (ca. 115.000 a) und dem Mosenberg-Schlackenkegel der Westeifel (ca. 90.000 a) - beträgt 55 km (neuere Arbeiten von [Mertz et al., 2015](#); [Förster & Sirocko, 2016](#)).

Seismische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Vulkaneifel das Resultat eines Hotspot-Mantelplumes ist ([Ritter et al., 2000](#); [Walker et al., 2005](#); [2007](#)). Anomalien seismischer Geschwindigkeiten im Erdmantel unter dem Rheinischen Massiv (z.B. [Raikes & Bonjer, 1983](#); [Meier et al., 2016](#)) und insbesondere unter der Eifel („Eifel Plume“, [Ritter et al., 2001](#)) werden z.B. mit Manteldiapirismus, der Hochlage der Lithosphären-Asthenosphären-Grenze und partiellen Schmelzen im oberen Erdmantel und deren Akkumulation unter der Kruste in Verbindung gebracht ([Ritter & Christensen, 2007](#); [Dahm et al., 2020](#)). Aufgrund der differenzierten tektonischen und petrografischen Strukturen der Erdkruste und des oberen Mantels, der aufgrund der wechselhaften orogenetischen Entwicklung des Schiefergebirges sehr heterogen ausgebildet ist, kann keine „tropfenförmige“, homogene Magmakammer angenommen werden ([Mertes & Schmincke, 1985](#); [Denis et al., 2013](#)). Zudem ist in den Randbereichen des Schiefergebirges durch Differentiationen und Aufschmelzung von Krustenmaterial auch ein interner, differenzierter Aufbau zu erwarten, wie die unterschiedlichen Vulkantypen verschiedenster chemischer Zusammensetzung vor allem in der Eifel bestätigen ([Schmincke et al., 1983](#)).

Hebungen in der Region werden mit aufsteigenden Magmen des Eifel-Plumes begründet, welche auf die Auswertungen durch die Auswertung von Satellitendaten und

Präzisionsnivelements des Landesamtes für Vermessung und Geobasisdaten Rheinland-Pfalz nachgewiesen sind (Kreemer et al., 2020). Diese vertikalen Landbewegungen lassen sich noch im Brabant in Belgien, in Luxemburg, Lothringen in Frankreich, im Ruhrgebiet und Westhessen fassen (Abbildung 1). Das Aufsteigen der Magmen aus dem oberen Erdmantel in die mittlere und obere Erdkruste, äußert sich in der Tieflage der DLF-Erdbeben in 10 bis 40 km Tiefe (Hensch et al., 2019; Dahm et al., 2020). Weitere vulkanische Erscheinung der Eifel sind Mantelgasaustritte in Mofetten, Säuerlingen und Kaltwasser-Geysiren (z.B. Bräuer et al., 2013; Dittrich, 2017). Diese vulkanischen Erscheinungen sind in morphologischen Niederungen um die West- bzw. Osteifel verstärkt nachgewiesen (z.B. Plum, 1989; Stoffels & Thein, 2000; May, 2002a,b; Berberich et al., 2019; Pfanz et al., 2019), treten aber auch in einem weiten Bereich über die Eifel hinaus auf (Carlé, 1975; May et al., 1996; Michel et al., 1998). So finden sich Austritte dieser magmatischen Gase finden sich auch in anderen Gebieten mit tertiären Vulkaniten oder in Gebieten ohne känozoischen Vulkanismus. Isotope und Spurengase zeigen lokal eine Herkunft eine Herkunft der Gase aus dem Erdmantel (z.B. Griesshaber et al., 1992; Dunai & Baur, 1996; Aeschbach-Hertig et al., 1996; Bräuer et al., 2013; Caracausi et al., 2016).

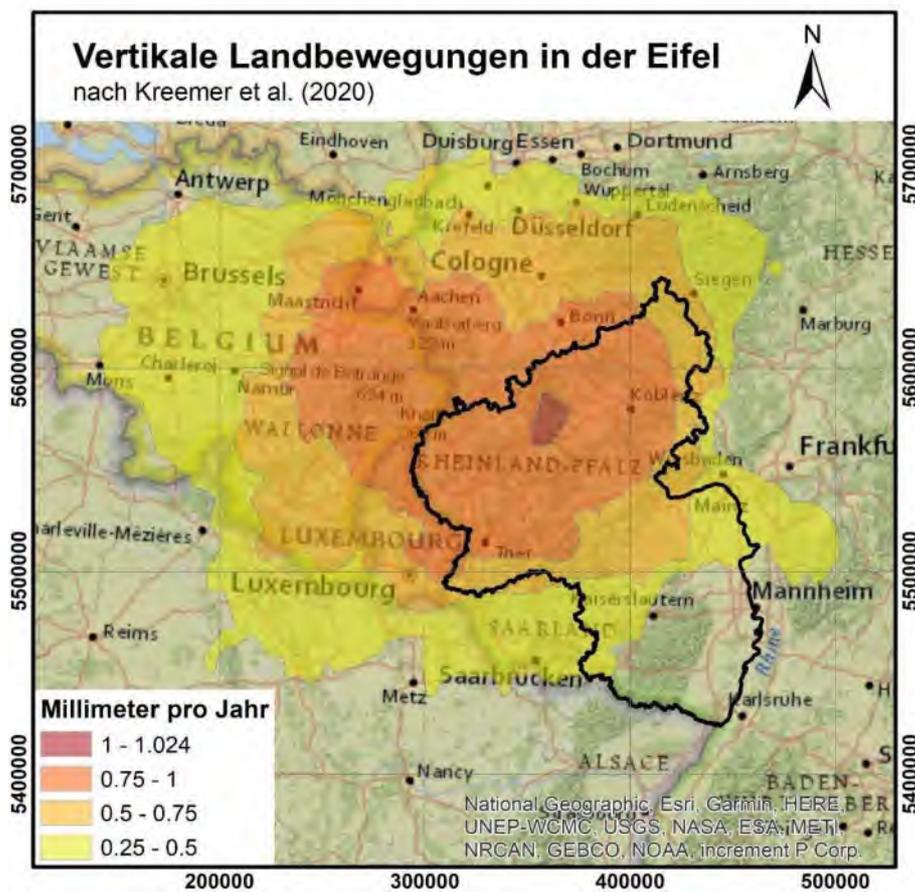


Abbildung 1 Hebungen in der näheren Umgebung des Rheinischen Massivs; nach Kreemer et al. (2020).

2.2 Region Vogtland-Fichtelgebirge/ Oberpfalz-Egerbecken

Eines der aktivsten Vulkangebiete Mitteleuropas bildet - neben der Eifel - das deutsch-tschechische Grenzgebiet an den Rändern des Cheb-Domažlice-Grabens. Der Intraplatten-Vulkanismus des Egerbeckens ist durch mehrmalige kurzzeitige vulkanische Aktivitäten mit Ruhephasen von mehreren 10.000 bis 100.000 Jahren gekennzeichnet (Wagner et al., 2002; Hošek et al., 2019). Der alkalische Gesteinschemismus ist charakteristisch für Vulkanite in Rift-Zonen und passt in die Differentiationsreihe von Foiden, Tephriten und Basaniten bis hin zu Trachyten der tertiären Vulkanite des Eger Rifts (Ulrych et al., 2000; Haase & Renno, 2008; Haase et al., 2017). In der Regel handelt es sich um geringe Fördervolumen, welche die Vulkanstrukturen der Schlackenkegel Komorní hůrka (*deutsch: Kammerbühl*) und Železná hůrka (*deutsch: Eisenbühl*), sowie die Maare von Mýtina (Mrlina et al., 2007; 2009; Lied et al., 2020), Neualbenreuth (Rohrmüller et al., 2017) und Libá (Mrlina et al., 2019; Hošek et al., 2019) entstehen ließen. Maare werden im Allgemeinen als das Resultat phreatomagmatischer Eruptionen angesehen (z.B. Lorenz et al., 2017), wobei die Maarstrukturen von Libá auch ausschließlich durch phreatische Explosionen ohne juvenile Ejektiva entstanden sein könnten (vgl. Ollier, 1967), da bisher keine magmatischen Förderprodukte gefunden wurden. Beziehungen zwischen der Verbreitung der känozoischen Vulkanite des Egergrabens zu den variszischen Suturen des Grundgebirges sowie dem räumlich benachbarten Auftreten von Schwarmbeben, Mantelgasen und aktiven Störungszonen sind lange bekannt. Die tektonische Geometrie des Egerbeckens deutet darauf, dass das Gebiet als westlichster aktiver Bereich des Eger Rifts anzusehen ist (Babuška & Plomerová, 2010; Babuška et al., 2010; Hrubcová et al., 2017).

Neben der räumlich begrenzten vulkanischen Aktivität treten in der gesamten Region wiederholt Schwarmbeben auf (z.B. Kurz et al., 2003). In den letzten Dekaden rückte insbesondere das Zusammenspiel von magmatischen Fluiden und seismischer Aktivität an sich überschneidenden Störungssystemen im deutsch-tschechischen Grenzbereich in der Region Vogtland-Fichtelgebirge/Oberpfalz-Egerbecken in den zentralen Fokus der (Georisiken-)Forschung (z.B. Heinicke et al. 1992; Weise et al., 2001; Parotidis et al. 2003). Der Magmatismus in der Region ist durch die relative Hochlage der Asthenosphäre verursacht (Heuer et al. 2006; Geissler et al. 2007), welche zur Bildung der Schmelzen führt. Magmen aus dem lithosphärischen Mantel und der oberen Asthenosphäre (oberer Erdmantel), sowie deren Volatile dringen entlang tiefgreifender Störungssysteme in die untere Erdkruste ein und lösen durch ihren Druck eine Extension aus (Špičák et al. 1999; Bräuer et al. 2008). Solche Intrusivkörper sind in Nordwestböhmen (einschließlich Bereich des Egerbeckens) bereits in der Unterkruste nachgewiesen (28 bis 30 km Tiefe, Hrubcová et al. 2017). Der enorme Druck der durch die Intrusionen und damit verbundene Fluidbewegungen entsteht, führt zu einer Extensionstektonik, welche eine Stauung der Spannungsenergie in der Erdkruste zur Folge hat (Špičáková et al. 2000). Dies wird als mögliche Ursache für Schwarmbeben in der Region gesehen (z.B. Parotidis et al. 2003; Bräuer et al. 2005; Fischer et al. 2014; Babuška et al. 2016). Rund 80% der Erdbeben haben ihr Epizentrum nahe der Ortschaft Nový Kostel (Tschechien; Michálek & Fischer 2013), nur wenige hundert Meter von der tschechisch-sächsischen Grenze bei Klingenthal entfernt. Somit stellen diese auch für den Südwesten Sachsens und den Nordosten Bayerns ein großes Gefährdungspotenzial dar. Im Verlauf des Schwarms im Winter 1985/86 trat ein

Erdbeben der Magnitude 4,6 auf, welches seit der Erdbebenaufzeichnung das stärkste Ereignis in dieser Region darstellt. Im Egerbecken deuten Deformationen der holozänen Ablagerungen in historischer Zeit auf stärkere Erdbebenereignisse (Magnituden > 6,5) während des Frühmittelalters hin (Štěpančíková et al., 2019). Die Hypozentren der Schwarmbeben liegen in Tiefen zwischen 5 und 15 km, wobei sich flachere Hypozentren in den letzten Jahren mehren (vgl. Buchholz & Wendt, 2011; Buchholz et al., 2013).

3. Gebietsabgrenzung

Die beiden quartären Vulkangebiete in Deutschland werden aufgrund der genannten Kriterien nicht nur durch die Verbreitung der nachgewiesenen Vulkanbauten abgegrenzt, sondern von der Umhüllenden aller o.g. vulkanischen Folgen.

3.1 Eifel (Rheinland-Pfalz)

Wesentliche Indikatoren zur Begrenzung der quartären Vulkanfelder der Eifel sind:

- ☐ Verbreitung der Vulkanbauten in der Eifelregion, die sich auf ein Gebiet mit der Ausdehnung von ca. 2.000 km² konzentrieren.
- ☐ DLF-Erdbeben, deren Tiefenlage auf aufsteigende Magmen aus dem oberen Erdmantel in die mittlere und obere Erdkruste hindeutet.
- ☐ Verbreitung der Gasaustritte in Form von Mofetten und Säuerlingen, mit hohen Gehalten an Gasen des Erdmantels, die mit der Verbreitung vulkanischer Eruptionszentren in der Eifel korreliert. Sie treten aber auch in Gebieten außerhalb der quartären Vulkanfelder zu Tage.
- ☐ Forschungsergebnisse belegen eine Ausdehnung des Eifel-Plumes von ca. 30 auf 50 km (Mathar et al., 2006). Neuere Daten gehen von einer Ausdehnung der seismischen Mantelanomalie über mehrere zehner bis hunderte von Kilometern aus (Meier et al., 2016).
- ☐ Langanhaltende, großräumige Hebungen, mit den höchsten Beträgen in der Eifel. Sie werden mit dem Aufstieg eines Mantel Diapirs („Eifel-Plume“) und dem damit zusammenhängenden Magmatismus erklärt.

3.2 Vogtland-Fichtelgebirge/ Oberpfalz-Egerbecken

Wesentliche Indikatoren zur Begrenzung des quartären Vulkanismus im Gebiet Vogtland-Fichtelgebirge/Oberpfalz-Egerbecken sind:

- ☐ Derzeit bekannte quartäre Vulkanstrukturen (Schlackenkegel, Maar) und die mit der magmatischen Aktivität verbundenen hydrothermale Aktivität (Mofetten, Säuerlinge, Quellaustritte).
- ☐ Austritte CO₂-reicher Gase in Säuerlingen und Mofetten. Die Isotopie des Spurengases Helium und des Kohlenstoffs im CO₂ zeigen eine mögliche Herkunft der Gase aus dem oberen Erdmantel an. Diese Mantelsignaturen sind

im Westen bis Bad Alexanderbad (Bayern) und in den Norden bis Plauen (Sachsen) nachweisbar. Die temporäre Anreicherung und Speicherung kann als Ursache für lokale Hebungen der Krustensegmente gesehen werden, dessen Spannungsentladung als Ursache für die Schwarmbeben gesehen werden.

- Schwarmbeben, die mehrheitlich entlang der Mariánské Lázně (*Marienbader*) Störungen im Raum von Nový Kostel (wenige Kilometer südlich der sächsisch-tschechischen Grenze) vorkommen und nach Norden bis Werdau (Sachsen) und nach Westen bis Marktredwitz (Bayern) nachgewiesen werden können. Die Hypozentren der Schwarmbeben schwanken in Tiefen zwischen 5 und 15 km, wobei Erdbeben mit flachen Hypozentren in den letzten Jahren häufiger werden.

Die Vulkane, Mofetten, Säuerlinge und Schwarmbeben der Vogtland-Fichtelgebirge/Oberpfalz-Egerbecken sind in einem Gebiet verbreitet, das mehr als 4.100 km² umfasst.

4. Sicherheitsbereiche

Die bisherigen Vorschläge zur Abgrenzung von Sicherheitsbereichen um die nachgewiesenen vulkanischen Gebiete erfolgten mit einem einheitlichen Radius als Umhüllende der Vulkanfelder. Der von Jentzsch (2001) und Bräuer & Jentzsch (2005) vorgeschlagene Radius von 10 km ist, nach heutigem Kenntnisstand, als zu gering einzuschätzen. Zudem reichen die, mit den geodynamischen Prozessen, der Magmengenese und deren Aufstieg und Platznahme in der Lithosphäre verbundenen Erscheinungen, wie z.B. Vertikal- und Horizontalbewegungen (Kreemer et al., 2020) sowie die Migration und Speicherung von mantelbürtigem Gas innerhalb der Lithosphäre (Bräuer et al., 2008), welche jeweils Einfluss auf die physikalische Beschaffenheit eines Wirtsgesteins haben können, weit über die Ausdehnung der Vulkanfelder hinaus (Abbildung 1).

In der Eifel werden komplexe Magmensysteme mit multiplen Magmenreservoirs in der Erdkruste und dem oberen Erdmantel vermutet (z.B. Shaw, 2004; Schmincke, 2007), die über einen Zeitraum von 100.000 Jahren aktiv waren (Ginibre et al., 2004; Schmitt, 2006). Die gewaltige Caldereneruption des Laacher See Vulkans (Vulkanexplosivitätsindex von 6) vor 13.000 Jahren wurde durch so ein Magmensystem gespeist. Dessen direkte und indirekte Auswirkungen reichten weit über die Grenzen des Vulkanfeldes hinaus (Schmincke, 2009; Leder et al., 2017). Im Gegensatz dazu stehen die Schlackenkegel und Maar-Diatrem-Vulkane beider Vulkangebiete, deren Magmen keine wesentliche Differenzierung in krustalen Magmensystemen erfahren haben und die teilweise in so kurzer Zeit aus dem lithosphärischen Mantel bis zur Erdoberfläche aufgestiegen sind (Denis et al., 2013), dass kaum Zeit für Sicherheitsmaßnahmen bleiben könnte.

Für die Sicherheit eines radioaktiven Endlagers, die für mindestens 1 Mio. Jahre zu gewährleisten ist (§ 1 Abs. 2 StandAG), muss auch die mögliche weitere Ausbreitung der quartären Vulkanfelder miteinbezogen werden. Nach Untersuchungen in der Westeifel von Mertz et al. (2015) hat sich dort die vulkanische Aktivität verlagert, mit einer über das Alter

gemittelten Geschwindigkeit von ca. 50 km/My. Allein deshalb wird für beide Vulkangebiete ein Sicherheitsabstand von mindestens 50 km allseitig um die bekannten quartären vulkanischen Bildungen als unbedingt erforderlich betrachtet. Wesentlich weiter ausgedehnt, bis in benachbarte Bundesländer hinein, sind die mit dem Magmatismus verbundenen geodynamischen Prozesse, welche die Anomalien im Erdmantel und an der Erdoberfläche (Abb. 1), sowie die Verbreitung der Mantelgasaustritte bestimmen. Dies ist bei der Planung eines Standortes zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle zusätzlich zu berücksichtigen.

Literatur

- Babuška, V., Plomerová, J., 2010. Mantle lithosphere control of crustal tectonics and magmatism of the western Ohře (Eger) Rift. *Journal of Geosciences* 55, 171–186.
- Babuška, V., Plomerová, J., Vecsey, L., 2010. Links between the structure of the mantle lithosphere and morphology of the Cheb Basin (Eger Rift, central Europe). *International Journal of Earth Sciences* 99, 1535–1544.
- Bartels, A., Rummel, L., May, F., 2020. Dokumentation und Auswertung einer Expertenbefragung zur langfristigen Vorhersage vulkanischer Aktivität in Deutschland. *Bericht BGR, Hannover*, 104 S.
- Berberich, G.M., Berberich, M.B.; Ellison, A.M.; Wöhler, C. 2019. First Identification of Periodic Degassing Rhythms in Three Mineral Springs of the East Eifel Volcanic Field (EEVF, Germany). *Geosciences* 9, 189, doi.org/10.3390/geosciences9040189.
- Bogaard, P., Schmincke, H.-U., 1990. Vulkanologische Karte der Osteifel, 1:25.000, *Pluto Press Witten/Kiel*.
- Bräuer, V., Jentzsch G. 2005: Abgrenzung von Gebieten mit offensichtlich ungünstigen geologischen Verhältnissen. *K MAT 12-09*, 8 S.
- Bräuer, K., Kämpf, H., Niedermann, S., Strauch, G., 2005. Evidence for ascending upper mantle-derived melt beneath the Cheb basin, central Europe. *Geophysical Research Letters* 32 (8), doi.org/10.1029/2004GL022205.
- Bräuer, K., Kämpf, H., Niedermann, S., Strauch, G., Tesar, J., 2008. The natural laboratory NW Bohemia-comprehensive fluid studies between 1992-2005 used to trace geodynamic processes. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 9, doi.org/10.1029/2007GC001921.
- Bräuer, K., Kämpf, H., Niedermann, S., Strauch, G., 2013. Indications for the existence of different magma reservoirs beneath the Eifel area (Germany): A multi-isotope (C, N, He, Ne, Ar) approach. *Chemical Geology* 356, 193-208.
- Büchel, G., Bardon, E., 1994. Vulkanologische Karte West- und Hocheifel 1:50.000. *Institut für Geowissenschaften, Universität Mainz*.

- Buchholz, P., Wendt, S., 2011. Erdbebenschwarm Oktober bis Dezember 2008 im Herdgebiet Nový Kostel. In: Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen, Dreijahresbericht 2007-2009. *Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden*, 16-21.
- Buchholz, P., Funke, S., Korn, M., Wendt, S., 2013. Seismische Aktivität in Mitteldeutschland (Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen) und im regionalen Umfeld. In: Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen, Dreijahresbericht 2010-2012. *Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden*, 4-26.
- BGE (Bundesgesellschaft für Endlagerung), 2020: Methodensteckbrief: Ausschlusskriterium Vulkanismus. <https://www.bge.de/de/endlagersuche/wesentliche-unterlagen/methodik/> Stand: 28. Januar 2020 (zuletzt abgerufen: 21.09.2020).
- Carlé, W. 1975. Die Mineral- und Thermalwasservorkommen von Mitteleuropa. *Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart*, 643 S.
- Dahm, T., Stiller, M., Merchie, J., Heimann, S., Hensch, M., Woith, H., Schmidt, B., Gabriel, G., Weber, M., 2020. Seismological and Geophysical Signatures of the Deep Crustal Magma Systems of the Cenozoic Volcanic Fields Beneath the Eifel, Germany. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 21 (9), e2020GC009062, doi.org/10.1029/2020GC009062.
- Denis, C.M., Demouchy, S., Shaw, C.S., 2013. Evidence of dehydration in peridotites from Eifel Volcanic Field and estimates of the rate of magma ascent. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 258, 85-99.
- Dittrich, D., 2019. Der welthöchste Kaltwasser-Geysir bei Andernach–Aspekte der Geologie, Hydrogeologie und Geotouristik (Exkursionen B1 und B2 am 23. und 27. April 2019). *Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins*, 27-60.
- Fischer, T., Horálek, J., 2000. Refined locations of the swarm earthquakes in the Nový Kostel focal zone and spatial distribution of the January 1997 swarm in Western Bohemia, Czech Republic. *Studia Geophysica et Geodaetica* 44 (2), 210-226.
- Fischer, T., Horálek, J., Hrubcová, P., Vavryčuk, V., Bräuer, K., & Kämpf, H. (2014). Intra-continental earthquake swarms in West-Bohemia and Vogtland: a review. *Tectonophysics* 611, 1-27.
- Geissler, W. H., Kämpf, H., Seifert, W., Dulski, P., 2007. Petrological and seismic studies of the lithosphere in the earthquake swarm region Vogtland/NW Bohemia, central Europe. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 159 (1-3), 33-69.
- Ginibre, C., Wörner, G., Kronz, A., 2004. Structure and dynamics of the Laacher See magma chamber (Eifel, Germany) from major and trace element zoning in sanidine: a cathodoluminescence and electron microprobe study. *Journal of Petrology* 45 (11), 2197-2223.
- Goepel, A., Lonschinski, M., Viereck, L., Büchel, G., Kukowski, N., 2015. Volcano-tectonic structures and CO₂-degassing patterns in the Laacher See basin, Germany. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)* 104, 1483–1495.

- Haase, K.M., Renno, A.D., 2008. Variation of magma generation and mantle sources during continental rifting observed in Cenozoic lavas from Eger Rift, Central Europe. *Chemical Geology* 257, 192-202.
- Harms, E., Schmincke, H.-U., 2000. Volatile composition of the phonolitic Laacher See magma (12,900 yr BP): implications for syn-eruptive degassing of S, F, Cl and H₂O. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 138 (1), 84-98.
- Haviř, J., 2000. Stress analyses in the epicentral area of Nový Kostel (Western Bohemia). *Studia geophysica et geodaetica* 44 (4), 522-536.
- Heuer, B., Geissler, W.H., Kind, R., Kämpf, H., 2006. Seismic evidence for asthenospheric updoming beneath the western Bohemian Massif, central Europe. *Geophysical research letters* 33, L05311, doi:10.1029/2005GL02515.
- Heinicke, J., Koch, U., Krbetschek, M., 1992. Zusammenhänge Zwischen Radonanomalien und Schwarm-Erdbeben im Oberen Vogtland. *Application of Environmental and Artificial Isotopes in Hydrogeology, Hydrology, Glaciology and Environmental Protection* 28 (3-4), 337-348.
- Hemmann, A., Meier, T., Jentzsch, G., Ziegert, A., 2003. Similarity of waveforms and relative relocalisation of the earthquake swarm 1997/1998 near Werdau. *Journal of Geodynamics* 35 (1-2), 191-208.
- Hensch, M., Dahm, T., Ritter, J., Heimann, S., Schmidt, B., Stange, S., Lehmann, K., 2019. Deep low-frequency earthquakes reveal ongoing magmatic recharge beneath Laacher See Volcano (Eifel, Germany). *Geophysical Journal International* 216 (3), 2025-2036.
- Horálek, J., Hampl, F., Boušková, A., Fischer, T., 1996. Seismic regime of the West Bohemian earthquake swarm region: preliminary results. *Studia Geophysica et Geodaetica* 40 (4), 398-412.
- Horálek, J., Fischer, T., Boušková, A., Michálek, J., Hrubcová, P., 2009. The West Bohemian 2008-earthquake swarm: when, where, what size and data. *Studia Geophysica et Geodaetica* 53 (3), 351-358.
- Hošek, J., Valenta, J., Rapprich, V., Hroch, T., Turjaková, V., Tábořík, P., Pokorný, P., 2019. Nově identifikované pleistocenní maary v západních Čechách. *Zprávy o geologických výzkumech* 52, 63-70.
- Hrupcová, P., Geissler, W.H., Bräuer, K., Vavryčuk, V., Tomek, Č., Kämpf, H., 2017. Active Magmatic Underplating in Western Eger Rift, Central Europe. *Tectonic* 36 (12), 2846-2862.
- Jentzsch, G., 2001. Vulkanische Gefährdung in Deutschland - Entwicklung eines Kriteriums zum Ausschluss von Gebieten für die weitere Untersuchung hinsichtlich der Eignung als Standort eines Endlagers für radioaktive Abfälle. *Bericht Friedrich Schiller Universität Jena*, 48 S.
- Kreemer, C., Blewitt, G., Davis, P.M., 2020. Geodetic evidence for a buoyant mantle plume beneath the Eifel volcanic area, NW Europe. *Geophysical Journal International* 222 (2), 1316-1332.

- Kurz, J.H., Jahr, T., Jentzsch, G., 2003. Geodynamic modelling of the recent stress and strain field in the Vogtland swarm earthquake area using the finite-element-method. *Journal of Geodynamics* 35 (1-2), 247-258.
- Leder, J., Wenzel, F., Daniell, J.E., Gottschämmer, E. 2017. Loss of residential buildings in the event of a re-awakening of the Laacher See Volcano (Germany). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 337,111-123.
- Lied, P., Kontny, A., Nowacyk, N., Mrlina, J., Kämpf, H., 2020. Cooling rates of pyroclastic deposits inferred from mineral magnetic investigations: a case study from the Pleistocene Mýtina Maar (Czech Republic). *International Journal of Earth Sciences* 109, 1707–1725.
- Lorenz, V., Suhr, P., Suhr, S., 2017. Phreatomagmatic maar-diatreme volcanoes and their incremental growth: a model. In: Németh, K., Carrasco-Núñez, G., Aranda-Gómez, J. J. & Smith, I. E. M. (eds) 2017. Monogenetic Volcanism. *Geological Society London, Special Publications* 446, 29–59.
- Mathar, J.P., Ritter, J.R., Friederich, W., 2006. Surface waves image the top of the Eifel plume. *Geophysical Journal International* 164 (2), 377-382.
- May, F. 2002^a. Säuerlinge der Vulkaneifel und der Südeifel. *Mainzer Geowissenschaftliche Mitteilungen* 31, 7-58.
- May, F. 2002^b. Quantifizierung des CO₂-Flusses zur Abbildung magmatischer Prozesse im Untergrund der Westeifel. *Shaker Verlag*, 170 S.
- May, F., 2019. Möglichkeiten der Prognose zukünftiger vulkanischer Aktivität in Deutschland. Kurzbericht, BGR Hannover, 87 S.
- May, F., Hoernes, S., Neugebauer, H.J., 1996. Genesis and distribution of mineral waters as a consequence of recent lithospheric dynamics: The Rhenish Massif, Central Europe. *Geologische Rundschau* 85, 782–799.
- Meier, T., Soomro, R.A., Viereck, L., Lebedev, S., Behrmann, J.H., Weidle, C., Cristiano, L., Hanemann, R., 2016. Mesozoic and Cenozoic evolution of the Central European lithosphere. *Tectonophysics* 692, 58-73.
- Mertes, H., Schmincke, H.-U., 1985. Mafic potassic lavas of the Quaternary West Eifel volcanic field. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 89 (4), 330-345.
- Mertz, D.F., Löhnertz, W., Nomade, S., Pereira, A., Prelević, D., Renne, P.R., 2015. Temporal-spatial evolution of low-SiO₂ volcanism in the Pleistocene West Eifel volcanic field (West Germany) and relationship to upwelling asthenosphere. *Journal of Geodynamics* 88, 59-79.
- Michálek, J., Fischer, T., 2013. Source parameters of the swarm earthquakes in West Bohemia/Vogtland. *Geophysical Journal International* 195 (2), 1196-1210.
- Michel, G., Adams, U., Schollmeyer, G. 1998. Mineral- und Heilwässervorkommen in Nordrhein-Westfalen und angrenzenden Gebieten. *GLA Krefeld*, 80S.
- Möller, I., Spickenbom, K., Krüger, M., Seeger, C. 2011. Characteristics of gas bubble streams in shallow waters of Lake Laach, Germany. *Geoökologie* 32, 195-214.

- Mrlina, J., Kämpf, H., Geissler, W.H., van den Bogaard, P., 2007. Assumed Quaternary maar structure at the Czech/German border between Mýtina and Neualbenreuth (western Eger Rift, Central Europe): geophysical, petrochemical and geochronological indications. *Z. geol. Wiss.* 35 (4-5), 213-230.
- Mrlina, J., Kämpf, H., Kroner, C., Mingram, J., Stebich, M., Geissler, W.H., Kallmeyer, J., Matthes, H., Seidl, M., 2009. Discovery of the first Quaternary maar in the Bohemian Massif, Central Europe, based on combined geophysical and geological surveys. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 182 (1-2), 97-112.
- Mrlina, J., Kämpf, H., Poák, V., Seidl, M., 2019. Indikace dvou neznámých kvartérních maarových vulkánů u Libé v západních Čechách na základě gravimetrického průzkumu. *Mineralogie a geologie* 2/2019, 19-23.
- Ollier, C.D., 1967. Maars - their characteristics, varieties and definition. *Bulletin Volcanologique* 31, 45-73.
- Parotidis, M., Rothert, E., Shapiro, S.A. , 2003. Pore-pressure diffusion: A possible triggering mechanism for the earthquake swarms 2000 in Vogtland/NW-Bohemia, central Europe. *Geophysical Research Letters* 30 (20), doi: 10.1029/2003GL018110.
- Plum, H. 1989. Genetische Klassifikation und geochemische Interpretation der Mineral- und Thermalwässer der Eifel und Ardennen. *Mitteilungen zur Ingenieurgeologie und Hydrogeologie* 34 Aachen, 170 S.
- Pfanz, H., Saßmannshausen, F., Wittmann, C., Pfanz, B., Thomalla, A. 2019. Mofette Vegetation as an Indicator for geogenic CO₂ emission: A case study on the banks of the Laacher See Volcano, Vulkaneifel, Germany. *Geofluids* 2019, doi.org/10.1155/2019/9589306.
- Preusser, F., Rufer, D., Schreurs, G., 2011. Direct dating of Quaternary phreatic maar eruptions by luminescence methods. *Geology* 39 (12), 1135-1138.
- Raikes, S., Bonjer, K.P. 1983. Large-scale mantle heterogeneity beneath the Rhenish Massif and its vicinity from teleseismic Residuals measurements. In: Fuchs, K., von Gehlen, K., Mälzer, H., Murawski, H., Semmel, A. (Hrsg.) 1983: *Plateau Uplift*, Springer Verlag, 315-331.
- Riede, F., 2007. Der Ausbruch des Laacher See-Vulkans vor 12.920 Jahren und urgeschichtlicher Kulturwandel am Ende des Alleröd. Eine neue Hypothese zum Ursprung der Bromme-Kultur und des Perstunien. *Mitteilungen der Gesellschaft für Urgeschichte* 16, 25-54.
- Riede, F., Bazely, O., Newton, A.J., Lane, C.S., 2011. A Laacher See-eruption supplement to Tephabase: investigating distal tephra fallout dynamics. *Quaternary International* 246 (1-2), 134-144.
- Ritter, J.R.R., Christensen, U.R. 2007. Mantle Plumes - A Multidisciplinary Approach. *Springer Verlag*, 501 S.

- Ritter, J.R., Achauer, U., Christensen, U.R., Eifel Plume Team, 2000. The teleseismic tomography experiment in the Eifel region, Central Europe: design and first results. *Seismological Research Letters* 71(4), 437-443.
- Rohrmüller, J., Geiß, E., Grossmann, J., Grun, I., Kämpf, H., Mingram, J., Mrlina, J., Nowaczyk, N., Plessen, B., Stebich, M., Veress, C., Wendt, A., 2017. Reconnaissance study of a newly discovered Quaternary maar structure in the western part of the Bohemian Massif near Neualbenreuth, NE-Bavaria (Germany). *International Journal of Earth Sciences* 107 (4), 1381-1405.
- Schmincke, H.U., 2009. Vulkane der Eifel. *Springer Spektrum*, 1. Auflage, 160 S.
- Schmincke, H.-U., Lorenz, V., Seck, H.A., 1983. The quaternary Eifel volcanic fields. In: Fuchs, K., von Gehlen, K., Mälzer, H., Murawski, H., Semmel, A. (Hrsg.). Plateau uplift, the Rhenish Shield – A case History. *Springer, Berlin, Heidelberg*, 139-151.
- Schumacher, R., Schmincke, H.-U., 1991. Internal structure and occurrence of accretionary lapilli — a case study at Laacher See Volcano. *Bulletin of Volcanology* 53, 612-634.
- Špičák, A., Horálek, J., Boušková, A., Tomek, Č., Vaněk, J., 1999. Magma Intrusions and Earthquake Swarm Occurrence in the Western Part of the Bohemian Massif. *Studia Geophysica et Geodaetica* 43 (1), 87-106.
- Špičák, A., Horálek, J., 2001. Possible role of fluids in the process of earthquake swarm generation in the West Bohemia/Vogtland seismoactive region. *Tectonophysics* 336 (1-4), 151-161.
- Špičáková, L., Uličný, D., Koudelková, G., 2000. Tectonosedimentary Evolution of the Cheb Basin (NW Bohemia, Czech Republic) between Late Oligocene and Pliocene: A Preliminary Note. *Studia Geophysica et Geodaetica* 44 (4), 556-580.
- Štěpančíková, P., Fischer, T., Stemberk jr., J., Nováková, L., Hartvich, F., Figueiredo, P.M., 2019. Active tectonics in the Cheb Basin: youngest documented Holocene surface faulting in Central Europe?. *Geomorphology* 327, 472-488.
- Stoffels, M., Thein, J. 2000. Die Mineral- und Heilquellen der Region Brohltal/Laacher See. *Görres-Verlag, Koblenz*, 71 S.
- Ulrych, J., Cajz, V., Pivec, E., Novák, J.K., Nekovařík, Č., Balogh, K., 2000. Cenozoic intraplate alkaline volcanism of Western Bohemia. *Studia Geophysica et Geodaetica* 44, 346-351.
- van den Bogaard, P., 1995. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of sanidine phenocrysts from Laacher See Tephra (12,900 yr BP): Chronostratigraphic and petrological significance. *Earth Science and Planetary Letters* 133 (1-2), 163-174.
- Wagner, G. A., Gögen, K., Jonckheere, R., Kämpf, H., Wagner, I., Woda, C., 2002. Dating of the Quaternary volcanoes Komorní Hůrka (Kammerbühl) and Železná Hůrka (Eisenbühl), Czech Republic, by TL, ESR, alpha-recoil and fission track chronometry. *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften* 30 (3), 191-200.

- Walker, K.T., Bokelmann, G.H.R., Klemperer, S.L., Bock, G., 2005. Shear-wave splitting around the Eifel hotspot: evidence for a mantle upwelling. *Geophysical Journal International* 163 (3), 962-980.
- Walker, K.T., Bokelmann, G.H., Klemperer, S.L., Bock, G., 2007. Seismic anisotropy in the asthenosphere beneath the Eifel region, western Germany. In: Ritter, J.R.R., Christensen, U.R. (Hrsg.). *Mantle plumes*. Springer, Berlin, Heidelberg, 439-464.
- Weinlich, F.H., 2014. Carbon dioxide controlled earthquake distribution pattern in the NW Bohemian swarm earthquake region, western Eger Rift, Czech Republic – gas migration in the crystalline basement. *Geofluids* 14 (2), 143-159.
- Weinlich, F.H., Bräuer, K., Kämpf, H., Strauch, G., Tesař, J., Weise, S.M., 1999. An active subcontinental mantle volatile system in the western Eger rift, Central Europe: Gas flux, isotopic (He, C, and N) and compositional fingerprints. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63 (21), 3653-3671.
- Weinlich, F.H., Bräuer, K., Kämpf, H., Strauch, G., Tesař, J., Weise, S.M. 2003. Geochemie und Verteilung der Quellgase und tektonische Struktur des Eger-Rifts in der Oberpfalz und in Oberfranken, Bayern. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 154 (1), 67-83.
- Weise, S.M., Bräuer, K., Kämpf, H., Strauch, G., Koch, U., 2002. Transport of mantle volatiles through the crust traced by seismically released fluids: a natural experiment in the earthquake swarm area Vogtland/NW Bohemia, Central Europe. *Tectonophysics* 336, 137-150.

Fachliche Position der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands (SGD) zu den Ausschlusskriterien des Standortauswahlgesetzes (StandAG)

Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“ (§ 22 Abs. 2 Nr. 2 StandAG)

07. Oktober 2020

Anlass

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat auf ihrer Internetseite einen Methodensteckbrief zum Ausschlusskriterium „aktive Störungszonen“ veröffentlicht, der sich auf § 22 Abs. 2 Nr. 2 StandAG bezieht (<https://www.bge.de/de/endlagersuche/wesentliche-unterlagen/methodik/>, Stand 24.03.2020). Hierzu wurde vorliegendes Positionspapier erarbeitet und im Anschluss mit den SGD aller Bundesländer abgestimmt.

BGE-Ansatz zum Teil-Ausschlusskriterium Aktive Störungen

Im Standortauswahlgesetz werden aktive Störungszonen wie folgt definiert: *Unter einer „aktiven Störungszone“ werden Brüche in den Gesteinsschichten der oberen Erdkruste wie Verwerfungen mit deutlichem Gesteinsversatz sowie ausgedehnte Zerrüttungszonen mit tektonischer Entstehung [verstanden], an denen nachweislich oder mit großer Wahrscheinlichkeit im Zeitraum Rupel bis heute, also innerhalb der letzten 34 Millionen Jahre, Bewegungen stattgefunden haben. Atektonische 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.* (§ 22 Absatz 2 Nummer 2 StandAG).

Zur Breite des Ausschlussbereiches um potentiell aktive Störungen gibt es Hinweise in der Begründung zum StandAG (Bundestag-Drucksache 18/11398): *Durch das Kriterium werden Gebiete ausgeschlossen, in denen geologisch aktive Störungszonen vorliegen, die die Sicherheit eines Endlagers beeinträchtigen können. Der erforderliche Sicherheitsabstand zu derartigen Störungszonen ist individuell abzuschätzen. Er beträgt in der Regel mindestens einen Kilometer.* (Bundestag-Drucksache 18/11398, S. 68).

Die BGE hat zur Anwendung dieses Ausschlusskriteriums einen Methodensteckbrief sowie diesbezügliche Ergänzungen veröffentlicht, in denen sie vorschlägt, Störungen als aktiv zu klassifizieren, wenn diese in Gesteinseinheiten auftreten, die jünger als 34 Millionen Jahre sind. Im Rahmen der Teilgebietsausweisung findet die Selektion von Störungen auf Grundlage der Geologischen Übersichtskarte Deutschlands (GÜK250) statt. Für die Breite des Ausschlussbereichs

definiert die BGE einen Sicherheitsabstand von 1000 m als Saum um die Störungsspur. *In den späteren Phasen des Standortauswahlverfahrens (Phasen 2 und 3) werden ggf. Ausdehnungen von Zerrüttungszonen einzelner Störungszonen individuell abgeschätzt. Dies kann zu einer Vergrößerung der Ausschlussbereiche im Laufe des weiteren Verfahrens führen.* Sockelstörungen unterhalb von Salinarstrukturen sollen im ersten Schritt nicht zu einem Ausschluss führen. Scheitelstörungen im Deckgebirge oberhalb von Salzstrukturen erfüllen das Ausschlusskriterium. Da sich diese in der Regel nur auf das Deckgebirge und nicht auf die liegende Salzstruktur beziehen, betrifft laut BGE der Ausschluss nicht die im liegenden von Scheitelstörungen befindlichen Salzstrukturen.

Fachliche Position der SGD

Aktive Störungen und ihr Nachweis

Nach §22 Absatz 2 Nummer 2 StandAG gelten nicht nur aktuell seismisch aktive Störungszonen als Ausschlusskriterium, sondern alle Störungen, die in den vergangenen 34 Millionen Jahren „nachweislich oder mit großer Wahrscheinlichkeit“ aktiv waren.

Störungen sind geologische Elemente, an denen ein Versatz der Gesteinseinheiten stattgefunden hat, was oft mit mehr oder weniger weitreichenden Zerrüttungszonen einhergeht.

Die Ausbildung von Störungszonen bzw. Störungen wird vor allem durch die Gesteinseigenschaften, das Spannungsfeld, die Deformationstiefe und die abgelaufene Bewegung bestimmt und kann demzufolge sehr unterschiedlich sein. Dies kann sich in einer Skala von kleinen Diskontinuitäten bis hin zu überregionalen Störungszonen (wie beispielsweise dem Oberrheingraben oder Sockelstörungen im norddeutschen Präsalinar) ausdragen. Von der Ausbildung der Störung (-szone) (unabhängig vom Alter) hängt auch ab, wie gut eine Störungsaktivität nachzuweisen ist. Störungen können mehrfach reaktiviert werden, weswegen im § 22 StandAG für die „Aktivität“ der relativ lange erdgeschichtliche Zeitraum von 34 Ma definiert wurde (neotektonischer Zeitraum). Diese Festlegung bedingt, dass nicht nur messbar aktive Störungszonen nachzuweisen sind. Der Beobachtungszeitraum mit modernen messtechnischen Methoden beträgt ca. 100 Jahre, mit historischen Aufzeichnungen ca. 1000 Jahre sowie unter Zuhilfenahme paläoseismischer Methodik bis wenige 10er tausend Jahre. Unabhängig davon besteht eine Unschärfe in der Zuweisung seismologischer Informationen zu spezifischen Störungszonen.

Für sehr junge bzw. gegenwärtig aktive Störungen kommen verschiedene Messmethoden wie z. B. die Aufzeichnung der seismischen Aktivität, Radar-Interferometrie oder Präzisionsnivellements zum Nachweis in Frage.

Für Störungen, an denen Bewegungen nicht messtechnisch nachweisbar sind (u. a. aufgrund der zeitlichen Nachweisgrenze), müssen andere Nachweismethoden zur Anwendung kommen. Die Nachweistiefe dieser Methoden ist unterschiedlich, weswegen sie im Folgenden entsprechend kategorisiert werden.

Ein eindeutiger Nachweis einer Aktivität innerhalb der letzten 34 Ma kann mit folgenden Befunden erbracht werden:

1. Gesteine, die jünger als 34 Ma sind, wurden versetzt;
2. Magmatite, die jünger als 34 Ma sind, sind in der Störungszone aufgestiegen;
3. zerbrochene oder synkinematische Gangmineralisationen auf Störungsflächen sind auf ein Alter < 34 Ma datiert (z. B. mit radioisotopischen Methoden);

Eine große Wahrscheinlichkeit einer Aktivität innerhalb der letzten 34 Ma kann vermutet werden, wenn:

4. Die Störungszone über einer derzeit seismisch aktiven Zone liegt;
5. die Störung in streichender Verlängerung eines als aktiv datierten Störungssegments liegt;
6. die Störungsorientierung sie als Teil eines struktureologisch plausiblen Deformationsmusters mit den Spannungsfeldern der vergangenen 34 Ma in Beziehung setzt (z. B. alpidische Deformation im Alpenvorland und Neotektonik, Haupteinengungsrichtungen überwiegend 120°–145° NW–SE);
7. die Störung über geomorphologische Indikatoren und Aufschlüsse abgeleitet werden kann und in Gesteinsschichten mit einem Alter kleiner als 34 Ma nachgewiesen wurde („alte“ Störungen (mehrere 100 Ma) können sich aufgrund eines Versatzes von kompetenten Gesteinsschichten älter als 34 Ma gegen weniger kompetente Gesteinsschichten geomorphologisch bemerkbar machen und/oder im Aufschluss nachgewiesen werden, ohne eine Relevanz für die Bewertung der Aktivität der Störung nach StandAG zu haben);
8. die Störung der gesetzmäßig bedingten Halotektonik von Salinarstrukturen zugeordnet werden können.

Als wenig wahrscheinlich innerhalb der letzten 34 Ma bewegt und daher nicht relevant können gelten:

9. Störungen die diskordant und ohne Versatz von Sedimenten überlagert werden, die älter als 34 Ma sind; dagegen können listrische Störungen mit ihrer Flachbahn in scheinbar schichtparallelen Einheiten verlaufen wo ein Versatz nicht offensichtlich ist (der Beleg für die Aktivität bei nicht vorhandener Seismizität sollte im Bereich einer ausgebildeten Störungsrampe erfolgen können). ;
10. Störungen, die nach struktureologischen Kriterien ungünstig in Bezug auf eine mögliche Reaktivierung gegen das alpidische bis rezente Spannungsfeld orientiert sind;
11. Störungen, die mit älter als 34 Ma datierten Mineralisationen verheilt sind.

Unabhängig von der seismischen Aktivität können geologische Störungszonen potenzielle Salzwasseraufstiegsbahnen darstellen. Geophysikalische Verfahren können diese detektieren, jedoch nicht deren gesamten Verlauf nachweisen.

Nicht datierbare Störungen:

Für eine Vielzahl aseismisch aktiver Störungen und/oder Störungen, für die keine direkten Datierungs- oder Nachweismöglichkeiten anwendbar sind, kann jedoch eine Aktivität innerhalb der letzten 34 Ma nicht ausgeschlossen werden. Eine Erfassung durch Rekonstruktion der geologischen Entwicklung wäre möglich und sinnvoll:

- ☐ Die Störung ist mit jungen Sedimenten überdeckt, die entweder in der jüngeren geologischen Vergangenheit keine Aktivität erfahren haben oder keine Störungsaktivität abbilden (z. B.: quartäre Überdeckung wie im Oberrheingraben und wie in Norddeutschland flächenhaft, z. B. im Falle eines Hiatus und damit einhergehender Informationslücke über mögliche Aktivitätsphasen innerhalb der Zeitspanne, welche durch die nicht abgelagerten oder nicht mehr erhaltenen Sedimente repräsentiert wird);
- ☐ Die Störung und die durch sie versetzte Gesteinsformation sind nicht von Gesteinen mit einem jüngeren Alter als 34 Ma bedeckt; ein Versatz im Zeitraum von vor 34 Ma bis heute ist aufgrund des Fehlens dieser jüngeren Gesteine nicht erkennbar.

Sicherheitsabstand um Störungen

Je nach Randbedingungen kann das Umfeld von Störungen sehr verschieden beeinflusst worden sein und die Reichweite von Deformation in das Nebengestein unterschiedlich ausfallen. Einflussgrößen sind dabei u. a. Lithologie oder Versatz. Demzufolge ist um aktive Störungszonen ein entsprechender Sicherheitsabstand zu wählen. In der Begründung zum StandAG ist dazu ausgeführt: *Der erforderliche Sicherheitsabstand zu derartigen Störungszonen ist individuell abzuschätzen. Er beträgt in der Regel mindestens einen Kilometer.* Diese Einschätzung wird im Rahmen einer ersten Phase der Standortauswahl im Grundsatz geteilt, sollte jedoch im Zuge des weiteren Verlaufs des Verfahrens standortspezifisch geprüft werden. Die pauschale Abstandsannahme von einem Kilometer muss prinzipiell nicht nur für den Ausstrich der Störung an der Erdoberfläche ausreichende Sicherheit gewährleisten, sondern der Puffer muss für den Fall, dass der Verlauf der Störung in die Tiefe bekannt ist, entsprechend auf die Oberfläche projiziert werden. Für die meisten Störungen ist jedoch der genaue Verlauf im Untergrund (der Einfallswinkel) nicht bekannt oder kann nur aus Beobachtungen an der Erdoberfläche abgeleitet werden. Ein beidseitiger, vergrößerter Sicherheitsabstand bei Störungen mit unbekanntem Einfallswinkel und Geometrie um den oberirdischen Ausbiss der Störung wird in diesem Fall für sicherheitsgerichtet angemessen erachtet, um typische Einfallswinkel abzubilden. Bei bekannter Einfallswinkel und Geometrie ist ein Sicherheitsabstand dieser vergrößerten Distanz nur in dieser Richtung einzuhalten. Die Lokalisierung von Störungen ausschließlich über seismische Aktivität kann mit größeren Unsicherheiten behaftet sein, weswegen hier ein größerer Sicherheitsabstand notwendig sein kann. Zur genauen Abschätzung ist stets eine Einzelfallbetrachtung vorzunehmen.

Position der SGD zur Anwendung des Kriteriums „Aktive Störungen“ für die Abgrenzung der Teilgebiete

- ☐ Die vorgesehene Klassifizierung der Störungszonen in „aktiv, inaktiv oder unbekannt“ ist nachvollziehbar. Da dieses Ausschlusskriterium im Verlaufe der Standortsuche bestehen bleibt und weiter angewendet werden muss, können derzeit als „unbekannt“ klassifizierte Störungen in den späteren Phasen noch bewertet werden. Dafür sind die in diesem Positionspapier dargestellten wissenschaftlichen Ansätze und Methoden zu berücksichtigen.
- ☐ Es bedarf einer eigenen fachlichen Bewertung durch die BGE (auch im Sinne des Gesetzgebers), eine Übernahme der von Geologischen Diensten vorgenommenen

Klassifizierungen oder des Störungsinventars der GÜK250 genügen nicht den Ansprüchen an die Anwendung der Kriterien.

-  Die Vorgehensweise, Störungen nur als aktiv zu klassifizieren, wenn diese in Gesteinseinheiten auftreten, die jünger als 34 Millionen Jahre sind, entspricht nicht den Vorgaben des Gesetzestextes. Dem Gesetz nach geht es um die Aktivität der letzten 34 Ma (Zeitspanne). Mit der angezeigten Vorgehensweise werden nur Gebiete extrahiert, in denen Gesteinsschichten tertiären oder jüngeren Alters auch tatsächlich anstehen und mit seismischen Methoden erfasst werden konnten. Die gesamte geotektonische Aktivität seit dem Rupel und die rezente Aktivität wird damit nicht erfasst. Entsprechend sind sowohl kartierte Störungen und Störungszonen als auch messmethodisch (z. B. seismisch) nachgewiesene Störungen zu berücksichtigen, die in den letzten 34 Ma nachweislich aktiv waren (Fälle 1 bis 3). Da Störungen mehrfach reaktiviert werden können, kann unter konservativen Gesichtspunkten auch in den Fällen 4-8 von einer zukünftigen Aktivität und damit einer direkten Gefährdung für das Endlager oder die Barrieren ausgegangen werden. Die Aktivität ist plausibel und durch Expertenwissen fachlich begründet darzustellen und mit dem entsprechenden Sicherheitsabstand zu berücksichtigen. Sind tertiäre Einheiten lückenhaft verbreitet, kann über indirekte Verfahren eine qualitative Aussage zur Aktivität dieser Störungen gemacht werden. Dies setzt eine Einzelfallbetrachtung voraus (im Falle nicht datierbarer Störungen).
-  Die BGE sieht vor, „auf Grundlage der Geologischen Übersichtskarte Deutschlands (GÜK250) alle Störungen zu selektieren, die Gesteinseinheiten mit einem Maximalalter von 34 Millionen Jahren versetzen“. Eine Ableitung des Störungsinventars aus geologischen Karten, die beispielsweise im Norddeutschen Becken im Wesentlichen die Lockersedimente des Quartärs und holozäne Schichten erfassen, ist nicht möglich. Im Quartär sind rezente atektonische (glazial bedingte) oder tektonische Störungen nicht ausgeschlossen, wurden jedoch bisher noch nicht ausreichend identifiziert und belegt.
-  Die Methodik im Umgang mit aktiven Scheitelstörungen oberhalb von Salzstrukturen sollte überarbeitet und deren Umsetzung in der ersten Phase zurückgestellt werden bzw. in einer späteren Phase der Standortsuche (Einzelfallbetrachtung) erfolgen. Es gilt dann zu differenzieren zwischen tektonischen Bewegungen an Störungen im postsalinaren Deckgebirge aufgrund des Salzaufstiegs und aufgrund von tektonischen Bewegungen an Sockelstörungen und zu erkennen, ob und welchen Einfluss Scheitelstörungen auf das Endlagersystem und seine Barrieren haben können.
-  Dem Vorschlag der BGE, dass Sockelstörungen im jetzigen Verfahrensschritt, in dem noch keine Einzelfallprüfungen stattfinden, nicht zu einem Ausschluss überlagernder Gebirgsbereiche führen, kann gefolgt werden.
-  Dem Vorschlag der BGE hinsichtlich der Breite des Ausschlussbereichs hierfür den in der Begründung des StandAG genannten Sicherheitsabstand von 1000 m als Saum um die Störungsspur zu verwenden, kann nur in einem ersten Schritt gefolgt werden. Da es hier um einen Mindestabstand geht, ist für spätere Phasen der Standortsuche die tatsächliche Breite der Zerrüttungszone unbedingt zu berücksichtigen und zu aktualisieren. Im Falle, dass Tiefenverlauf und Art der Zerrüttung unbekannt sind, ist der Sicherheitsabstand entsprechend zu vergrößern.

Verweise:

Entwurf eines Gesetzes zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetze, Bundestag-Drucksache 18/11398

Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz - StandAG) vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2510) geändert worden ist.

BGE-Methodensteckbrief Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“, BGE-Geschäftszeichen: SG02101/27/7-2020#7 | Objekt-ID: 758630 | Stand: 24.03.2020,
https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Methodensteckbriefe_fuer_Forum/20200325_Endfassung_Steckbrief_Stoerungen.pdf

Ergänzungen zum Steckbrief für das Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“, BGE-Geschäftszeichen: SG02101/27/7-2020#7 | Stand: 29.04.2020,
https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Methodensteckbriefe_fuer_Forum/20200430_Endfassung_-_Ergaenzung_Steckbrief_Aktive_Stoerungszonen.pdf

**Fachliche Position der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands (SGD)
zu den Ausschlusskriterien des Standortauswahlgesetzes (StandAG)**

**Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit –
Bohrungen“ (§ 22 Abs. 2 Nr. 3 StandAG)**

07. Oktober 2020

Anlass

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat auf ihrer Internetseite einen Methodensteckbrief zum Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit – Bohrungen“ veröffentlicht, der sich auf § 22 Abs. 2 Nr. 3 StandAG bezieht (<https://www.bge.de/de/endlagersuche/wesentliche-unterlagen/methodik/>, Stand 18.11.2010). Hierzu wurde vorliegendes Positionspapier erarbeitet und im Anschluss mit den SGD aller Bundesländer abgestimmt.

BGE-Ansatz zum Teil-Ausschlusskriterium Bohrungen

Gemäß o. g. Methodensteckbrief „Teil-Ausschlusskriterium Bohrungen“, Stand 18.11.2010, plant die BGE „... alle Bohrungen, die eine Teufe von mehr als 300 Meter [Anm.: aktualisiert nach Online-Konsultation 276 m] erreichen, mit einem Radius von 25 Meter um den gesamten Bohrfad auszuschließen. Dieser Ausschlussradius soll neben dem direkt aufgebohrten Bereich und dem geschädigten Einwirkungsbereich um das Bohrloch auch die Lageungenauigkeit der Bohrung im Untergrund berücksichtigen. Die Lageungenauigkeit setzt sich aus Koordinatenungenauigkeiten des Bohransatzpunktes und der unterschiedlichen Qualität der Ablenkmessungen des Bohrfades zusammen. Diese 25 Meter sind eine erste Abschätzung über mögliche Abweichungen des Bohrfades zum idealen Verlauf inklusive dem Schädigungsbereich um eine Bohrung. [...]

Im weiteren Verlauf des Verfahrens, nach der Veröffentlichung des Zwischenberichts Teilgebiete, wird eine genauere Betrachtung von Bohrungen vorgenommen, die in den Teilgebieten liegen. In diesen Fällen muss u. a. die Nutzung der Bohrungen genauer betrachtet werden. Je nach Nutzungsart der Bohrungen können [...] auch wesentlich weiträumigere Gebirgsschädigungen um den Bohrfad entstanden sein. Das auszuschließende Volumen um den Bohrfad würde sich dann entsprechend vergrößern.“

Fachliche Position der SGD

Die Vorgehensweise der BGE, das Teil-Ausschlusskriterium Bohrungen in einem ersten Schritt mit pauschalem Ausschlussradius und in einem zweiten Schritt mit genauerer Einzelfallbetrachtung der Bohrungen und deren Nutzung anzuwenden, ist angesichts der Vielzahl an Tiefbohrungen nachvollziehbar und erscheint aus fachlicher Sicht vertretbar.

Pauschaler Ausschlussradius im ersten Verfahrensschritt

Der von der BGE vorgeschlagene Ansatz, zunächst in der ersten Phase der Standortsuche Gebiete mit einem pauschalen Radius von 25 m um den Bohrfad auszuschließen, erscheint nur dann sinnvoll, wenn die korrekte Lage des Bohransatzpunktes und des Bohrlochverlaufs bekannt sind. Dabei ist der gewählte Ausschlussradius von 25 m aus fachlicher Sicht vertretbar, um die unmittelbar durch die Bohrtätigkeit geschädigten Bereiche entlang bekannter Bohrpfade im Rahmen der Messungenauigkeiten auszuschließen. Der Betrag von 25 m wird allerdings nicht nachvollziehbar begründet. Für Bohrungen mit unbekanntem Bohrfad ist ein pauschaler Radius von 25 m um den Bohransatzpunkt zu klein ausgelegt, da ausgehend von bekannten Bohrlochverlaufsmessungen bei Bohrungen mit mehr als 300 m Tiefe mit größeren Abweichungen zu rechnen ist. Auch für Bohrungen mit Lageungenauigkeiten ist ein Ausschlussradius von 25 m kritisch zu sehen.

Ausschlussradius im weiteren Verfahrensablauf

Darüber hinaus ist es unbedingt erforderlich, wie von der BGE vorgeschlagen, im weiteren Verlauf des Verfahrens eine Einzelfallbetrachtung vorzunehmen. Dabei sind für die Festlegung der einzelnen Ausschlussbereiche alle verfügbaren Daten, die bekannten Prozesse und die Unsicherheiten angemessen zu berücksichtigen. Die Kriterien für diese Einzelfallbetrachtung sind von der BGE zu erarbeiten und liegen den SGD derzeit noch nicht vor. Zu den aus Sicht der SGD wichtigsten Punkten, die dabei zu beachten sind, gehören:

1. **Unbekannter oder nicht genau bekannter Bohrfad.** Zu einem gewissen Anteil der Bohrungen liegen keine Bohrlochverlaufsmessungen vor. In Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Sachsen trifft dies beispielweise auf etwa ein Viertel bis ein Drittel der Bohrungen mit mehr als 300 m Tiefe zu. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Bohrungen aus einem Zeitraum von mehr als 200 Jahren stammen. Je nach Alter und Art der Bohrung sowie Bohrungsziel können Abweichungen entweder bewusst gesteuert worden oder, insbesondere bei älteren Bohrungen, geologisch beziehungsweise technisch bedingt unbeabsichtigt aufgetreten und gegebenenfalls unerkannt geblieben sein. Bei den älteren Bohrungen sind zwar in der Regel keine großen, gezielten lateralen Bohrpfade zu erwarten, die unbeabsichtigten und womöglich unerkannten Abweichungen können bei Bohrungen mit mehr als 300 m Tiefe einen Radius von 25 m jedoch wesentlich überschreiten. Darüber hinaus gibt es insbesondere bei älteren Bohrungen mit Bohrlochverlaufsmessung keine Garantie, dass sie exakt vermessen worden sind. Es ist zu erwarten, dass die Abweichungen von der Lotrechten und auch die Fehlerbreite älterer Messungen mit zunehmender Länge des Bohrpfades größer werden.
Die SGD empfehlen daher, bei unbekanntem oder nicht genau bekanntem Bohrlochverlauf einen größeren, sich an den Auswertungen bekannter Bohrlochverlaufsmessungen orientierenden, individuellen Ausschlussradius zu wählen.
2. **Lageungenauigkeit von Bohrungen.** Eine 2019 in Niedersachsen durchgeführte detaillierte Analyse in aktuellen Erdöl- und Erdgasfeldern hatte ergeben, dass bei etwa drei Prozent der Bohrungen der Abstand zwischen den realen Bohransatzpunkten von Förderbohrungen und denen in der Kohlenwasserstoff-Datenbank mehr als 10 m und bis zu etwa 50 m betrug. Die

Daten wurden in der Datenbank korrigiert und in dieser Form der BGE übergeben. Es muss davon ausgegangen werden, dass insbesondere bei älteren Explorationsbohrungen Lageungenauigkeiten in der angegebenen Größenordnung nicht nur eine Ausnahme darstellen und im Wert möglicherweise sogar noch überschritten werden.

Die SGD empfehlen daher, bei Bohrungen ohne Beleg über eine markscheiderische Einmessung einen größeren Ausschlussradius zu wählen.

3. **Durchgeführte Operationen während der Bohrung und gegebenenfalls während der Nutzung der Bohrung in Verbindung mit den geologischen Verhältnissen.** Insgesamt werden sechs verschiedene Arten der „Schädigung“ von Formationen unterschieden, die zu sogenannten „Zerrüttungszonen“ führen können: (1) physiko-chemische, (2) chemische, (3) biologische, (4) hydrodynamische, (5) thermische Schädigungen (Interaktionen poröser Formation, Partikeln und Fluid) sowie (6) mechanische Deformationen unter Gesteinsspannung und Fluidscherung (Hossain & Islam, 2018). Solche Schädigungen können durch den Bohrvorgang sowie gegebenenfalls durch die nach Erreichen der entsprechenden Zielhorizonte durchgeführten hydraulischen Tests, die Produktion, die hydraulische Stimulation und andere Stimulationsmaßnahmen verursacht worden sein. Die beeinflussten Zonen können sich abhängig vom umliegenden Gestein, den Trennflächeneigenschaften und dem Spannungsfeld sehr unterschiedlich weit um den Bohrfad erstrecken. Da die Bohrverfahren einem ständigen technischen Wandel unterliegen, ist zu erwarten, dass Ausmaß und Art der Zerrüttungszonen gerade bei älteren Bohrungen weder bekannt sind noch beherrschbar oder vermeidbar waren. Es ist zu vermuten, dass bei älteren Bohrungen auch ohne Stimulationsprozesse weitreichendere Schädigungen des anstehenden Gesteins aufgetreten sind als bei modernen Bohrungen. Kohlenwasserstoff-Bohrungen, die durch Tests, Förderung und Stimulation beeinträchtigt wurden, beschränken sich in der Regel auf „fündige Bohrungen“ und dort vorwiegend auf die porösen Speicherhorizonte. Die Komplexität solcher Prozesse wird hier nur exemplarisch skizziert:

- a. Bei jeder Bohrung in den endlagerrelevanten Bereich können natürliche Anisotropieflächen angebohrt werden, beispielsweise geohydraulisch aktive Trennflächengefüge, über die Fluide aus der Bohrung ins Gestein eindringen und sich ausbreiten können. Bei chemisch nicht inerten Gesteinen ist es möglich, dass Fluide eindringen, die nicht im chemischen Gleichgewicht mit dem Gestein stehen. Diese können die natürliche Permeabilität des Gebirges durch Alteration und/oder Lösungsprozesse dauerhaft verändern. Beide Prozesse können sich auf einen Bereich deutlich größer als 25 m um den Bohrfad auswirken. Bei Bohrungen in den endlagerrelevanten Bereich kann es zu Kavernenbildungen z.B. durch nicht exakt konditionierte Bohrspülungen gekommen sein (so des Öfteren in der Kreide zu beobachten). Eventuelle Auswirkungen dieser Kavernenbildung über den Radius von 25 m hinaus sind zu betrachten.
- b. Durch lokale Veränderung des Stressfeldes im Bereich der Bohrung kann es zu Bohrlochrandausbrüchen und Dehnungsfrakturen kommen (Nguyen et al. 2004), die eine Ablenkung der Bohrung, verkantete Rohre oder den Verlust von Bohrspülung zur Folge haben können (Abdideh & Fathbadi 2013). Dabei orientieren sich die Schädigungsbereiche an den vorherrschenden Stressrichtungen: Die Achse der Bohrlochrandausbrüche ist entlang des minimalen horizontalen Stresses orientiert, wohingegen Dehnungsfrakturen entlang des maximalen horizontalen Stresses entstehen (Tingay 2008). Auch eine Veränderung der Gesteinseigenschaften kann solche Prozesse begünstigen. Hierzu zählen vor allem die mineralische

Zusammensetzung sowie der Zementationsgrad der einzelnen Körner (Braun 2020).

Die Unsicherheiten hinsichtlich der Einschätzung möglicher Schädigungen des durchbohrten Gesteins sind groß. Ein einheitlicher Ausschlussradius um alle Bohrungen wird solchen Prozessen nicht in angemessener Weise fachlich gerecht.

Die SGD empfehlen daher, eine standort- und gesteinsabhängige Prüfung unter Einbeziehung aller relevanten Prozesse und Daten durchzuführen. Sollte das nicht in ausreichender beziehungsweise angemessener Weise für jede Bohrung möglich sein, könnte mit einem deutlich größeren, pauschalierten Ausschlussvolumen um den Bohrfad im Sinne eines Unsicherheitsfaktors gearbeitet werden, der auch die geologischen Verhältnisse, die Nutzungsart, das Alter und Ziel der Bohrung berücksichtigt.

Zitierte Literatur

Abdideh, M., Fathbadi, M. R. (2013): Analysis of stress field and determination of safe mud window in borehole drilling (case study: SW Iran). *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology* 3, 105-110

Braun, R. (2020): Critical Borehole Orientations – Rock Mechanics Aspects – OIL GAS European Magazine, 2/2020. S. 75-79.

Hossain, M. E., Islam, M. R. (2018): *Drilling Engineering – Problems And Solutions: A Field Guide for Engineers and Students*. John Wiley & Sons. S. 1-627.

Nguyen Binh, T., Tomochica, T., Akihiko, O. (2004): In situ stress and pore pressure fields in the North Cuu Long Basin, Offshore Vietnam – SPE. 87055.

Tingay, M., Reinecker, J., Müller, B. (2008): Borehole breakout and drilling-induced fracture analysis from image logs – World stress map project. *Guidelines: image logs*, S. 1-8

Herrn Steffen Kanitz
Mitglied der Geschäftsführung
Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)
Eschenstraße 55
31224 Peine

Adolph-Roemer-Straße 2A
38678 Clausthal-Zellerfeld

Telefon: 05323-72-
Fax: 05323-72-99-
E-Mail: @tu-clausthal.de
Web: www.endlagerforschung.de

Datum: 16.10.2020

Zwischenbericht Teilgebiete

Sehr geehrter Herr Kanitz,

im Namen der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF) danken wir Ihnen und Ihrem Team herzlich für die schnelle Bereitschaft, uns die Hintergründe zum Zwischenbericht Teilgebiete in einem ausführlichen Gespräch darzulegen, für die personalintensive und sorgfältige Vorbereitung und Gestaltung dieses Gesprächs und die offene Diskussion am 5.10.2020. Die Mitglieder der DAEF sind beeindruckt von der Arbeit der BGE, der es gelungen ist, sehr umfangreiches Datenmaterial trotz der derzeit erschwerten Arbeitsbedingungen in der Pandemie termingerecht zu verarbeiten und im Zwischenbericht Teilgebiete zusammenzuführen.

Wie bereits am 5.10. deutlich wurde, stellen sich unseren Mitgliedern eine Reihe von Fragen, die naturgemäß im Gespräch nicht vollständig beantwortet werden konnten. Einige dieser Fragen entstanden durch die Beschäftigung von DAEF-Mitgliedern mit der Unterlage „§ 36 Salzstock Gorleben Zusammenfassung existierender Studien und Ergebnisse gemäß §§ 22 bis 24 StandAG im Rahmen der Ermittlung von Teilgebieten gemäß § 13 StandAG“. Bekanntlich ist Gorleben der „Elefant im Raum“ (Tiggemann), wie auch jetzt an den Reaktionen in Politik, Medien und interessierter Öffentlichkeit auf das Ausscheiden des Standorts aus dem Verfahren zu erkennen ist. Es geht uns jedoch nicht um diesen Standort, sondern um das Verfahren selbst. Auf dem Weg zum „Standort mit der bestmöglichen Sicherheit“ (Standortauswahlgesetz) ist es wahrscheinlich, dass Gorleben-Rambow im Laufe des Verfahrens ausscheidet. Jedoch ist es wichtig, dass dies nachvollziehbar aus den richtigen Gründen in einem wissenschaftsbasierten Prozess geschieht.

Im Nachgang zum Gespräch am 5.10. sind wir beim Studium weiterer Dokumente und im Austausch unserer Mitglieder noch auf andere Problemkreise aufmerksam geworden. Alle diese Problemkreise legen wir nachfolgend im Überblick dar. Die Zusammenstellung erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit. Die Mitglieder der DAEF haben sich beim Studium der Unterlagen auf die Anwendung der Abwägungskriterien nach Standortauswahlgesetz (StandAG) konzentriert, konnten jedoch keinen umfassenden Review durchführen.

Die **Aggregation von Indikatoren zur Bewertung von Abwägungskriterien und schließlich zur Einschätzung der geologischen Gesamtsituation** stellt eine besondere Herausforderung dar, da im Bericht der Endlagerkommission und im StandAG nicht hinreichend klar ausgeführt wird, wie vorzugehen ist. Die Abwägungskriterien haben je nach Wirtsgestein, Sicherheitskonzept und Endlagerkonzept unterschiedliche Bedeutung und unterschiedliches Gewicht, sind ggf. sogar inkommensurabel (nicht vergleichbar). So besitzen die hydrochemischen Bedingungen und die Rückhalteeigenschaften des Gesteins im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG) im Wirtsgestein Steinsalz (geringes bis kein Wasservorkommen) im Vergleich zu anderen Wirtsgesteinen (zu unterstellender signifikanter Wasserzutritt zu den Einlagerungsbereichen) eine deutlich unterschiedliche Relevanz. Weiterhin sind die pH-Werte, die im Referenzdatensatz für Steinsalzformationen genannt werden, zu diskutieren. Gemessene pH-Werte in hochsalinaren Lösungen sind nicht mit den in verdünnten Grund- und Porenwässern bestimmten zu vergleichen, sondern erfordern eine vertiefte Interpretation, um geochemisch bedeutsame Daten zu erhalten.

Auch wenn vorläufige Sicherheitsuntersuchungen als Mittel zur wirtsgesteins- und konzeptabhängigen Einordnung der Abwägungskriterien im StandAG für die Ermittlung der Teilgebiete noch nicht gefordert werden, gilt es doch, den Konzeptbezug zur Ermittlung einer für die Endlagersicherheit günstigen geologischen Gesamtsituation herzustellen (vgl. hierzu auch das Schreiben des damaligen BfE, heute: BASE, zur „Bearbeitungsmethodik für die Ermittlung der Teilgebiete nach § 13 StandAG“ vom 12.11.2019, <https://www.endlagersuche-infoplattform.de>). Der Bezug zum Endlagerkonzept, der nach unserer Auffassung erst einmal nur die ungefähre Lage eines ewG umfassen müsste, ist im vorliegenden Bericht nicht ausreichend erkennbar.

Die Methodik zur Abwägung ist nach Auffassung der Mitglieder der DAEF so wichtig, dass die derzeit vorgenommene über mehrere Unterlagen verteilte Darlegung (Zwischenbericht, „Teilgebiete und Anwendung“, „Arbeitshilfe“ sowie zur verbalargumentativen Zusammenführung im Bericht zum jeweiligen Teilgebiet) nicht angemessen erscheint. Wir empfehlen daher eine knappe synthetisierende Darstellung in einem Dokument, das sowohl die Wege von den Indikatoren zu den Bewertungen der einzelnen Kriterien als auch die Grundsätze der verbalargumentativen Zusammenführung zu einem Gesamturteil und die zentralen Begründungen hierzu enthält. Letztere müssten sich nach unserer Meinung an den Grundätzen des oben zitierten Schreibens des BfE orientieren.

Aufgrund der Datenlage wurden durch die BGE für eine Vielzahl von Abwägungskriterien (Steinsalz in steiler Lagerung: 8, kristallines Wirtsgestein: 9, Tongestein und stratiformes Steinsalz: 7, vgl. Tabelle 2 in „Teilgebiete und Anwendung. Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG (Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete)“) so genannte **Referenzdatensätze**, also pro Wirtsgestein einheitliche Bewertungen, verwendet. Dabei ist ausgeführt, dass den gebietsspezifisch bewerteten Kriterien im Vergleich zu den mit Referenzdatensätzen bewerteten Kriterien in der jetzigen Phase des Standortauswahlverfahrens eine besondere Bedeutung zukäme. Die Mitglieder der DAEF hegen jedoch ernsthafte Zweifel daran, dass eine alleinige Abwägung bzgl. der verbleibenden 3, 2 bzw. 4 jeweils mit gebietsspezifischen Daten bewerteten Abwägungskriterien zu einem belastbaren Urteil führen kann, ob eine günstige geologische Gesamtsituation vorliegt. In der Begründung zu § 24 Absatz 1 des StandAG wird zudem explizit darauf hingewiesen, dass ein einzelnes Abwägungskriterium nicht hinreichend für eine solche Aussage ist. Auch das Rechtsgutachten von Gaßner *et al.* „Standortauswahl: Zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien, Teil 1. Handreichung im Auftrag BGE mbH“ weist in diese Richtung. Die Gefahr, eigentlich günstige Teilgebiete frühzeitig auszuschließen, erscheint gegeben. Es ist zu fragen, ob entweder doch weitere individuelle Informationen bei den mit

Referenzdatensätzen bewerteten Kriterien zur Bewertung herangezogen werden können, oder aber, ob das StandAG in dieser Phase auch einen Verzicht auf die Anwendung von Abwägungskriterien zulässt, sofern diese sich in dieser Phase noch nicht als praktikabel anwendbar erweisen. In jedem Fall halten wir vor diesem Hintergrund Einschätzungen der Form „liegt eine / keine günstige geologische Gesamtsituation vor“ für irreführend und empfehlen eine Kommunikation, die die geschilderten Sachverhalte widerspiegelt.

Hinsichtlich der **Zusammenführung von Indikatoren zur Bewertung** der einzelnen Kriterien ist der Unterlage „Teilgebiete und Anwendung - Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG“ zu entnehmen, dass für alle individuell bewerteten Kriterien der jeweils schlechteste für das betreffende Wirtsgestein berücksichtigte Indikatorwert ausschlaggebend ist. Es sind jedoch auch andere Präferenzen möglich (vgl. etwa das FuE-Vorhaben RESUS oder die Abwägungsmethodik der Nagra in der zweiten Etappe des Schweizer Standortauswahlverfahrens). Das Zusammenführen unterschiedlicher Präferenzen zu einer sinnvollen kollektiven Entscheidung ist formal nicht möglich (Arrow-Theorem) – um so wichtiger ist es, die verwendeten Präferenzen sicherheitstechnisch gut zu begründen und die Sensitivität des Ergebnisses gegen die Wahl unterschiedlicher Präferenzen zu testen. Letzteres ist nicht geschehen, und auch die jeweiligen Begründungen für die Präferenz „der schlechteste Indikatorwert ist ausschlaggebend“ sind kaum nachzuvollziehen: Weder die Argumentation „früh erkennbares Merkmal [...] und ist insbesondere zum jetzigen Zeitpunkt [...] von besonderer Bedeutung“ (Indikatoren nach Anlage 2 StandAG), „meistens gleich bewertet“ (Anlagen 3 und 4, jeweils für Tongestein und stratiformes Steinsalz) noch „mit gleichem Maßstab betrachtet“ (Anlage 4, Tongestein und stratiformes Steinsalz sowie Anlage 11, Steinsalz in steiler Lagerung) erscheinen schlüssig. Nach unserem Verständnis besteht hier Erklärungsbedarf (stark verkürzte Argumentation). Möglicherweise gibt es auch Defizite in der Methodik.

Dies gilt ebenso für zumindest einige der verbalargumentativen Begründungen zur Zusammenführung der Abwägungskriterien zu einem Gesamturteil. So kann die nachfolgend zitierte Begründung sicherheitstechnisch nicht überzeugen:

„Aufgrund der geringen Tiefe des Strukturtops wird die ungünstige Bewertung des Deckgebirges stärker gewichtet. Aus diesem Grund ist nur eingeschränkt damit zu rechnen, dass ein geeigneter einschlusswirksamer Gebirgsbereich gefunden werden kann. Daher erfolgt nach Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien die zusammenfassende Bewertung des identifizierten Gebietes mit „nicht günstig.“ (Anlage 1B, Teilgebiet 020_00IG_S_s_z). Ganz ähnlich wurde für die Teilgebiete 009_00IG_S_s_z, 011_00IG_S_s_z, 015_00IG_S_s_z, 016_00IG_S_s_z sowie 026_00IG_S_s_z verfahren: Diese wurden für die Kriterien nach Anlagen 2 und 3 als „günstig“ eingestuft, die Bewertung „ungünstig“ bzw. „bedingt günstig“ für das Kriterium nach Anlage 11 führte zur zusammenfassenden Bewertung „nicht günstig“.

Hinzu kommt im zitierten Fall – wie für alle Teilgebiete mit Steinsalz in steiler Lagerung – eine **Verwendung der Begriffe „Deckgebirge“ und „Überdeckung“**, die sich nach unserer Auffassung so nicht aus dem StandAG ergibt, jedoch für den Entscheid essentiell ist:

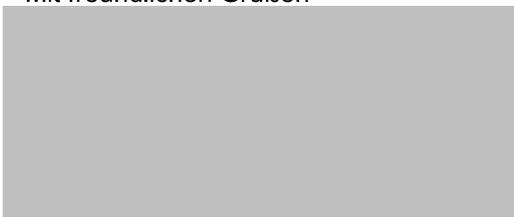
Laut StandAG gehören zum Deckgebirge alle Schichten oberhalb des ewG (in der Regel also auch Teile des Wirtsgesteins), das Verzeichnis der Indikatoren in Anlage 11 fragt dann nach dem Vorhandensein und ggf. der Qualität einer (ansonsten nicht weiter definierten) Überdeckung *im Deckgebirge*, insbesondere nach deren Eigenschaften: Ist sie grundwasserhemmend, erosionshemmend, mächtig, geschlossen? Dieses Kriterium wurde durch die BGE aber ausschließlich auf Überdeckungen oberhalb des Wirtsgesteins angewendet, nicht jedoch für Überdeckungen des ewG im Wirtsgestein. Im Gespräch am 5.10. hatten Sie eine Definition des

Begriffs „Überdeckung“ angekündigt. Über die Frage der Definition hinaus stellt sich für die Mitglieder der DAEF auch die Frage nach deren Begründung – sowohl aus juristischer als auch aus sicherheitstechnischer Sicht: In wie weit wurde vom StandAG abgewichen, und mit welcher Begründung? Ist die Entscheidung sicherheitstechnisch sinnvoll angesichts des Umstands, dass Überdeckungen im Wirtsgestein im Allgemeinen in der Tendenz (deutlich) langzeitstabiler als solche oberhalb des Wirtsgesteins sein dürften? Die Beantwortung dieser Fragen ist zentral, weil in allen oben genannten Teilgebieten letztlich allein dieses Kriterium entscheidungsrelevant war. Die einschlägigen Passagen aus der „Arbeitshilfe“ haben uns bislang nicht überzeugt. Insbesondere wird in der auf S. 126 zitierten Unterlage (Beushausen 2020) auf S. 27 darauf hingewiesen, dass die „Formulierung „grundwasserhemmend“ für alle Gesteinstypen mit geringer Gebirgsdurchlässigkeit angewandt werden“ soll. Die an anderer Stelle der Arbeitshilfe (S. 127) gegebene Anmerkung, dass aufgrund der Wasserlöslichkeit von Steinsalz für dieses Wirtsgestein abweichend vorgegangen wird, halten wir für damit nicht konsistent und wegen der Natur der hier relevanten Subrosionsvorgänge sicherheitstechnisch für nicht überzeugend.

Weiterhin sind wir auch nicht davon überzeugt, dass eine **Oberfläche der Wirtsgesteinsformation im Quartär** *per se* als sicherheitstechnisch „ungünstig“ zu werten ist (Abbildungen 28, 29 der „Arbeitshilfe“), da dies auch ein Hinweis auf eine besonders mächtige Barriere in der potentiellen Wirtsgesteinsformation sein kann. Überraschend ist in diesem Zusammenhang zudem, dass für kristallines Wirtsgestein z. B. für das Teilgebiet 012_01TG_198_01IG_K_g_RHE trotz einer ungünstigen Bewertung des Kriteriums nach Anlage 11 (aufgrund des Anstehens des Wirtsgesteins an der Geländeoberkante) von einer grundwasser- und erosionshemmenden Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch Teile des Wirtsgesteins ausgegangen und auf eine günstige geologische Gesamtsituation geschlossen wird. Diese Schlussweise erscheint uns nicht konsistent mit derjenigen, die für Salz in steiler Lagerung angewendet wird. Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich eine adäquate Anwendung des Kriteriums nach Anlage 11 auf eine zumindest ungefähre Festlegung der Teufe des potentiellen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs bzw. Einlagerungsbereichs stützen müsste.

Die DAEF stellt diese Fragen, weil sie sich der Glaubwürdigkeit des Verfahrens verpflichtet fühlt, wie bereits unsere Veröffentlichungen von 2014 und 2016 belegen (www.endlagerforschung.de). Das Standortauswahlverfahren soll wissenschaftsbasiert sein. Wissenschaft lebt vom Diskurs, auch ein wissenschaftsbasiertes Verfahren wird vom Diskurs vorangetrieben werden und nicht nur eindeutige Antworten liefern – der im StandAG verwendete Begriff „Abwägungskriterien“ belegt dies in aller Deutlichkeit. Angesichts der noch zu erwartenden Konflikte im Auswahlverfahren (einschließlich Expertendissens) halten wir es für wichtig und werben dafür, dass dieses Verständnis von Wissenschaft und ihrer Rolle im Verfahren von Anfang an berücksichtigt und gut kommuniziert wird. Wir möchten zum Diskurs und damit zur Qualität beitragen, mithin dem Anspruch eines im StandAG verankerten „lernenden Verfahrens“ entsprechen. Wir würden uns daher freuen, wenn die BGE zu den oben angesprochenen und zu anderen Fragen mit uns im Gespräch bleibt.

Mit freundlichen Grüßen



(Vorsitzender der DAEF)



(stellvertretender Vorsitzender der DAEF)



Baden-Württemberg

REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG
LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU

Regierungspräsidium Freiburg, Abteilung 9 · 79095 Freiburg i. Br.

Herrn
Steffen Kanitz
Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
(BGE)
Eschenstraße 55
31224 Peine

Freiburg i. Br. 01.12.2020

Name

Durchwahl 0761 208

Aktenzeichen 90-4646.1//20_12295

(Bitte bei Antwort angeben)

 Fachliche Anmerkungen des LGRB zum Zwischenbericht Teilgebiete der BGE vom 29.09.2020

Sehr geehrter Herr Kanitz,

vielen Dank für Ihre Einladung zum fachlichen Austausch im Zusammenhang mit dem Zwischenbericht Teilgebiete am 8. Dezember 2020, an dem wir gerne teilnehmen werden.

Nachdem wir Ihren Zwischenbericht Teilgebiete vom 29. September 2020 mit großem Interesse gesichtet und einer ersten Plausibilisierung der Teilgebiete in Baden-Württemberg unterzogen haben, möchten wir Ihnen, auch im Vorfeld der oben angesprochenen Videokonferenz, eine erste fachliche Rückmeldung des LGRB geben.

Es ist nachvollziehbar und sicherlich auch im Sinne des Verfahrens, dass die BGE den Ansatz eines bundesweit einheitlichen Vorgehens verfolgt hat; also mit möglichst gleichwertigen Datensätzen und einheitlicher Methodik. Auch wir sehen hierin einen wichtigen Beitrag um zu diesem Verfahrensschritt nachvollziehbare Ergebnisse und eine größtmögliche Verfahrensgerechtigkeit zu gewährleisten sowie keine Gebiete frühzeitig auszuschließen, die möglicherweise doch als Standort geeignet wären. Im Sinne des StandAG und um Sie bestmöglich zu unterstützen, hat das LGRB Ihnen hierfür vollumfänglich die uns für Ihre Anfragen vorliegenden Daten zur Verfügung gestellt.

Das einheitliche Vorgehen bei der Anwendung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und schließlich der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (falls aufgrund der Datenlage möglich) führt zwangsläufig zu einer Pauschalisierung und Generalisierung; regionale oder lokale geologische Spezifika werden nicht mehr

Dienstgebäude Albertstraße 5 · 79104 Freiburg i. Br. · Telefon 0761 208-3000 · Telefax 0761 208-393029 · abteilung9@rpf.bwl.de

www.rp.baden-wuerttemberg.de · www.service-bw.de

VAG-Linien 4, 5, 27 · Haltestelle Europaplatz · Parkmöglichkeiten Parkleitsystem Parkzone Altstadt

aufgelöst oder durch den methodischen Prozess entfernt. Dies ist ein Nachteil des Verfahrens. Insofern sind uns aus der geowissenschaftlichen Landessicht bei der ersten Plausibilisierungsprüfung einige wichtige fachliche Aspekte offensichtlich geworden, die wir Ihnen im Folgenden darstellen möchten.

Teilgebiet 009_00TG (Wirtsgestein Kristallin - Saxothuringikum)

Nord- und Südgrenze dieses Gebiets wurden der Literatur entnommen und sind prinzipiell nachvollziehbar. Allerdings besteht im ausgewiesenen Gebiet das Grundgebirge in Baden-Württemberg nach heutiger Kenntnis aus Schiefergebirge, d. h. aus Tonschiefern mit Einlagerungen von anchimetamorphen Kalksteinen, klüftigen Metasandsteinen (Quarzit, Grauwacke) und örtlich Diabasen. Andere Schiefergebirge der Saxothuringischen Zone in Sachsen und Thüringen wurden von der BGE nicht zum Teilgebiet gerechnet. Die im Zwischenbericht Teilgebiete gegebene Beschreibung des Teilgebiets als Kristallineinheit (mit Granitintrusionen) ist nur für dessen östlichen Abschnitt (Lausitz bis Fichtelgebirge und daran anschließendes „Fränkisches Becken“ unter Nordostbayern) zutreffend. Die Grenze dieses kristallinen Saxothuringikums gegen das Nordbadisch-Fränkische Schiefergebirge verläuft nach geophysikalischen Daten und Bohrungen unter Mittelfranken in Bayern. Auch der im BGE-Bericht angeführte Literaturverweis (de Wall et al. 2019) bezieht sich auf Untersuchungen östlich dieser Grenze in einer untertägig verdeckten Fortsetzung des Fichtelgebirgs-Kristallins.

In Baden-Württemberg gibt es aus geophysikalischen Untersuchungen keine Hinweise auf Granitintrusionen innerhalb des ausgewiesenen Teilgebiets. Vorhandene Bohrdaten weisen typische Gesteine des Schiefergebirges aus. Das Granitvorkommen am Südrand des Teilgebiets bei Baden-Baden ist an die Südrandstörungen und den Kontakt zu Gebiet 013_00TG gebunden.

Teilgebiet 001_00TG (Wirtsgestein Tonstein - Opalinuston)

Für die Mächtigkeit des Opalinustons wurde im Zwischenbericht der gesamte Mitteljura, basierend auf dem Landesmodell des LGRB, angenommen. Da der Opalinuston sowohl als lithostratigraphische Einheit und erst recht als lithologische Einheit ss. nur einen (unteren) Teil des Mitteljuras ausmacht, führt dieser Ansatz zu einer deutlichen Überschätzung der Mächtigkeit und der Obergrenze des Teilgebietskörpers. Zudem sind im oberen Teil des Mitteljuras auch potentielle wasserwegsame Schichten enthalten. Da die Schichtenfolge generell nach Südosten einfällt, sind durch Ihre Vorgehensweise die Nord- und die Südgrenze des Teilgebiets bezogen auf die Obergrenze der Opalinuston-Formation jeweils zu weit südlich festgelegt.

Ihnen stehen neben dem von Ihnen verwendeten Daten im Gocad-Format, die nur einen Arbeitsstand wiedergeben, auch finalisierte Daten des Landesmodells im GIS-Format und weiterhin das feiner aufgelöste Modell des GeoMol-Projektgebiets zur

Verfügung um die Opalinuston-Einheit enger einzugrenzen. Die Mächtigkeit des eigentlichen potentiellen Wirtsgesteins Opalinuston können Sie aus verschiedenen neu interpretierten Bohrungen, beispielsweise aus dem GeoMol-Projekt, ableiten.

Auswirkungen von Vereisungen

Nach den in §23(5) StandAG festgelegten Mindestanforderungen ist bei der Bewertung der Tiefenlage auch zu berücksichtigen, ob zukünftig intensive Erosion, insbesondere durch zukünftige Vergletscherungen, die Integrität des Tiefenlagers beeinträchtigen könnte. Da Teile der Teilgebiete 001_00TG und 013_00TG innerhalb des während der vorletzten Vergletscherung (Riss-Eiszeit) eisbedeckten und damit von Erosion betroffenen Gebiets liegen (Hegau, Teile des Kreises Biberach), sollte auch diese Frage bei der weitergehenden Ermittlung der Standortregionen geprüft werden. Klimamodelle (z.B. Loutre & Berger 2000: Climate Change, 46) legen nahe, dass es in den kommenden 120.000 Jahren zwei weitere Eiszeiten geben dürfte, die den größten pleistozänen Eiszeiten in Intensität nahekommen. Dies zeigen auch Modelle, die eine aktuelle Klimaerwärmung durch Treibhausgase berücksichtigen, die in den kommenden 10.000 Jahren zu einem zeitweiligen vollständigen globalen Eisabbau führen würde.

Subglaziale Erosion hat in den vergangenen drei Vereisungsphasen zahlreiche rinnenartige Erosionsbecken im Alpenvorland ausgehoben und muss daher auch für zukünftige Vergletscherungen angenommen werden. Eine Ausräumung und Vertiefung bestehender Erosionsbecken durch nachfolgende Vergletscherungen ist mehrfach belegt (Ellwanger et al. 2011: E&G Quaternary Sci. J., 60; Ellwanger 2015: LGRB-Fachbericht 2015/4; Kuhlemann & Rahn 2013: Swiss J. Geosci., 106), die Nagra führt hierzu in der Schweiz derzeit ein umfangreiches Untersuchungsprogramm durch. Die durch die Erosion erreichten Tiefen erreichen häufig über 100 m, im Fall des Bodensee-Beckens sogar annähernd 500 m. Die Ausdehnung zukünftiger Alpenvorlandsgletscher ist nicht zuverlässig vorherzusehen. Das Gebiet der bisher größten Eisverbreitung kann aber als Orientierung gelten, wo glaziale Tiefenerosion in den kommenden 500.000 Jahren als möglich zu erwarten ist.

Impaktkrater

Im Zwischenbericht Teilgebiete wurde für Impaktkrater ein Sicherheitsabstand von einem Kilometer gewählt, um den zerrütteten Bereich abzugrenzen. Dies scheint dem LGRB für das Nördlinger Ries als zu gering angesetzt. Von Hüttner u. Mitarb. (1980: Geologisches Jahrbuch, E 19) wurde gezeigt, dass der tektonische Kraterrand teilweise zwei Kilometer außerhalb des geomorphologischen Kraterrandes liegt, d.h. dass der Gesteinsverband auch in mehr als einem Kilometer Entfernung zum kartierten Kraterrand durch das Ereignis gestört wurde. Die Verbreitung von Auswurfmassen (Bunte Brekzie) als Hinweis für die laterale Beeinflussung des Gesteinsverbands ist ein deutlicher Indikator und sollte in zukünftigen Verfahrensschritten einbezogen werden.

Ausschlusskriterium Aktive Störungszonen

Die vorgetragene Einschränkung des Begriffs „aktive Störungen“ auf regionale und überregionale Störungszonen entspricht nicht dem Wortlaut von §22 Abs. 2 Nr. 2 StandAG, nach dem alle Störungen, die im angegebenen Zeitraum von 34 Millionen Jahren als aktiv einzustufen sind, Berücksichtigung finden müssen. In zukünftigen Verfahrensschritten sind aus unserer Sicht auch lokal aktive Störungen zu prüfen.

Durch die pauschale Übertragung der in der GÜK250 dargestellten Störungsspuren erscheinen einige großräumige Störungsstrukturen wie der Fildergraben, das Schwäbische Lineament oder die Oberrheingraben-Randverwerfung unplausibel unterbrochen, lokale Störungselemente wurden wahrscheinlich nicht berücksichtigt. Auffällig sind auch Unterbrechungen von Störungsspuren im Bereich quartärer Talfüllungen, z.B. im Bereich des Taubertals.

Die ausschließliche Verwendung der Störungsspuren aus der GÜK250 in großen Teilen des Landes erscheint als Ausschlusskriterium in künftigen Verfahrensschritten unzureichend. Da sich das Landesgebiet Baden-Württemberg in den vergangenen 34 Millionen Jahren im tektonischen Einflussgebiet der Alpenbildung befand, sollten alle bisher bekannten Störungen, wie sie der amtliche Störungsdatensatz des Landes Baden-Württemberg (GeoLa) abbildet, bewertet und alle mutmaßlich in dieser Zeit aktiven Störungen berücksichtigt werden. Hierfür steht der BGE der GeoLa-Datensatz zur Anwendung des Kriteriums „aktive Störungen“ zur Verfügung.

Innerhalb des Teilgebiets 013 werden Kristallinvorkommen im tektonisch aktiven Oberrheingraben als endlagertauglich ausgewiesen, obwohl diese auch zwischen den Hauptstörungen als zerrüttet anzusehen sind. Dieses Ergebnis basiert vermutlich auf einem schematischen Zusammenschnitt des Wirtsgesteinsvorkommens „Kristallin“ mit den im GeORG-Modell modellierten Hauptstörungen, versehen mit einem Sicherheitsabstand von einem Kilometer. Stark gestörte Bereiche im Randbereich des Oberrheingrabens, beispielsweise die Emmendinger Vorbergzone und die Freiburger Bucht, wurden im Zwischenbericht Teilgebiete bislang ebenfalls nicht bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums berücksichtigt.

Referenzdatensätze in den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

Die BGE charakterisiert die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien zu einem hohen Maß auf der Grundlage von Referenzdatensätzen. Dies ist für eine erste deutschlandweite pauschale Charakterisierung wie sie im Zwischenbericht vollzogen wurde, sicherlich zielführend. Wir weisen aber darauf hin, dass Ihnen für die Ausweisung der Standortregion für Baden-Württemberg an vielen Stellen regionale und zutreffendere Daten zur Verfügung stehen.

Eine weiterführende Analyse der Ergebnisse des Zwischenberichts Teilgebiete ist im LGRB zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich. Dennoch möchten wir Ihnen mit den in diesem Schreiben gegebenen Hinweisen auf aus unserer Sicht relevante fachliche Aspekte für die Ermittlung der Standortregionen geben und bitten Sie, diese zu berücksichtigen.

Für eine tiefere Prüfung des Zwischenberichts Teilgebiete benötigen wir auch die von Ihnen zu den Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen verwendeten Geodaten sowie eine finale Zusammenstellung entscheidungsrelevanter Daten. Wir bitten Sie daher, uns diese Informationen zukommen zu lassen.

Selbstverständlich stehen wir Ihnen wie bisher gerne bei Rückfragen und für den fachlichen Austausch zur Verfügung und möchten Sie damit bestmöglich dabei unterstützen, den deutschlandweit bestmöglichen Standort für ein Endlager zu finden.

Mit freundlichen Grüßen





LfU Bayerisches Landesamt für Umwelt · 86177 Augsburg

BGE
 Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
 Herrn Steffen Kanitz
 Mitglied der Geschäftsführung
 Eschenstraße 55
 31224 Peine

– Versand per E-Mail –

Ihre Nachricht	Unser Zeichen	Bearbeitung	Datum
	10-8771.5044-115687/2020	 lfu.bayern.de Tel. +49 (9281) 1800 	18.11.2020

Zwischenbericht Teilgebiete

Anlage(n): Fragen und Anmerkungen zum Zwischenbericht Teilgebiete

Sehr geehrter Herr Kanitz,

am 28. September 2020 veröffentlichte die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) den Zwischenbericht Teilgebiete.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat gemäß § 13 Abs. 2 StandAG zu den Datenabfragen der BGE Daten zu den geowissenschaftlichen Anforderungen nach §§ 22 bis 24 StandAG an die BGE übermittelt und auf weitere Daten, die bei Bundes- und Landesbehörden vorliegen können, hingewiesen.

Als datenhaltende Behörde ist das LfU an der fachlich sorgfältigen und nachvollziehbaren Auswertung der übermittelten Daten durch die BGE interessiert. Das LfU hat den Zwischenbericht und die untersetzenden Unterlagen zunächst in einer Gesamtschau geprüft. Dabei sind uns einige nicht nachvollziehbare Ergebnisse bei der Ausweisung der Teilgebiete in Bayern aufgefallen.

In der Anlage übermitteln wir Ihnen zum Zwischenbericht Teilgebiete erste Fragen und Anmerkungen, die Sie auch als Grundlage für unser fachliches Austauschgespräch am 08.12.2020 verwenden können.

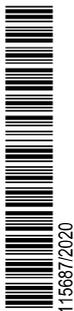
Hauptsitz LfU
 Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
 86179 Augsburg

Dienststelle Hof
 Hans-Högn-Str. 12
 95030 Hof

www.lfu.bayern.de
poststelle@lfu.bayern.de

Telefon +49 821/9071-0
 Telefax +49 821/9071-5556

Telefon +49 9281/1800-0
 Telefax +49 9281/1800-4519



Das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung, das Nationale Begleitgremium und das Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz erhalten einen Abdruck dieses Schreibens.

Mit freundlichen Grüßen

gez.





LfU-10

Anlage zum Schreiben 10-8771.5044-115687/2020

Erste Fragen und Anmerkungen zum Zwischenbericht Teilgebiete der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) bezüglich der identifizierten Gebiete in BayernVorbemerkung

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat eine erste grobe Prüfung des Zwischenbericht Teilgebiete der BGE vom 28.09.2020 durchgeführt.

Unter Berücksichtigung der Präsentationen und Erläuterungen der BGE, bei der Online-Auftaktveranstaltung Fachkonferenz Teilgebiete am 17.10.2020, der Bereitstellung von Erklär-Videos zu den Teilgebieten am 23.10.2020 sowie den online zur Verfügung gestellten Flächen-Datensätzen der BGE vom 26.10.2020, hat das LfU bezüglich der Anwendung der Kriterien nach §§ 22, 23 und 24 StandAG einige Fragen, die die Verwendung bzw. Berücksichtigung der Datenabgaben des LfU und Datenabgaben der BGR für das Bundesland Bayern an die BGE betreffen.

Unsere derzeitigen Fragen beziehen sich auf sechs Teilgebiete in Bayern.

1. Anwendung der Mindestanforderungen/Abwägungskriterien für Teilgebiet 1 (Tongestein)

Warum geht die BGE für das Teilgebiet 1 (001_00TG_032_01IG_T_f_jmOPT) nach Anwendung der Mindestanforderungen und Abwägungskriterien von einer günstigen Gesamtsituation aus?

Das LfU hat mit der Datenabgabe zu den Mindestanforderungen vom 15.05.2018 (10-8771.5044-34626/2018) auf relevante Studien der BGR (z. B. CCS, Tonstudie sowie weitere BGR-Studien wie z. B. ANSICHT) hingewiesen. Neben den gelieferten Daten des LfU bieten die BGR-Daten zur Auswertung der Tiefenlage, der Mächtigkeit der Opalinuston-Formation und der Mächtigkeit des Deckgebirges sowie die maximale Reichweite der ≥ 100 -Meter-Verbreitung Hinweise, die sich nicht mit der Teilgebietsidentifikation der BGE decken.

115687/2020
115687/2020

Einschätzung des LfU

Die BGE hat bei der Anwendung der Mindestanforderungen möglicherweise die neueren Berichte der BGR und untersetzende digitale Anlagen aus den Jahren 2007–2016 nicht berücksichtigt, und stattdessen, wie in der Auftaktveranstaltung Fachkonferenz Teilgebiete am 17.10.2020 mitgeteilt, eine ältere Darstellung des LfU von 1996 verwendet (vgl. Abbildung 1 sowie Meyer & Schmidt-Kaler 1996).

Nach bisher veröffentlichten Studien der BGR wird die Fläche des potenziellen Teilgebietes nur etwa halb so groß ermittelt.

Nach Einschätzung des LfU ist die Identifikation der flächenhaften Verbreitung nach Anwendung der Mindestanforderungen deutlich zu groß bemessen.

Aus Sicht des LfU wäre erforderlich, dass die BGE ihre Darstellungen hinsichtlich der Mindestanforderungen mit den Daten der BGR abgleicht und/oder begründet, warum sie die BGR-Daten nicht bei der Anwendung der Mindestanforderungen (Tiefenlage, Mächtigkeit) berücksichtigt.

Literaturzitate

FRANZ, M., SIMON, T., MEYER, R.K.F., DOPPLER, G. (2001): Die Thermalwasserbohrung "Donautherme", Neu-Ulm. - Geologica Bavarica, 106, S. 81-106, 4 Abb., München.

MEYER, R. K. F. & SCHMIDT-KALER, H. (1996): Jura.- In: Bay. Geol. L.-Amt (Hrsg.): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 500 000 – 4. Aufl., 90-111.

2. Anwendung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und Abwägungskriterien für die Teilgebiete 2 und 3 (Tongestein)

Warum werden von der BGE in den Teilgebieten 2 (002_00TG_044_00IG_T_f_tUMa) und 3 (003_00TG_046_00IG_T-f_tUMj) teilweise sehr kleine und schmale Tongesteinsvorkommen zwischen aktiven Störungszonen ausgewiesen und diese einem generalisierten Teilgebiet zugeordnet?

Mit den Teilgebieten 2 und 3 weist die BGE Teilgebietssegmente aus, deren Flächenformen jedoch z. B. in der Breite teilweise sehr schmal und z. T. spindelförmig sind. Alle Teilgebietssegmente werden durch aktive Störungszonen voneinander getrennt (vgl. Abbildung 1).

Das südlichste Gebietssegment im Teilgebiet 3, östlich von Rosenheim, liegt etwa 10 Kilometer von anderen identifizierten Teilgebietssegmenten entfernt und weist nach BGE mit 1.200 Meter die größte Wirtsgesteinsmächtigkeit auf.

Die östlich von Rosenheim bekannten Sedimente der aufgerichteten Molasse, im Süden des Teilgebietssegments, sind stark nach Norden geneigt. Diese Schichtenverstellung ist eine Auswirkung einer vom LfU übermittelten, aber von der BGE nicht als aktiv klassifizierten Störungszone (Alpennordrandüberschiebung mit Auf-/Überschiebung der Faltenmolasse auf die Vorlandmolasse).

Einschätzung des LfU

Die komplexe Störungszone im Bereich der Alpennordrandüberschiebung muss bei der Identifizierung des Teilgebietssegments berücksichtigt werden. Vorhandene Faltenstrukturen, blinde Überschiebungen, Schichtenverstellungen mit 30 bis 60 Grad und Verschuppungen deuten hier auf eher ungünstige Voraussetzungen hin.

Die Mächtigkeit der identifizierten Wirtsgesteinsformation kann östlich von Rosenheim aufgrund der komplexen Lagerungsverhältnisse nicht senkrecht zur Schichtlagerung ermittelt werden. Die Schichten fallen steil nach Norden ein. Bei der Bewertung von steil stehenden sedimentären Gesteinen muss dies berücksichtigt werden.

Aus Sicht des LfU erfolgte offenbar keine Einzelbetrachtung der Teilgebietssegmente durch die BGE. Einige Teilgebietssegmente erfüllen nach Darstellung der BGE im Teilgebietssteckbrief möglicherweise nicht die Mindestanforderungen oder wären spätestens bei der Anwendung der Abwägungskriterien anders zu bewerten (z. B. Mächtigkeit der Deckschichten, Mindestmächtigkeit, Flächengröße unter Berücksichtigung der Flächenform).

Eine summarische Betrachtung der Wirtsgesteinsmächtigkeit in den Teilgebietssegmenten suggeriert eine deutlich zu hohe Schichtmächtigkeit im Bereich von hunderten Metern, welche die BGE offenbar lediglich im Bereich der aufgestellten Molasse ermittelt hat.

Die Anwendung des Ausschlusskriteriums „aktive Störungen“ ist hier unverständlich und fachlich nicht nachvollziehbar. Auch die Anwendung der Mindestanforderungen ist hier nicht nachvollziehbar.

Die Störungszone der Alpennordrandüberschiebung zwischen der Faltenmolasse und der Vorlandmolasse wird hinsichtlich ihrer Auswirkung auf das unmittelbar nördlich davon identifizierte Teilgebiet von der BGE nicht berücksichtigt. Das steile Einfallen der identifizierten Tongesteine von 30-60 Grad wird von der BGE nicht thematisiert.

Aus Sicht des LfU wäre erforderlich, dass die BGE

- nach Anwendung der Ausschlusskriterien auftretende Kleinstflächen, die aufgrund ihrer Form nicht die Mindestanforderungen erfüllen, prinzipiell nicht als geeignete Gebiete darstellt.
- eine günstige Bewertung bei der Identifikation als Teilgebiet fundiert fachlich begründet, wenn Teilgebietssegmente zwischen aktiven Störungszonen liegen und nur maximal wenige 100 Meter breit sind, zudem eine spindelförmige oder extrem schmale spitz- oder schwanzförmige Form haben.
- die Aufsummierung der Fläche von Teilgebietssegmenten, die sich durch aktive Störungen, stark variierende Schichtmächtigkeit und räumliche Trennung über mehrere Kilometer bis 10er Kilometer erstrecken, plausibel erläutert, begründet und bei der Teilgebietsausweisung berücksichtigt.

3. Anwendung der Mindestanforderungen in Teilgebiet 9 (Kristallines Wirtsgestein)

Warum werden in Teilgebiet 9 (009_00TG_194_00IG_K_g_SO) die Bohrungen mit über 1.000 Meter Teufe sowie die Daten zur Tiefenlage der Grundgebirgsoberfläche von der BGE nicht zur Bestimmung der Verbreitung von kristallinen Wirtsgesteinen bei der Teilgebietsbegrenzung berücksichtigt?

Die BGE identifiziert das Teilgebiet 9 bezüglich der Verbreitung von kristallinen Wirtsgesteinen ohne zwischen Gebieten unter Deckgebirge ≥ 300 Meter und der Verbreitung an der Geländeoberfläche zu unterscheiden.

Östlich einer Linie von Kronach-Goldkronach-Erbendorf trennt die BGE in Teilgebiet 9 kristallines Wirtsgestein von niedriger metamorphen Gesteinen (z. B. Schiefer, Phyllit, Meta-Sandstein, Meta-Vulkanite) ab (vgl. Abbildung 2) und schließt diese richtigerweise nach Anwendung der Mindestanforderungen konsequent als Wirtsgesteine aus.

Für das Gebiet westlich der Linie von Kronach-Goldkronach-Erbendorf, in der kristallines Wirtsgestein unter Deckgebirge und sedimentärem Grundgebirge liegt, weist die BGE kristallines Wirtsgestein flächendeckend aus.

Einschätzung des LfU

Westlich einer Linie von Kronach-Goldkronach-Erbendorf sind kristalline Wirtsgesteine weder an der Oberfläche noch in Teufen bis 1.300 Meter nachgewiesen und auch nicht zu erwarten. In 56 Bohrungen in dieser Region mit Teufen ≥ 300 Meter bis < 1.300 Meter wurde kein kristallines Wirtsgestein erbohrt.

Aus Sicht des LfU ist das Teilgebiet westlich der Linie Kronach-Goldkronach-Erbendorf **unzutreffend identifiziert**.

Kristallines Wirtsgestein wurde westlich der Linie von Kronach-Goldkronach-Erbendorf in Teufen zwischen 300 und 1.300 Meter bisher nicht nachgewiesen. Auch die Auswertung geophysikalischer Messungen lässt Vorkommen von kristallinem Wirtsgestein in der relevanten Teufe nicht erwarten.

In wissenschaftlichen Studien, die die BGE im Zwischenbericht Teilgebiete zitiert (z. B. de Wall 2019), wird die Verbreitung von kristallinem Wirtsgestein erst in Teufen unter mehr als 2000 Metern prognostiziert.

Das LfU hat für das Teilgebiet 9 Schichtenverzeichnisse von 17 Bohrungen mit Teufen zwischen etwa 1.000 und 1.600 Meter sowie eine Tiefenkarte zur Verbreitung der Grundgebirgsoberfläche unter Deckgebirge an die BGE übermittelt. Keine dieser Bohrungen hat kristallines Wirtsgestein in Teufen zwischen 300 und 1.300 Meter erreicht. Lediglich eine dieser Bohrungen hat im Maintal bei Volkach **in mehr als 1.300 Meter** Tiefe unter der Geländeoberfläche kristallines Wirtsgestein angetroffen.

Auch alle weiteren übermittelten 45 Bohrungen mit Schichtenverzeichnissen haben in Teufen ≥ 300 und < 1.000 Meter kein kristallines Wirtsgestein angetroffen.

Innerhalb des Teilgebietes zeigen die der BGE vorliegenden Karten des LfU, dass die Grundgebirgsoberfläche für etwa 25 Prozent der Fläche (ca. 3.200 km²) des Gebietes in Teufen unter 1.300 Meter liegt.

Selbst wenn nach BGE dort kristallines Wirtsgestein zu erwarten wäre, läge dieses dann in einer Tiefe, die die BGE grundsätzlich bereits nach Anwendung der Mindestanforderungen nicht als geeignet betrachtet. Erbohrt wurden dort jedoch ausschließlich Sedimentgesteine des Deckgebirges, Vulkanite und schwächer metamorphe Gesteine.

Die BGE hat trotz Vorliegen gegenteiliger gebietsspezifischer Daten nach Anwendung der Mindestanforderungen ein Gebiet von etwa 11.500 km² als geeignet identifiziert.

Aus Sicht des LfU wäre erforderlich, dass die BGE

- erläutert, auf welcher fachlichen Grundlage die Identifikation des Teilgebietes erfolgt, da sie entscheidungsrelevante Daten offenbar nicht berücksichtigt hat.
- hinsichtlich der Teilgebietenbewertung die Schichtenverzeichnisse von allen 62 übermittelten Bohrungen mit Teufen ≥ 300 Meter des LfU in ihre Bewertung einbezieht.
- prüft, ob ihr bei der Teilgebietenbewertung ein oder mehrere methodische Fehler unterlaufen sind.

Literaturzitat

DE WALL, H., SCHAARSCHMIDT, A., KÄMMLEIN, M., GABRIEL, G., BESTMANN, M. & SCHARFENBERG, L. (2019): Subsurface granites in the Franconian Basin as the source of enhanced geothermal gradients: a key study from gravity and thermal modeling of the Bayreuth Granite. International Journal of Earth Sciences, Bd. 108, S. 1913-1936. ISSN 1437-3262. DOI: 10.1007/s00531-019-01740-8

4. Anwendung der Abwägungskriterien in Teilgebiet 9 (Kristallines Wirtsgestein)

Wie kann die BGE in Teilgebiet 9 (009_00TG_194_00IG_K_g_SO) in Bayern für kristallines Wirtsgestein unter Deckgebirge die Abwägungskriterien anwenden, wenn für die Verbreitung dieser Gesteine im relevanten Teufenbereich zwischen ≥ 300 und < 1.300 Meter kein einziger Beleg vorliegt?

Die BGE hat bezüglich der Erfüllung der Mindestanforderungen in Teilgebiet 9 etwa 11.500 km² kristallines Wirtsgestein unter Deckgebirge identifiziert. Für die Verbreitung von kristallinem Wirtsgestein im relevanten Teufenbereich von ≥ 300 bis 1.300 Meter gibt es in diesem Gebiet weder in geowissenschaftlichen Karten noch in 62 an die BGE übermittelten Schichtenverzeichnissen von Tiefbohrungen einen Beleg für dessen Verbreitung (vgl. Abbildung 2).

Bei der Bearbeitung für dieses Gebiet nennt die BGE keine entscheidungsrelevanten Bohrungen.

Die BGE wendet 9 von 11 Abwägungskriterien nach Referenzdatensätzen auf das Teilgebiet

an. Für die Abwägungskriterien Nr. 2 und Nr. 11 (Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper und Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge) wendet die BGE für das Gebiet eine **individuelle Bewertung** an.

Einschätzung des LfU

Aus Sicht des LfU ist die günstige Bewertung der BGE nach **Anwendung der Abwägungskriterien weitgehend unzutreffend**.

Eine pauschale Anwendung bei 9 von 11 Abwägungskriterien auf nicht spezifizierte kristalline Wirtsgesteine sind aus Sicht des LfU bei der geowissenschaftlich basierten Auswertung als entscheidende Kriterien für die Teilgebietsidentifizierung ungeeignet. Pauschale Annahmen über hunderte von Kilometern widersprechen einer streng wissenschaftlichen Vorgehensweise insbesondere dann, wenn vorhandene Daten aus den Teilgebieten nicht berücksichtigt werden. Die individuelle Anwendung der Abwägungskriterien Nr. 2 und Nr. 11 auf nicht vorhandenes kristallines Wirtsgestein für eine Fläche von etwa 11.500 km² wirft Fragen hinsichtlich des internen Reviews und der Qualitätssicherung auf.

Für das LfU ist nicht nachvollziehbar, warum die BGE auf regional nicht vorhandene Wirtsgesteine standort- oder teilgebietsspezifisch Abwägungskriterien angewendet hat.

Aus Sicht des LfU wäre erforderlich, dass die BGE

- bevor sie gebietsspezifisch Abwägungskriterien anwendet, zunächst prüft, ob und gegebenenfalls wo kristallines Wirtsgestein in relevanter Teufe vorhanden ist.
- ihre methodischen Prozesse bei der Anwendung der Kriterien nach §§ 22, 23 und 24 StandAG hinsichtlich der Plausibilität z. B. im Rahmen eines internen und möglicherweise auch externen Reviews prüft und gegebenenfalls korrigiert.

5. Anwendung der Mindestanforderungen in Teilgebiet 13 (Kristallines Wirtsgestein)

Aufgrund welcher Basis definiert die BGE in der Region westlich und nordwestlich von Weiden/Opf. in Teilgebiet 13 (013_00_TG_195_00IG_K_g_MO) und untergeordnet auch in Teilgebiet 9 (009_00TG_194_00IG_K_g_SO) Kristallines Wirtsgestein (unter Deckgebirge)?

Die BGE identifiziert das Teilgebiet 13 bezüglich der Verbreitung von kristallinem Wirtsgestein ohne zwischen Gebieten unter Deckgebirge ≥ 300 Meter und der Verbreitung an der Geländeoberfläche zu unterscheiden.

Einschätzung des LfU

Innerhalb des Teilgebietes haben 6 Tiefbohrungen mit Teufen größer 1.000 Meter kein kristallines Wirtsgestein unter Deckgebirge ≥ 300 Meter erreicht. Insbesondere im Raum Weiden/Opf. sind durch Tiefbohrungen mehr als 1.400 Meter mächtige sedimentäre Deckgebirgseinheiten nachgewiesen (vgl. Abbildung 2) und nach geophysikalischen Untersuchungen zudem für einen deutlich größeren Raum zu erwarten.

Zumindest für das Gebiet nördlich und westlich von Weiden/Opf., welches eine Fläche von etwa 950 km² umfasst, ist die Bewertung der BGE nach aktueller Datenlage unzutreffend.

Die BGE unterscheidet nicht zwischen oberflächlich anstehendem kristallinem Wirtsgestein und kristallinem Wirtsgestein unter Deckgebirge. Die BGE berücksichtigt bei der Identifizierung des Teilgebietes nicht die Tiefbohrungen, geophysikalischen Untersuchungen und wissenschaftlichen Arbeiten, die sie teilweise in den untersetzenden Unterlagen zum Zwischenbericht Teilgebiete zitiert. Die BGE generalisiert hier zehntausende Quadratkilometer als Teilgebiet, ohne offensichtlich ungeeignete Gebiete davon abzugrenzen. Vorhandene geophysikalische Daten, Tiefbohrungen mit Teufen von über 1.400 Meter und wissenschaftliche Studien, die das Vorhandensein von kristallinem Wirtsgestein in Teufen von 0–1.300 Meter widerlegen, berücksichtigt die BGE nicht.

Aus Sicht des LfU wäre erforderlich, dass die BGE

- beschreibt, welche Fachdaten zur Identifikation des Teilgebietes verwendet wurden und warum möglicherweise entscheidungsrelevante Daten, die der BGE vorliegen, nicht berücksichtigt werden.
- bevor sie die Abwägungskriterien anwendet, prüft, ob und gegebenenfalls wo kristallines Wirtsgestein in relevanten Teufen vorhanden ist und dafür Nachweise erbringt oder zumindest fachlich ihre Erwartungen begründet.
- die Ergebnisse der von ihr zitierten wissenschaftlichen Arbeiten in die identifizierte Gebietskulisse einarbeitet.

6. Anwendung der Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und Abwägungskriterien für Teilgebiet 78 (Salzgestein in flacher Lagerung)

Warum werden von der BGE im Verbreitungsgebiet des Werra-Steinsalzes in Teilgebiet 78 (078_03TG_197_03IG_S_f_z) atektonische Störungen und tektonische Störungen, die Wasserzutritte ermöglichen, nicht berücksichtigt?

In Teilgebiet 78 wurde die Verbreitung von Steinsalz in flacher (stratiformer) Lagerung mit bis zu über 160 Meter Mächtigkeit von der BGE ermittelt (vgl. Abbildung 3).

Das LfU hat mit Datenlieferung vom 09.03.2018 (10-8771.5044-18193/2018) Erdfälle, Dolinen und Subrosionssenken an die BGE übermittelt und auf deren wichtige Bedeutung hingewiesen. Die Subrosionsflächen und Erdfälle liegen teilweise innerhalb des identifizierten Teilgebietes. Die Flächen der Subrosionssenken umfassen im Teilgebiet mindestens 4,1 km². Die größte davon umfasst im Teilgebiet mindestens 2,9 km².

Einschätzung des LfU

Innerhalb von Teilgebiet 78 werden Salzgesteine durch Wasser gelöst („unterirdisch weggespült“). Durch die Lösung sind im potenziellen Wirtsgestein lokal Hohlräume entstanden. Diese

haben sich teilweise bis an die Oberfläche durchgepaust und wurden vom LfU als Subrosionssenken sowie insbesondere in den Störungszonen als Erdfälle identifiziert.

Im Teilgebiet wurden Subrosionssenken, in denen tertiär- und pleistozänzeitliche Kiese, Sande und Tone abgebaut worden sind, nachgewiesen.

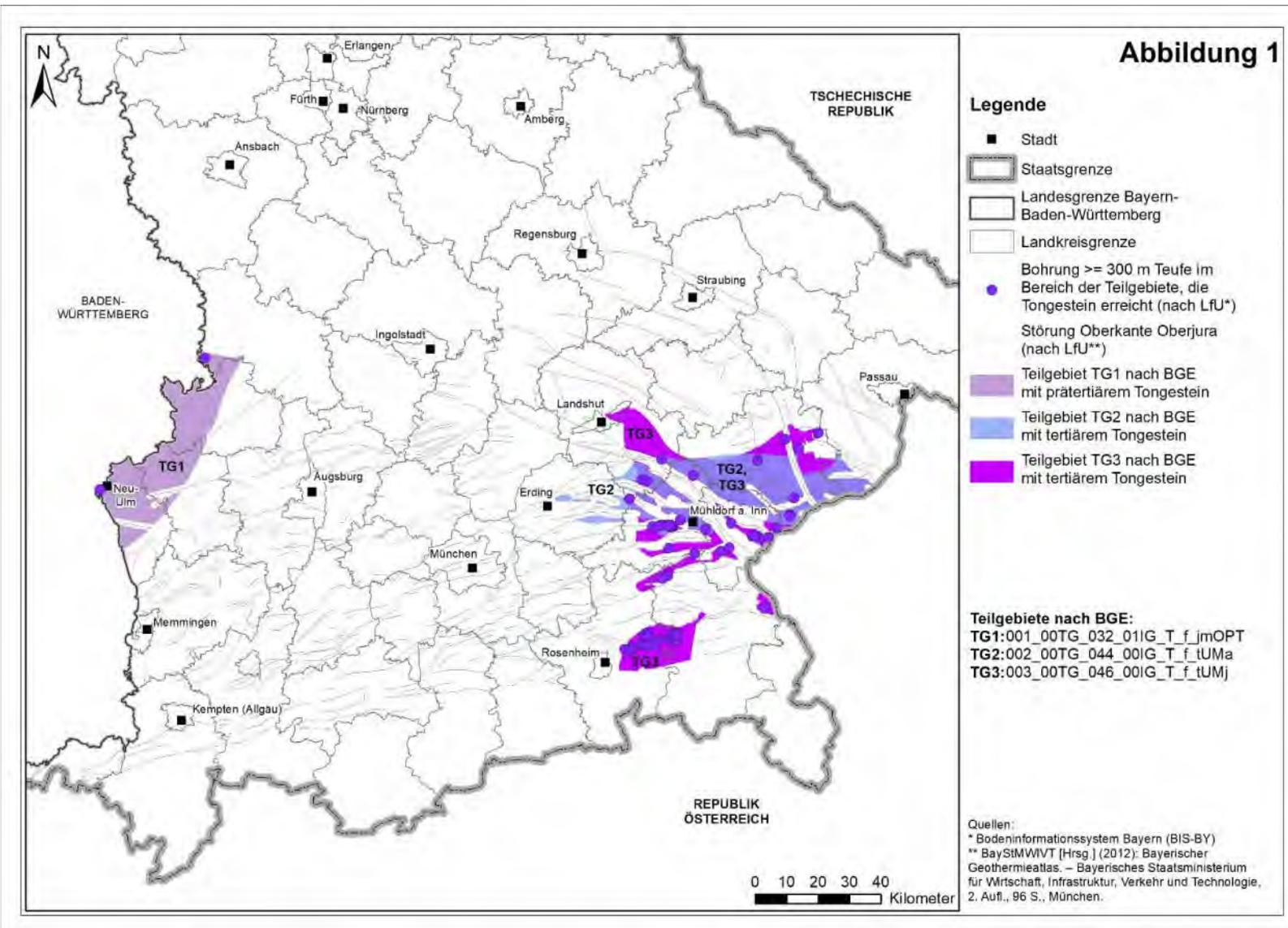
Die BGE hat offenbar die Daten des LfU zur Verbreitung der Subrosionssenken, der Störungen und der Erdfälle bei der Teilgebietsidentifikation nicht berücksichtigt.

Auch die bedeutende Heustreuer Störungzone liegt innerhalb des Teilgebiets und wurde von der BGE offenbar bei der Ausweisung des Teilgebietes nicht berücksichtigt.

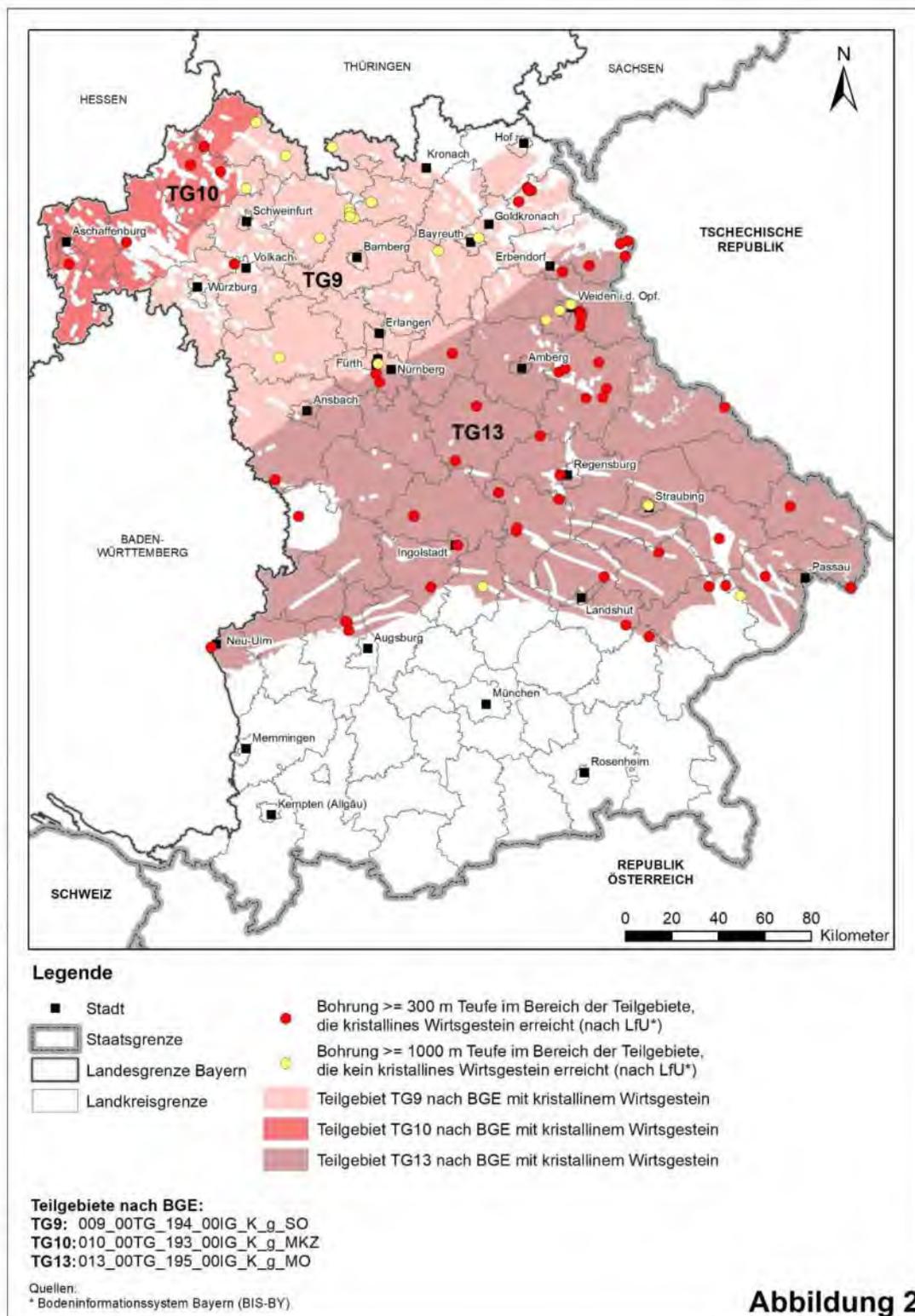
Aus Sicht des LfU wäre erforderlich, dass die BGE

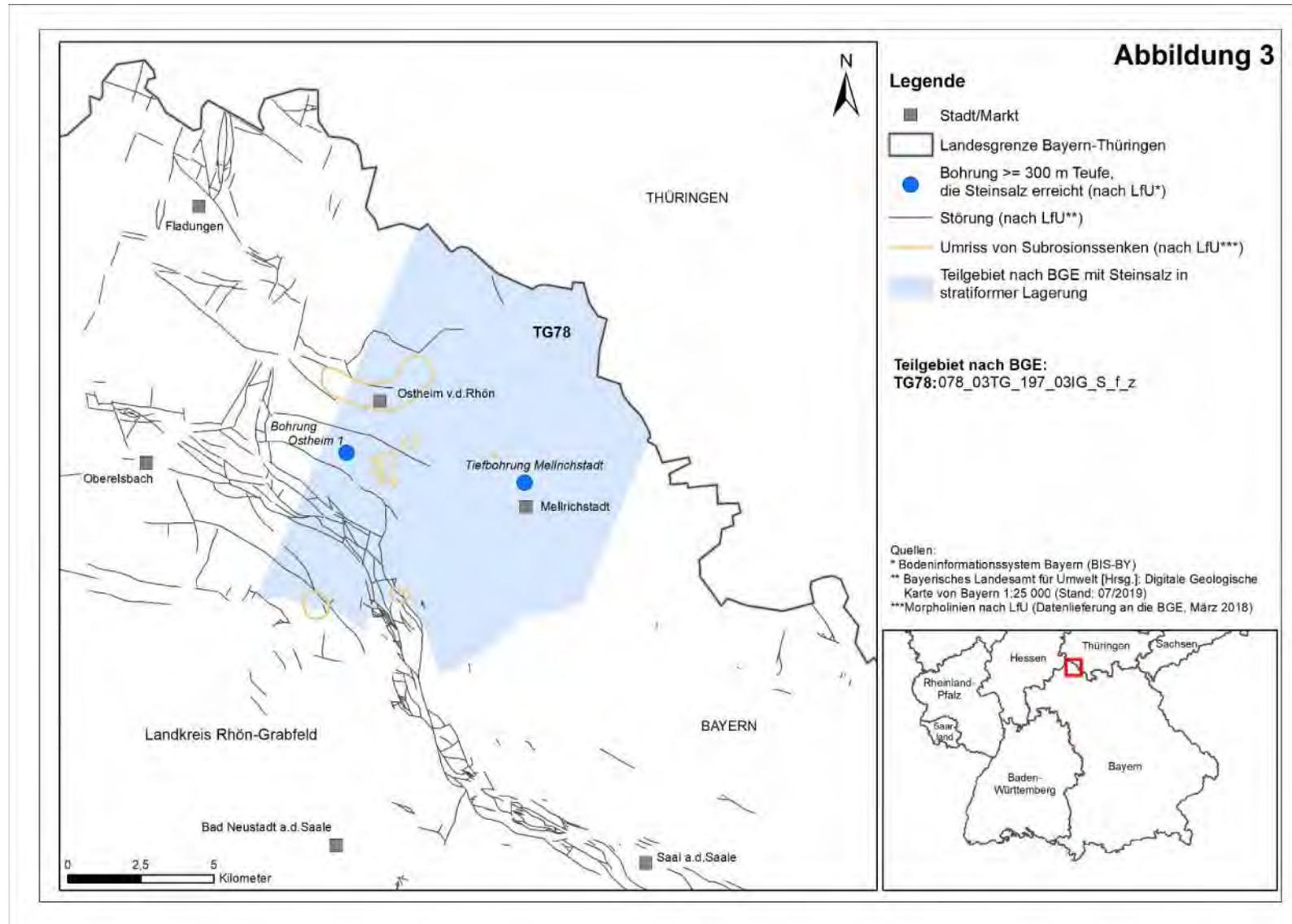
- die Datenlieferung zu den atektonischen Störungen und Hinweise des LfU berücksichtigt oder begründet, warum sie diese nicht verwendet.
- zur Bewertung nicht den Störungsdatensatz mit der größten Generalisierung, sondern den genauesten Datensatz verwendet.

Abbildung 1



- 6 -





Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz



- BGE -	
Tgb.-Nr.: 125	Telefax:
26. Jan. 2021	
Original: Kopien: STA	WV: Ablage:

Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz
Brückenstraße 6, 10179 Berlin SenUVK II B 31

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)

Eschenstr. 55

31224 Peine

Bearbeiterin
Zeichen

Dienstgebäude: Brückenstr. 6
10179 Berlin

Zimmer

Telefon 030 9025
Fax 030 9025
intern (925)

Datum 21. Januar 2021

Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 Stand AG vom 28.09.2020

Sehr geehrte
sehr geehrte Damen und Herren,

in Bezug auf die Ergebnisse des o. g. Bericht haben wir bereits in dem von der BGE angebotenen bundeslandspezifischen fachlichen Austausch am 7. Dezember 2020 einige Themen diskutiert. In Ergänzung hierzu möchten wir die beiden in diesem Zusammenhang für uns besonders relevanten Aspekte schriftlich festhalten.

Ergebnis des o. g. Zwischenberichtes ist, dass zwei Teilgebiete im Wirtsgestein Tongestein Bereiche des Bundeslandes Berlin umfassen. Im Nordwesten befindet sich das Teilgebiet 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg (senkrecht liniert in der Abbildung) und im Süden das Teilgebiet 005_00TG_055_00IG_T_f_jm (waagrecht liniert in der Abbildung).

Obwohl noch eine ausführliche Diskussion der Ergebnisse des Zwischenberichtes in unserem Hause erfolgen muss, ist bereits zum jetzigen Zeitpunkt festzuhalten, dass sich die Ausdehnung des im Nordwesten gelegenen Teilgebietes mit den uns vorliegenden Informationen aus landesgeologischer Sicht nicht nachvollziehen lässt.

Das Teilgebiet 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg bezieht sich auf die stratigraphische Einheit Tertiär (Paläogen), durch weitere Eingrenzungen in den zahlreichen den Zwischenbericht untersetzenden Unterlagen sowie deren Anlagen auf die Stufen des Thanet aus dem oberen Paläozän und des Ypres aus dem unteren Eozän präzisiert. Die Ausweisung des identifizierten Gebietes erfolgte für den Betrachtungsraum Nordostdeutschland (Brandenburg, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern,

Sprechzeiten
nach telefonischer Vereinbarung

E-Mail:
@senuvk.berlin.de
post@senuvk.berlin.de*

Internet
www.berlin.de/sen/uvk

* Elektronische Zugangseröffnung gem. § 3a Abs. 1 VwVfG
Hinweis zur Information zum Datenschutz nach Art. 13 und 14
Datenschutz-Grundverordnung (DS-GVO):
<https://www.berlin.de/senuvk/service/formulare/de/datenschutz.shtml>



Fahrverbindungen:

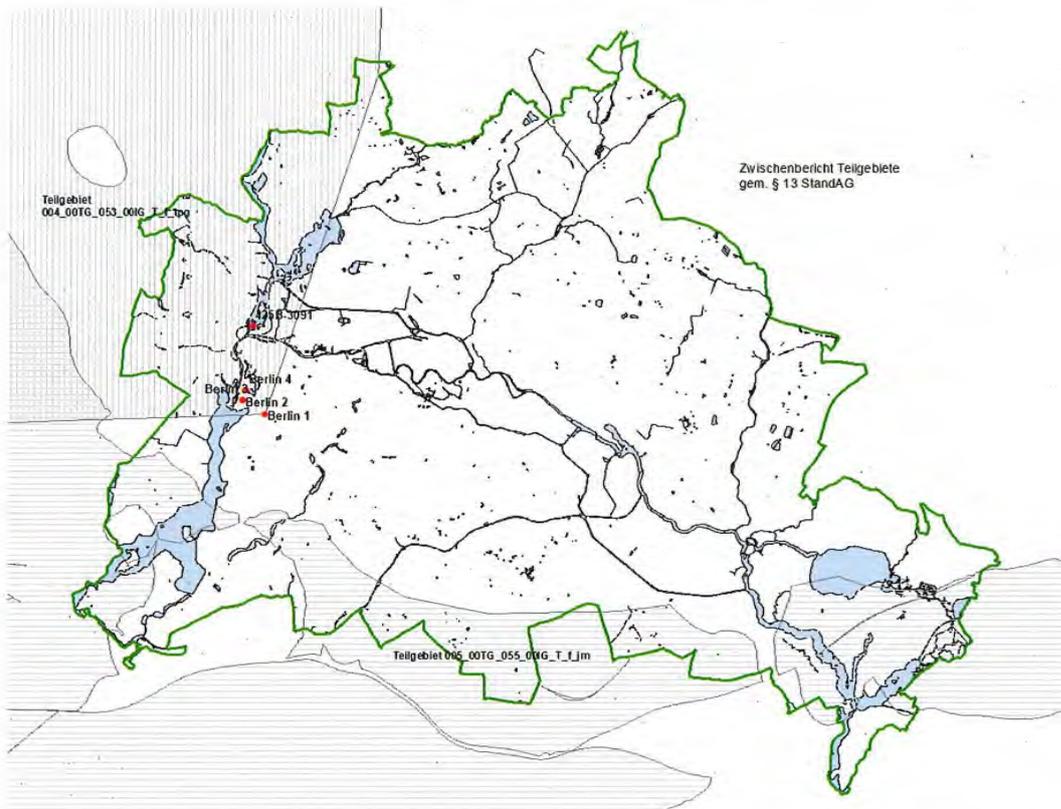
- 2 Märkisches Museum
- 8 Jannowitzbrücke, Heinrich-Heine-Str.
- 3, 5, 7, 9 Jannowitzbrücke
- 147, 165, 265 U-Bhf. Märkisches Museum

Zahlungen bitte bargeldlos an die Landeshauptkasse Berlin:

Postbank Berlin IBAN: DE47100100100000058100
Berliner Sparkasse IBAN: DE2510050000990007600
Bundesbank, Filiale Berlin IBAN: DE5310000000010001520

BIC: PBNKDEFFXXX
BIC: BELADEBEXXX
BIC: MARKDEF1100

Sachsen-Anhalt) hauptsächlich durch die Auswertung von Bohrungen verschiedener Datenbanken (Tonstudie, LUNG, KW) sowie von Verbreitungskarten. Durch die Anwendung geowissenschaftlicher Abwägungskriterien wurde nachfolgend das Teilgebiet eingegrenzt.



Als entscheidungserheblich für die Gebietsabgrenzung wird von der BGE auch die im Land Berlin positionierte Bohrung Berlin 1 genannt, in der keine Sedimente des oberen Paläozäns oder unteren Eozäns vorhanden sind. Vielmehr lagert in dieser am Rand des Teilgebietes gelegenen Bohrung unteroligozäner Rupelton in einer Bohrteufe [REDACTED] m direkt auf mesozoischen Keuperschichten. Vergleichbare Schichtenfolgen sind auch in weiteren der BGE zur Verfügung gestellten Tiefbohrungen des KW-Datenbestandes aufgeschlossen, wie z. B. in den weiter nordwestlich im Teilgebiet lokalisierten Bohrungen Berlin 2, Berlin 3, Berlin 4, Berlin 15. Auch in der ebenfalls deutlich innerhalb des Teilgebietes gelegenen Bohrung 425B-3091, deren Informationen wir der BGE inkl. Schichtenverzeichnis zur Verfügung gestellt haben, sind keine Schichten des oberen Paläozäns und unteren Eozäns aufgeschlossen.

Der zweite hier hervorzuhebende Aspekt ist die Auswahl des Referenzdatensatzes Tongestein für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien. Da sich der Referenzdatensatz nicht auf Schichten der stratigraphischen Stufen des Thanet und Ypres bezieht, ist die Eignung für eine Beurteilung in diesem Verfahren zu diskutieren.

Mit freundlichen Grüßen
Im Auftrag





Freie und Hansestadt Hamburg

Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft

Geologisches Landesamt Hamburg, Neuenfelder Str. 19, 21109 Hamburg

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbh (BGE)
Eschenstraße 55

31224 Peine

Amt für Wasser, Abwasser und Geologie

Geologisches Landesamt Hamburg

Neuenfelder Straße 19
21109 Hamburg
Telefon +49 40 428 40-5274
Telefax +49 40 427 31-0752

Ansprechpartner

Zimmer G

E-Mail @bukea.hamburg.de

Bearbeitung.

18. Februar 2021

Versand nur per E-Mail

GLA-Stellungnahme zum Zwischenbericht Teilgebiete der BGE vom 28.09.2020

I Veranlassung

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) hat im Rahmen der Suche nach einem Standort für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle im September 2020 einen Zwischenbericht veröffentlicht, in dem sie die grundsätzlich geeigneten Gebiete darstellt. Von den 90 identifizierten Teilgebieten betreffen 4 auch das Bundesland Hamburg, dabei liegt allerdings kein Teilgebiet ausschließlich in Hamburg, sondern betrifft immer zumindest auch die Nachbarländer Niedersachsen oder Schleswig-Holstein.

Bezüglich der Bewertung der von der BGE angewendeten Methodik bei der Ausweisung der Teilgebiete wird auf die bereits vorliegenden Länderstimmungen verwiesen. Der kritischen Betrachtung der Anwendung der Ausschlusskriterien, der Mindestanforderungen und der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nach dem StandAG, insbesondere zur Verwendung von allgemeingültigen Referenzdatensätzen, ist aus Hamburger Sicht nichts Grundsätzliches hinzuzufügen.

Die Ausweisung der Norddeutschen Teilgebiete erfolgte auf der Grundlage der von den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) bereitgestellten Daten, für Hamburg insbesondere auf der Grundlage des gelieferten 3D-Modells.

Mit Schreiben vom 02.08.2017 fragte die BGE nach Datenbeständen des Geologischen Landesamtes an. Hierbei handelte es sich um Daten für die Anwendung der Ausschlusskriterien. Diese Anfrage wurde am 29.09.2017 von GLA mit einer Information zu den insgesamt vorliegenden geologischen Daten (Tiefbohrungen über 100m Teufe, Modelldaten, Literatur, Grundwasseralter; Hinweis auf KW-Bohrungsdatenbank im LBEG) beantwortet. Konkrete Datenlieferungen erfolgten beginnend im Mai 2018. Die letzte Lieferung erfolgte am 15.10.2019. Die Daten wurden aufgrund ihrer digitalen Form i. d. R. per Mail übermittelt.

Hamburg im Internet:
<http://www.hamburg.de>

Telefonischer HamburgService:
+49 40 115

Öffentliche Verkehrsmittel:
S-Bahn 3 und 31 bis Wilhelmsburg

Folgende Daten wurden der BGE zur Verfügung gestellt:

- Stammdaten der vorliegenden Bohrungen über 100 m Teufe (ca. 1.750 Stück), staatlich und privat.
- Schichtenbeschreibungen und zugehörige Stammdaten der vorliegenden Bohrungen über 300 m Teufe, ca. 400 Stück; staatlich und privat.
- Isotopendaten / Grundwasseralter aus Unteren Braunkohlesanden (Teufe > 300m): 14C-Daten (9 Stück); angegeben in „percent modern carbon (pMC)“
- 3D-Modelldaten aus dem GTA (shape-File und *.ts-Files aus dem GoCAD-Projekt)
- Geophysikalische Daten von 39 Bohrungen (174 Messungen zu Temperatur, Temperaturgradient, Leitfähigkeit, Gamma-Log, Eigenpotential, Widerstand, Induktion)
- Salzstockoberfläche 200m Teufe (shape-File)
- Dissertation Nils Buurmann¹ (pdf).

Im Dezember 2020 hat auf Einladung der BGE ein fachlicher Austausch im Zusammenhang mit dem Zwischenbericht Teilgebiete stattgefunden, an dem Mitarbeiter der BUKEA, Geologisches Landesamt Hamburg, teilgenommen haben. Darüber hinaus hat sich Hamburg an einem gemeinsamen Positionspapier der acht betroffenen Bundesländer zum Teilgebiet „Tertiäres Tongestein“ beteiligt (s.u.).

II Ausgewiesene Teilgebiete mit Hamburger Betroffenheit

Im Rahmen des Zwischenberichtes werden als potentielle Wirtsgesteine u.a. Steinsalze in stratiformer und steiler Lagerung sowie Tongesteine des Alttertiärs (Paläogen) genannt. Im Folgenden wird auf die Darstellungen der potentiellen Endlagerbereiche für die Hansestadt Hamburg Bezug genommen.

Teilgebiet 072_00TG_181_00IG_S_s_z-ro - Steinsalz in vertikaler Lagerung

Der im Osten Hamburgs dargestellte Salzstock Geesthacht-Hohenhorn (Nr. 072_00TG_181_00IG_S_s_z-ro; Doppelsalinar) reicht etwas nach Hamburg hinein. Für diesen Bereich liegt auf Hamburger Stadtgebiet eine Bohrung vor, die ab einer Teufe von ca. 645 m den Salzstock (nur 2 Meter Steinsalz angebohrt) angetroffen hat. Die Darstellung im Zwischenbericht ist daher nachvollziehbar. Die Gesamtgröße des Teilgebietes beträgt 24 km², davon entfallen auf Hamburg ca. 1,6 km², die vollständig im NSG Borghorster Elblandchaft liegen.

Teilgebiet 074_00TG_185_00IG_S_s_z-ro - Steinsalz in vertikaler Lagerung

Im Bereich des „Drei-Länder-Ecks“ in der Nordsee von Niedersachsen, Hamburg und Schleswig-Holstein befindet sich das Teilgebiet 074_00TG_185_00IG_S_s_z-ro. Das Teilgebiet liegt ca. 11 km vor Scharhörn in der Nordsee und befindet sich vollständig im Nationalpark Hamburgisches Wattenmeer. Die Gesamtgröße beträgt 114 km², der auf das Hamburger Seegebiet entfallende Anteil beträgt ca. 30 km².

Teilgebiet 075_01TG_189_01IG_S_f_km - Steinsalz in stratiformer Lagerung

Das im Zwischenbericht Teilgebiete an der westlichen Landesgrenze dargestellte Salzvorkommen (Keuper-Salz in stratiformer Lagerung; Nr. 075_01TG_189_01IG_S_f_km) ist aus Hamburger Sicht fraglich, da hier nach Kenntnis des GLA keine Bohrungen vorliegen. Zudem sind nach den vorliegenden benachbarten Daten keine ausreichenden Steinsalzmächtigkeiten vorhanden. Insgesamt besteht das Teilgebiet aus nicht zusammenhängenden Vorkommen und befindet sich in den Bundesländern Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Es weist eine Gesamtgröße von 475 km² auf, von denen ca. 1,9 km² in Hamburg liegen. Der

¹ Buurmann, N. (2010): Charakterisierung von Zirkularstrukturen im geologischen Untergrund Hamburgs zur Abgrenzung verkarstungsgefährdeter Bereiche. – Dissertation, Univ. Hamburg: 224 S.

Hamburger Anteil an diesem Teilgebiet betrifft die Elbinsel Neßsand (NSG) sowie den Bereich zwischen Cuxhaven und Neuwerk (Nationalpark Hamburgisches Wattenmeer).

Teilgebiet 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg - Tertiäre Tongesteine

Den wesentlichen Anteil an für eine Endlagerung in Hamburg als potenzielle Wirtsgesteine in Frage kommenden Gesteinen bilden die Tertiären Tongesteine des Paläogen, 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg. Darunter sind diagenetisch verfestigte plastische Tone und Tonsteine des Ypresium und Thanetium (unteres Eozän bzw. oberes Paläozän) in einer Tiefenlage zwischen 300 und 1.500 m zu verstehen. Das Teilgebiet umfasst eine Fläche von 62.885 km² und betrifft insgesamt acht norddeutsche Bundesländer. Der auf Hamburg entfallende Anteil beträgt etwa 400 km² und betrifft i.W. das süd-östliche Hamburger Stadtgebiet sowie den Nationalpark Hamburgisches Wattenmeer mit den Inseln Neuwerk und Nigehörn.

Für eine detaillierte Auseinandersetzung mit diesem Teilgebiet wird auf die gemeinsame Stellungnahme der acht betroffenen Bundesländer² mit Stand vom 01. Februar 2021 verwiesen. Die speziell Hamburg betreffenden Punkte werden nachfolgend als Auszug aus dieser Stellungnahme dargestellt:

„Für die Ausweisung des Verbreitungsgebietes „Tertiäres Tongestein“ wurde die Basisfläche des oberen Eozäns des Geotektonischen Atlas 3D gewählt, und mit dem Basis-kriterium 1.500 m verschnitten. Dies ist für das GLA Hamburg nachvollziehbar.

Laut Geotektonischem Atlas 3D ist diese Formation auch am Othmarschen-Lange-felde-Diapir aufgeschleppt, erreicht aber nicht Teufen oberhalb 1.500 m. Daher ist die Verbreitung dieser Formation in der veröffentlichten Karte ab der Grenze zu Schleswig-Holstein nicht plausibel.

Neben der Erdgas- und Erdölförderung als Solche, die durchaus auch zu starken und mitunter negativen Auswirkungen auf die Eigenschaften des Untergrunds für ein End-lager führen kann, bestand für das ehemalige Erdölfeld Reitbrook eine Nachnutzung als Gasspeicher. Durch das wiederholte Füllen und Entleeren des Gasspeichers unter dem potentiellen Wirtsgestein „Tertiäres Tongestein“ ist es zu Hebungen gekommen, die auch an der Oberfläche nachweisbar sind. Der Bewegungsbereich des Gasspei-chers, der von 1973 – 2017 am Standort Reitbrook betrieben wurde, kann aus den Radarinterferometriedaten (Daten BBD-Programm der BGR), die der BGE vorliegen sollten, abgeleitet werden. Die Hebungen lagen in den letzten Jahren der Nutzung demnach in einer Größenordnung bis zu einigen Zentimetern. Der betroffene Bereich entspricht in etwa der Ausdehnung der im GTA-3D dargestellten Salzstockberandung und etwas darüber hinaus (ca. 4 km im Durchmesser).

Es ist daher davon auszugehen, dass es auch im Bereich der überlagernden Deck-schichten und damit auch im Bereich des potenziellen Wirtsgesteines „Tertiäres Ton-gestein“ zu Schädigungen wie Rissbildung gekommen sein könnte. Dies hätte bei der Ausweisung des Teilgebietes differenziert betrachtet und dementsprechend berück-sichtigt werden müssen.“

Darüber hinaus stellt aus Hamburger Sicht die Nutzung des Untergrundes durch die bergbau-lichen Tätigkeiten ein weiteres Ausschlusskriterium dar. Die BGE begrenzt dies ausschließlich auf Bergwerke und Kavernen. Andere konkurrierende Nutzungen des Untergrundes wurden im Rahmen der Prüfung durch die BGE nicht aufgenommen. Die Erdölförderung stellt nach unsere Meinung einen starken Eingriff in den Untergrund dar. Insbesondere die teilweise große Anzahl von Bohrungen kann das Deckgebirge nachhaltig stören. Ein Großteil der im

² „Fachliche Position der Staatlichen Geologischen Dienste von Berlin, Brandenburg, Bremen, Ham-burg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein zur Aus-weisung des Teilgebietes „Tertiäres Tongestein“ im Zwischenbericht Teilgebiete der Bundesgesell-schaft für Endlagerung mbH vom 28.09.2020“

Bereich der FHH abgeteufte Erdölbohrungen stammt aus den 40er Jahren des letzten Jahrhunderts. Die Qualität der Bohrung und der Verfüllung könnten heutigen Ansprüchen nicht mehr genügen und Wegsamkeiten schaffen.

Weiterhin ist es aus Hamburger Sicht dringend erforderlich, die Dichte der abgeteufte Bohrungen im Untersuchungsgebiet zu berücksichtigen. Ob bei einer hohen Dichte von Bohrungen, die das Wirtsgestein erreicht haben, eine Einzelbetrachtung mit einem Ausschlussradius von 25 m noch sinnvoll ist, oder hier ein Ausschluss einer Fläche ab einer gewissen Bohrdichte zielführender ist, sollte diskutiert werden.

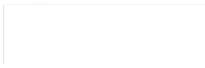
III Schlussfolgerung

Der für HH entscheidende Schritt in der Standortsuche wird die Anwendung der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien sein. Die aktuell laufende intensive Beschäftigung der SGD mit den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien, bezogen auf die einzelnen Teilgebiete, für HH insb. mit 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg „Tertiäres Tongestein“, zeigt, welcher Arbeitsaufwand hier noch zu betreiben sein wird, um alle standortspezifischen Details zu erarbeiten und alle Fragen zu klären. Vor diesem Hintergrund erscheint es nicht zielführend, weiterhin alle Teilgebiete auf der Basis der „weißen Landkarte“ in aller Detailtiefe zu bearbeiten. Vielmehr muss jetzt kurzfristig durch einen ersten Schritt der Anwendung der planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien gem. § 25 StandAG, d.h. durch einen Vergleich zwischen Gebieten, die unter Sicherheitsaspekten als gleichwertig zu betrachten sind, ein Ausschluss von Teilgebieten und Teilflächen erfolgen, für die eine weitere geologische Betrachtung bereits erkennbar nicht verhältnismäßig ist.

HH sieht daher für die Durchführung von Schritt 2 der Phase 1 der Standortauswahl die Notwendigkeit eines iterativen Prozesses, bei dem durch eine abwechselnd anzuwendende Eingrenzung der in Frage kommenden Gebiete mit geowissenschaftlichen und planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien die am besten geeigneten Standorte für eine weitere – zuerst übertägige, später untertägige – Erkundung gefunden werden. Dies ist ausdrücklich nicht als eine Abwägung von geo- und planungswissenschaftlichen Kriterien zu verstehen, sondern als Vergleich innerhalb von gleichwertigen Gebieten. Besonders relevant ist dieser Schritt für sehr große Teilgebiete, d.h. für Teilgebiete, deren Fläche ein Vielfaches der für den Endlagerstandort benötigten Fläche beträgt. Bezogen auf das Teilgebiet 004_... Tertiäres Tongestein zeigt sich, dass das Teilgebiet ca. 63.000 km² groß ist, der gesuchte Endlagerstandort im Tongestein aber nur eine Fläche von 10 (max 30) km² benötigt. Das Teilgebiet ist also bis zu ca. 6.000-mal so groß wie erforderlich.

Durch die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sind bisher z.T. sehr große Gebiete entstanden, für die aufgrund der homogenen Bewertung als günstiger Standort nun zunächst eine Verkleinerung innerhalb des Teilgebietes erfolgen muss, bevor eine weitere Erkundung sinnvoll ist. Hierfür sind die planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien gut geeignet.

Mit freundlichen Grüßen



Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft
Geologisches Landesamt Hamburg
Neuenfelder Straße 19, D-21109 Hamburg
Telefon: +49 40 428 40 



Fachstellungnahme des Geologischen Dienstes im LUNG M-V zum BGE-Zwischenbericht Teilgebiete

Am 28.09.2020 legte die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) den Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG vor. Nach einem zweijährigen Prozess des Sammelns und Bewertens großer geowissenschaftlicher Datenmengen wurden in Deutschland 90 Gebiete ausgewiesen, die günstige geologische Voraussetzungen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle erwarten lassen. Sechs dieser Gebiete befinden sich ganz oder teilweise in Mecklenburg-Vorpommern.

Diese Gebietsausweisungen und die seitens der BGE dafür verwendeten Unterlagen wurden vom Geologischen Dienst im Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG M-V) einer ersten Prüfung unterzogen. Im vorliegenden Bericht werden für die einzelnen Teilgebiete die Analyseergebnisse erläutert sowie Probleme benannt. Zudem gibt es Hinweise, welche Daten im weiteren Evaluierungsprozess noch berücksichtigt werden sollten, um aus fachlicher Sicht ungeeignete Gebiete frühzeitig auszuschließen und zukünftig zielgerichtete Untersuchungen in den verbleibenden Arealen durchführen zu können.

1. Steinsalz des Zechstein in stratiformer Lagerung

Teilgebiet 078_08TG_197_08IG_S_f_z (Südwest-Rügen mit Hiddensee; S. 396 ff)

Dieses Teilgebiet umfasst den Südwesten der Insel Rügen (westlich Bergen bis Ummanz) und den angrenzenden Ostseebereich sowie den Südtail der Insel Hiddensee. Laut BGE wird in dem 318 km² großen Gebiet Steinsalz des Zechstein in stratiformer Lagerung mit einer maximalen Mächtigkeit von 340 m erwartet. Die Basisfläche befindet sich in einer Teufe von 1.060 m bis 1.500 m unter der Geländeoberkante (GOK).

Nach den im LUNG M-V vorliegenden Unterlagen ist die Verbreitung des Zechstein in dem o.g. Tiefenbereich zwar durch Isolinien des seismischen Reflektors Z1 (= Basis Werra-Anhydrit; vgl. REINHARDT et al. 1968-1991) und Bohrungen belegt, aber dabei handelt es sich überwiegend um eine karbonatische und sulfatische Randfazies. Der Reflektor Z3 (= Top Basalanhydrit der Staßfurt-Formation), der auf Rügen ungefähr die nordöstliche Verbreitung von Steinsalz der Staßfurt- bis Aller-Formation aufzeigt, ist aber nur im südwestlichen Randbereich des von der BGE ausgewiesenen Gebietes vorhanden (*Abb. 1*).

Auch die verfügbaren Bohrungsinformationen, insbesondere Schichtenverzeichnisse und Kernproben, belegen keine Salzmächtigkeit >100 m. In der einzigen Tiefbohrung im Gebiet, in der E Gingst 1/1973 ist kein Steinsalz vorhanden; erst Bohrungen südlich des ausgewiesenen Teilgebietes zeigen Steinsalzvorkommen an, allerdings nicht mit der erforderlichen Mächtigkeit, z.B. die E Samtens 101/1962 mit 57 m Staßfurt-Steinsalz, 9 m Unteres Leine-Steinsalz und 22 m Oberes Leine-Steinsalz. Auch nach den von der BGE verwendeten paläogeographischen Karten liegt das ausgewiesene Gebiet im Randbereich des ehemaligen Zechsteinmeeres, d.h. auf der Karbonatplattform mit lokal geringmächtigen Salzeinlagerungen.

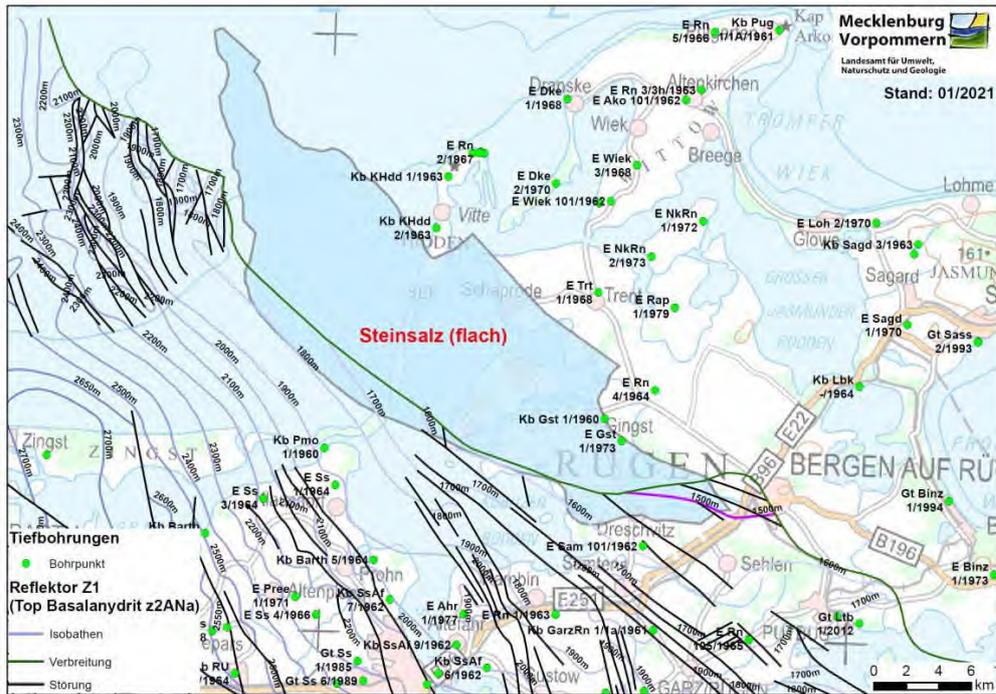


Abb. 1: Lage des BGE-Teilgebietes 078_08TG_197_08IG_S_f_z. Die Isolinien markieren die Tiefenlage des Z1-Reflektors und zeigen die Verbreitung von Zechsteinsalzen im Nordosten von Mecklenburg-Vorpommern an. Die Linie 1.500 m u. NN ist violett hervorgehoben.

2. Steinsalz des Zechstein in steiler Lagerung

Teilgebiet 022_00TG_019_00IG_S_s_z (Anteil am Salzstock Werle; S. 201 f)

Das Teilgebiet befindet sich im Grenzbereich zwischen Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg. Der aufgrund bisheriger geophysikalischer Erkundungen und Tiefbohrungen bekannte Umriss des Salzstocks Werle entspricht in etwa diesem Teilgebiet, wobei im westlichen Teil ein Versatz im Umringspolygon auftritt, vermutlich aufgrund nicht harmonisierter Datensätze beiderseits der Grenze. Das ausgewiesene Areal umschließt auch den mittels Bohrungen nachgewiesenen Überhang der pilzförmigen Salzstruktur, wodurch sich bei einer Berücksichtigung die Ausdehnung des Wirtsgesteins verringert. Zahlreiche Bohrungen auf der Struktur vermindern ebenfalls die zusammenhängenden, „unbeeinflussten“ Bereiche.

Eine vertikale Salzmächtigkeit >100 m ist durch verschiedene Bohrungen belegt, jedoch sind auch Kalisalzeinschaltungen dokumentiert, die für ein Endlager ungünstige gebirgs- und gesteinsmechanische Eigenschaften aufweisen, z.B. ein erhöhtes Kriechverhalten und eine höhere Löslichkeit.

3. Tonsteine des Unteren Jura

Teilgebiet 006_00TG_188_00IG_T_f_ju (Anteile in West-Mecklenburg; S. 150 ff)

Das Teilgebiet umfasst großflächig unterjurassische Tonsteinvorkommen in verschiedenen norddeutschen Bundesländern; in Mecklenburg-Vorpommern ist besonders der westliche Landesteil betroffen (Abb. 2).

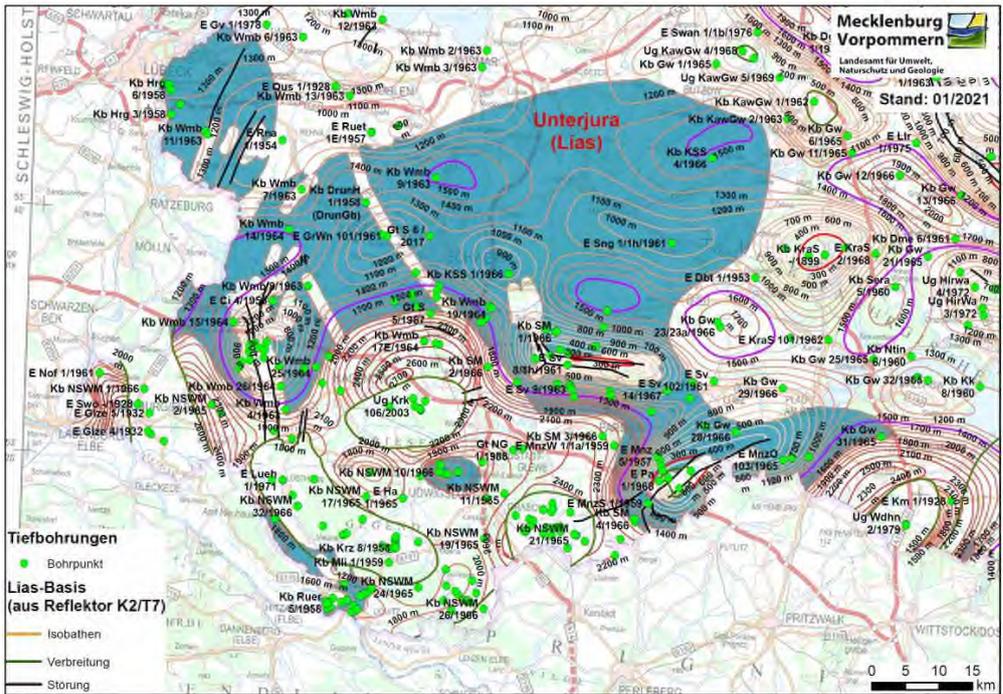


Abb. 2: Das BGE-Teilgebiet 006_00TG_188_00IG_T_f_ju im Westen von Mecklenburg-Vorpommern. Die Isolinien markieren die Tiefenlage der Lias-Basis, die aus dem K2/T7-Reflektor und Bohrungsdaten ermittelt wurden. Die Linien 300 m u. NN und 1.500 m u. NN sind rot bzw. violett hervorgehoben.

Der Untere Jura (= Lias) hat laut BGE in diesem Teilgebiet eine maximale Mächtigkeit von 1.200 m. Die Basisfläche befindet sich in einer Teufe von 400 m bis 1.500 m unter GOK. Anhand der im LUNG M-V vorhandenen Daten zur Lias-Basis, die sich auf die Auswertung geophysikalischer Untersuchungen und von Bohrergebnissen stützt, kann das Gebiet in der vorliegenden Ausdehnung nicht nachvollzogen werden. Es umfasst offensichtlich Areale, die deutlich tiefer liegen, z.B. nordwestlich von Dömitz oder im Raum Ludwigslust.

Die Mächtigkeit der Tonsteine >100 m ist nicht flächendeckend belegt. Der Bereich südöstlich von Lübeck ist nur durch die Tiefbohrung E Ganzow 1/1h/1978 repräsentiert, die aber keine 100 m homogene unterjurassische Tonsteine angetroffen hat bzw. das Kriterium Mindestmächtigkeit nur inklusive von Wechselfolgen aus Tonstein, Tonmergelstein und Siltstein erfüllt.

Bei der Bewertung der Mindestanforderungen und Abwägungskriterien durch die BGE wurden moderne sedimentologische Untersuchungen und Faziesanalysen im östlichen Teil des Norddeutschen Beckens bisher nicht berücksichtigt. Beispielsweise konnten im Rahmen der F&E-Verbundvorhaben „Sandsteinfazies“ und „GeoPoNDD“ (weitere Informationen unter www.sandsteinfazies.de) u.a. die Faziesverteilung (Lithofaziestypen und -assoziationen, Ablagerungssysteme) für den Lias und Dogger kartiert werden. Feinklastische marine Ablagerungen wechseln demnach lateral und vertikal mit gröberen, sand-betonnten Deltasedimenten, die sich bevorzugt in Rinnen ablagerten. Die ehemaligen Deltasysteme bauten sich seit dem Rätkeuper immer wieder von Nordosten nach Südwesten vor, wobei sich diese mit der Zeit seitlich verlagerten (Abb. 3).

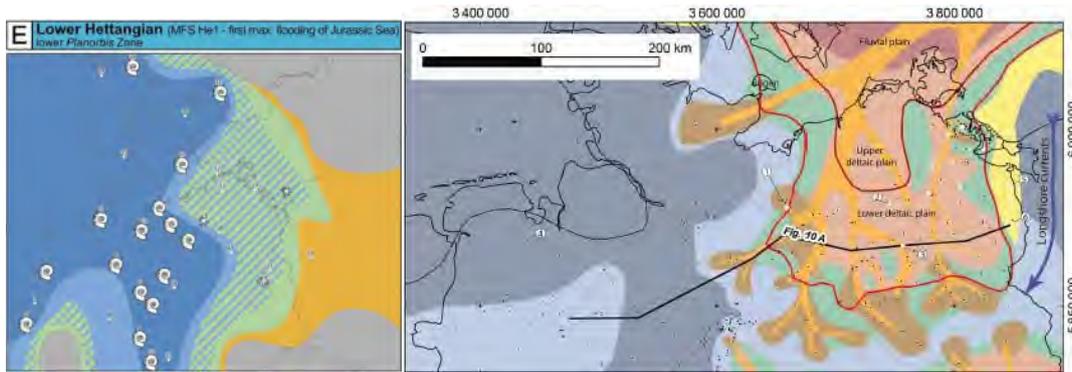


Abb. 3: Beispiele für Faziesanalysen im Unteren und Mittleren Jura. Paläogeographische Übersichtskarte des Unter-Hettang (Lias) aus BARTH et al. (2018; links); Rekonstruktion des flussdominierten Deltasystems im Ober-Aalen (Dogger) aus ZIMMERMANN et al. (2018; rechts).

Einen ausgedehnten Bereich mit mindestens 100 m mächtigen homogenen Tonsteinen wird es im Ostteil des Norddeutschen Beckens im Unteren und Mittleren Jura daher kaum geben. Zumal die sandige Fazies nicht nur in den Verteilerrinnen auftritt, sondern auch in den angrenzenden Überschwemmungsbereichen weit verbreitet ist.

4. Tonsteine des Mittleren Jura

Teilgebiet 05_00TG_055_00IG_T_f_jm (Anteile in Süd-Mecklenburg; S. 147 ff)

Das Teilgebiet erstreckt sich vom südlichen Niedersachsen bis zum nördlichen Brandenburg und streift randlich auch Mecklenburg-Vorpommern. Es umfasst die stratigraphische Einheit Mittlerer Jura (Dogger). Laut BGE erreicht diese im Gebiet eine maximale Mächtigkeit von 1.200 m, liegt die Basisfläche in einer Teufe von 400 m bis 1.500 m unter GOK. Nach Einschätzung der BGE sind Tonsteine des Bathon und Callov sowohl im Südwesten als auch im Südosten von Mecklenburg-Vorpommern mit Mächtigkeiten ≥ 100 m vorhanden.

Anhand der Verbreitung und Tiefenlage des L1-Reflektors (unterhalb Top Toarc) sind Ablagerungen des Dogger im Südosten des Landes in dem für die Endlagerung erforderlichen Tiefenbereich nachgewiesen (Abb. 4). Im Südwesten jedoch sind im Bereich des Salzstocks Werle keine Ablagerungen des Dogger vorhanden bzw. befinden sich großenteils in Tiefen > 1.500 m u. NN (Abb. 5). Erstaunlicherweise wird auf diesen letzten Fakt auch im zum BGE-Zwischenbericht zugehörigen Datenbericht Teil 2 von 4 auf S. 548 hingewiesen, aber bei der Gebietsausweisung nicht berücksichtigt.

Auch die Erfüllung des Kriteriums der Mindestmächtigkeit für das Teilgebiet basiert nur auf wenigen Bohrungen, in denen die Tonsteine des Bathon bis Callov > 100 m (kumulativ) mächtig sind. Aufgrund sedimentologischer Untersuchungen (s.o.) sind lokal rasche Fazieswechsel von Ton über Schluff zu Sand zu erwarten. Dementsprechend treten laterale Mächtigkeitschwankungen toniger Abschnitte auf. Im Südosten enthält die Bohrung E Penkun 1/1h2/1971 etwa 100 m Tonsteine mit schluffigen Einschaltungen und die Bohrung Kb Löcknitz 1E/1965 sogar nur 62 m Tonsteine mit sandigem Zwischenmittel. Im Südwesten sind beispielsweise in der Bohrung E Karstädt Nord 1/1958 nur 70 m Tonsteine kumulativ vorhanden.

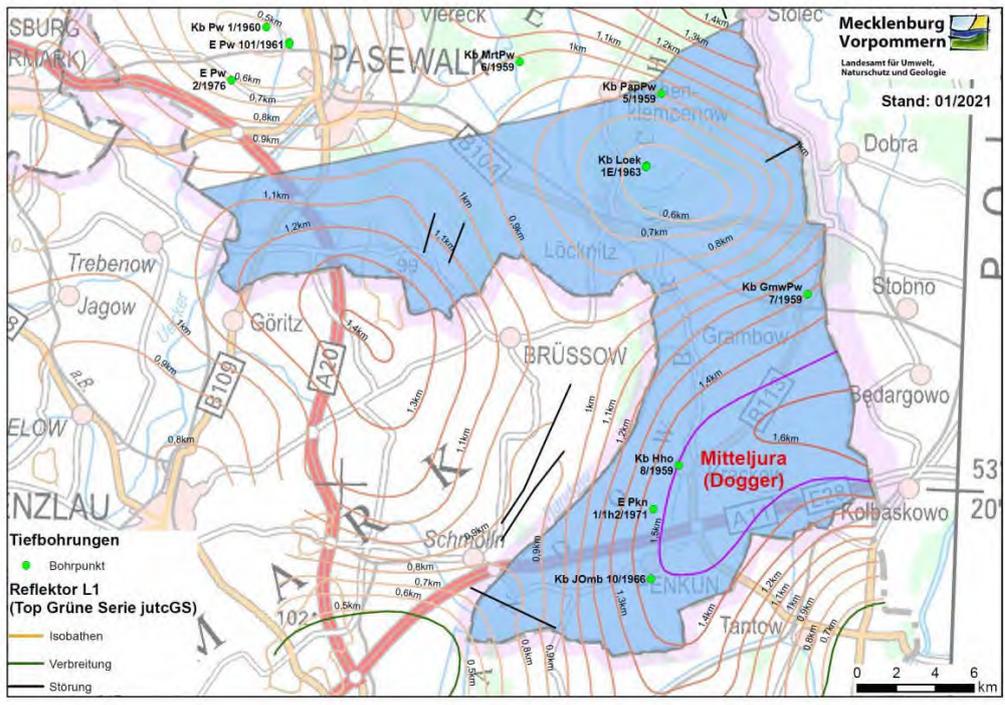


Abb. 4: Ausschnitt aus dem BGE-Teilgebiet 05_00TG_055_00IG_T_f_jm im Südosten von Mecklenburg-Vorpommern. Die Isolinien markieren die Tiefenlage des L1-Reflektors nahe der Dogger-Basis. Die Linie 1.500 m u. NN ist violett hervorgehoben.

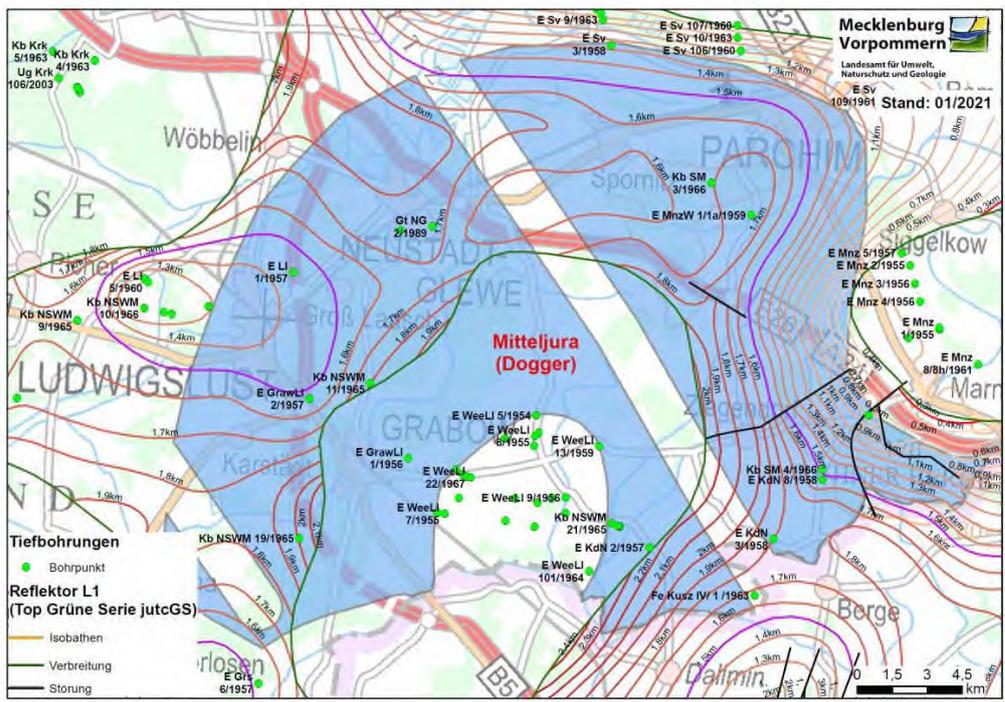


Abb. 5: Ausschnitt aus dem BGE-Teilgebiet 05_00TG_055_00IG_T_f_jm im Südwesten von Mecklenburg-Vorpommern. Die Isolinien markieren die Tiefenlage des L1-Reflektors nahe der Dogger-Basis. Die Linien 300 m u. NN und 1.500 m u. NN sind rot bzw. violett gefärbt.

5. Tonsteine der Unterkreide

Teilgebiet 007_00TG_202_02IG_T_f_kru (Anteile in Südwest-Mecklenburg; S. 153 ff)

Das BGE-Teilgebiet umfasst die Unterkreide und erstreckt sich vom Grenzbereich Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen bis in den Nordwesten von Brandenburg. Auch der Südwesten von Mecklenburg-Vorpommern ist betroffen (Abb. 6). In diesem Gebiet haben die unterkretazischen Abfolgen eine maximale Mächtigkeit von 1.200 m. Die Basisfläche des Teilgebietes befindet sich in einer Tiefe zwischen 400 m und 1.500 m unter GOK.

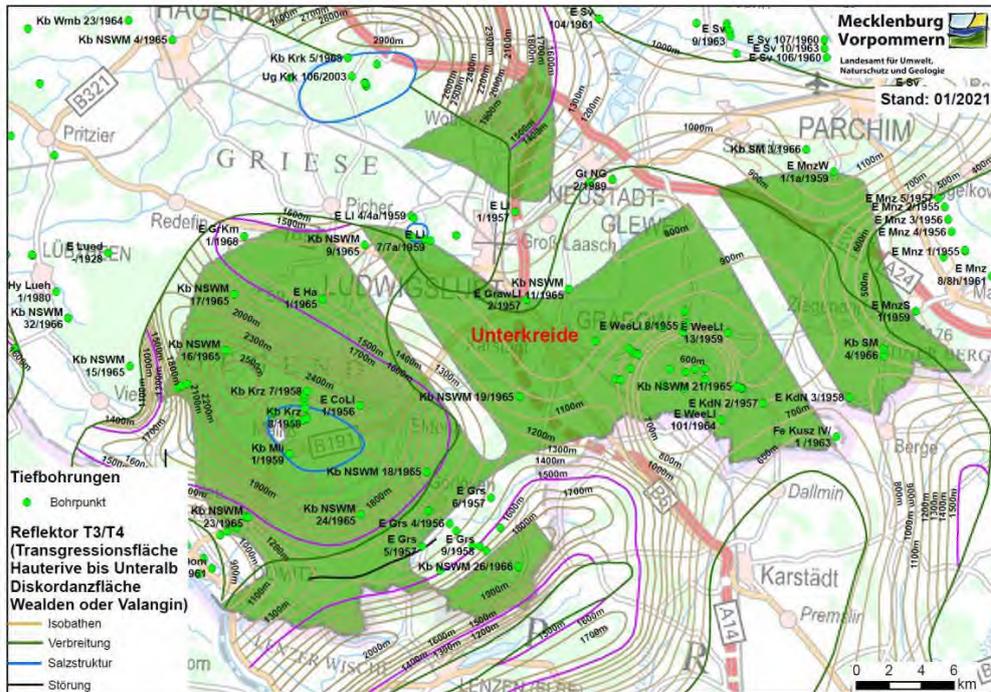


Abb. 6: Ausschnitt aus dem BGE-Teilgebiet 007_00TG_202_02IG_T_f_kru im Südwesten von Mecklenburg-Vorpommern. Die Isolinien zeigen die Tiefenlage des T3/T4-Reflektors nahe der Unterkreide-Basis an. Die Linie 1.500 m u. NN ist violett hervorgehoben. Salzstockumrisse sind blau markiert.

Die Isolinien des T3/T4-Reflektors, welche die Tiefenlage der Basis der Unterkreide anzeigen, fehlen im Ausbissbereich des Salzstocks Conow bei Malliß in Südwest-Mecklenburg. Oberhalb des Salzes sind auch keine Ablagerungen der Unterkreide vorhanden. In der angrenzenden sekundären Randsenke sind zwar Unterkreide-Abfolgen nachgewiesen, ihre Basis liegt aber deutlich unterhalb einer Tiefe von 1.500 m u. NN. In der Bohrung E Conow 1/1956 befindet sich sogar der Top der Unterkreide bereits in einer Tiefe von 1.420 m.

Mächtigkeiten der Unterkreide-Tonsteine ≥ 100 m können in Bohrungen teilweise nur erreicht werden, wenn auch die Mergelsteine des Apt bis Alb hinzugezogen werden, z.B. in der E Ludwigslust 1/1957 oder E Dömitz 5/1960.

6. Tonsteine des Tertiär (Unteres Paläogen)

Teilgebiet 004_00TG_053_00IG_T_f_tpg (Anteil im Westen von M-V; S. 144 ff)

Das Teilgebiet beinhaltet die stratigraphischen Einheiten Paläozän und Eozän des Tertiär und umfasst weite Teile Norddeutschlands. Diese haben im Gebiet eine maximale Mächtigkeit von 1.055 m. Die Basisfläche befindet sich in einer Tiefe von 400 m bis 1.500 m unter GOK. In Mecklenburg-Vorpommern wurden vor allem Tiefbohrungen und thematische Karten zur Abgrenzung herangezogen. Ergänzend dazu kann auch der seismische Reflektor T1 verwendet werden, der die transgressive Basis des Tertiär in Nordostdeutschland abbildet (Abb. 7).

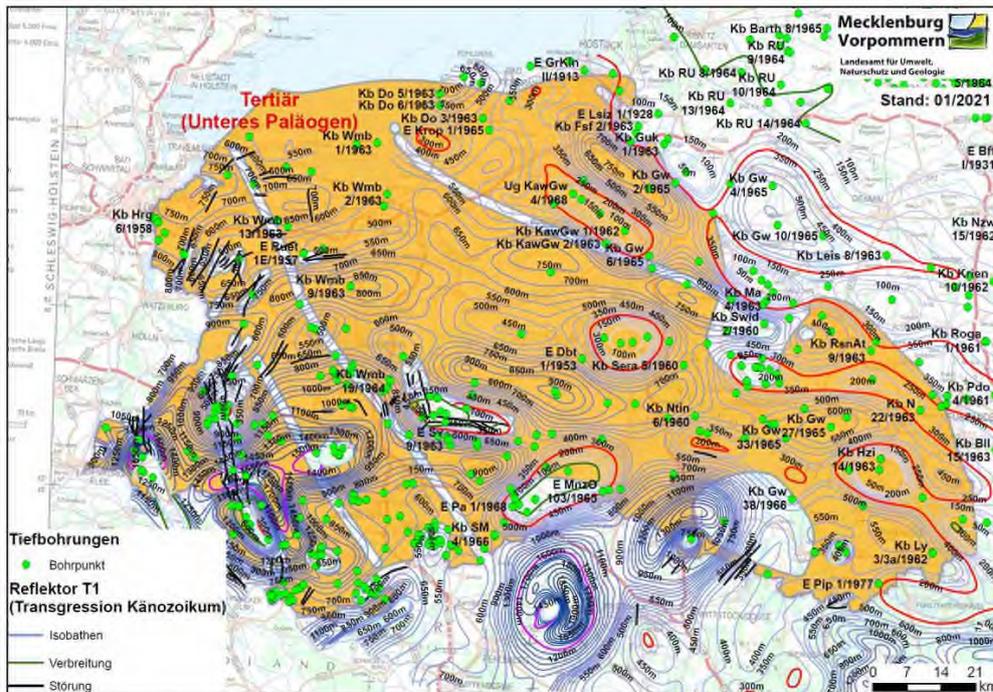


Abb. 7: Ausschnitt aus dem BGE-Teilgebiet 007_00TG_202_02IG_T_f_kru im Westen von Mecklenburg-Vorpommern. Die Isolinien des T1-Reflektors repräsentieren die Tiefenlage der Tertiär-Basis. Die Linien 300 m u. NN und 1.500 m u. NN sind rot bzw. violett hervorgehoben.

Die Isolinien des T1-Reflektors zeigen an, dass das von der BGE ausgewiesene Teilgebiet auch Bereiche oberhalb von Salzstrukturen einschließt, in denen sich die Basis der alttertiären Abfolgen nicht tiefer als 300 m u. NN befindet. Dies betrifft die Salzkissen Brustorf, Karow-Schwaan, Krakow am See, Marnitz, Neubukow und Triepkendorf. Teilweise fehlt das Tertiär im Top dieser Antiklinalstrukturen völlig.

In den zahlreich vorhandenen Bohrungen sind die Abfolgen des Paläozän und Eozän häufig >100 m mächtig. Jedoch bestehen diese bis etwa 600 m Tiefe überwiegend aus unverfestigten und damit noch plastischen Tonen und enthalten teilweise auch Ton/Schluff-Wechsellagerungen. Aufgrund ungünstiger geomechanischer Eigenschaften und erhöhter Sensitivität gegenüber Temperaturerhöhungen sollten diese Bereiche von einer weiteren Betrachtung ausgenommen werden.

Literatur

BARTH, G., FRANZ, M., HEUNISCH, C., ERNST, W., ZIMMERMANN, J. & WOLFGRAMM, M. (2018): Marine and terrestrial sedimentation across the T-J transition in the Central European Basin. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **489**: 74-94.

REINHARDT, H.-G. & GRUPPE REGIONALES KARTENWERK (1968-1991): Regionales Kartenwerk der Reflexionsseismik; Tiefenlinienpläne und Mächtigkeitskarten 1:100.000, 1:200.000, 1:500.000. – Leipzig (VEB Geophysik) [unveröff.].

ZIMMERMANN, J., FRANZ, M., SCHALLER, A. & WOLFGRAMM, M. (2018): The Toarcian-Bajocian deltaic system in the North German Basin: subsurface mapping of ancient deltas – morphology, evolution and controls. – *Sedimentology* **65**: 897-930.

Güstrow, den 03.02.2021


Dezernat 360 (Tieferer Untergrund/Geothermie)
Geologischer Dienst im LUNG Mecklenburg-Vorpommern



**Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie**

Der Präsident

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
Postfach 51 01 53, 30631 Hannover

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)
Eschenstraße 55
31224 Peine

nachrichtlich an: Nationales Begleitgremium
(NBG)

Bearbeitet von LBEG

Ihr Zeichen, Ihre Nachricht vom

Mein Zeichen (Bei Antwort angeben)
L3/L68032-01/2020-0016

Hannover
02.02.2021

E-Mail
poststelle@lbeg.niedersachsen.de

BGE-Zwischenbericht Teilgebiete (28.09.2020) Stellungnahme des Staatlichen Geologischen Dienstes von Niedersachsen

Sehr geehrter Herr Kanitz,

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) hat nach §13 Standortauswahlgesetz am 28.9.2020 den Zwischenbericht Teilgebiete veröffentlicht. Im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz hat das LBEG eine erste kursorische Bewertung des Zwischenberichts Teilgebiete vorgenommen. Die Bewertung wird dabei getragen von dem Ansinnen, die geowissenschaftliche Expertise des Landes Niedersachsen kritisch konstruktiv in den Prozess des Standortauswahlverfahrens einzubringen.

Gegenstand der Stellungnahme des LBEG ist zunächst die kritische Würdigung der Methodik zur Anwendung der Ausschlusskriterien, der Mindestanforderungen und der Geowissenschaftlichen Abwägungskriterien für Niedersachsen. Die Stellungnahme, die dementsprechend in drei Teilen aufgebaut ist (Anlage 1, 2 und 3) stellt hierbei einen ersten Zwischenstand der Bewertung dar und wird im Sinne eines „Living Paper“ fortgeschrieben. Eine vertiefte regionalgeologische Befassung mit den in Niedersachsen ausgewiesenen Teilgebieten wird erst in einem weiteren Schritt erfolgen.

Grundsätzlich ist zu würdigen, dass Sie mit dem Zwischenbericht und seinen untersetzenden Unterlagen eine umfangliche und in weiten Teilen ausführliche Dokumentation über die Ermittlung der Teilgebiete nach §13 StandAG vorgelegt haben. Die Unterlagen ermöglichen in weiten Teilen, die Entscheidungswege und Arbeitsschritte nachzuvollziehen und benennen die eingesetzten Datengrundlagen.

Dienstgebäude
GEOZENTRUM HANNOVER
Stilleweg 2
30655 Hannover
Verkehrsbindung
Stadtbahnlinie 7 bis Pappelwiese

Telefon
0511 643-0
Telefax
0511 643-
E-Mail
Poststelle@lbeg.niedersachsen.de
Internet
<http://www.lbeg.niedersachsen.de>

Bankverbindung
Nord/LB
IBAN: DE 84 2505 0000 0106 0223 95
SWIFT-BIC: NOLA DE 2H XXX

Steuernummer
Steuernummer beim Finanzamt Hannover Nord:
25/202/29467
USt. – ID- Nummer:
DE 811289769
Leitweg-ID:
03-0253000000-19

Erschwert wird die Nachvollziehbarkeit (im Sinne der Rückverfolgbarkeit der Entscheidungswege und der Dokumentation) mit zunehmender Vertiefung der Anwendung der Kriterien (Ausschlusskriterien → Mindestanforderungen → Abwägungskriterien) durch die vielfachen Verweise auf untersetzende Unterlagen, die in der weiteren Bewertung zu sehr komplexen und aufwändigen Bearbeitungsschritten führen. Insbesondere zu den Mindestanforderungen (Anlage 2) und den Abwägungskriterien (Anlage 3) kann das LBEG aufgrund der hohen und ausgeprägten Komplexität der Fragestellungen und der Vielzahl der untersetzenden Unterlagen derzeit noch nicht umfassend und vollständig Stellung nehmen. Dementsprechend steht in vielen Bereichen auch eine abschließende Bewertung des von der BGE gewählten Vorgehens, über die eigentliche Nachvollziehbarkeit der einzelnen Arbeitsschritte hinaus, noch aus. Dies wird in den nächsten Wochen und Monaten zunehmend erfolgen.

Das LBEG leistet damit bereits jetzt einen konstruktiven Beitrag für die Diskussion der geowissenschaftlichen Fragestellungen im Standortauswahlverfahren in Niedersachsen und steht für einen wissenschaftlichen Diskurs im Sinne eines lernenden Verfahrens zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

Anlagen

Anlage 1: Stellungnahme (Bearbeitungsstand 25.01.2021) - Methodik zur Anwendung der Ausschlusskriterien im „BGE-Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 28.09.2020)

Erste überschlägige Bewertung der Methodik zur Anwendung der Ausschlusskriterien „Großräumige Vertikalbewegungen“, „Aktive Störungszonen“, „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“, „Seismische Aktivität“ und „Vulkanische Aktivität“.

Anlage 2: Stellungnahme (Bearbeitungsstand 25.01.2021) - Methodik zur Anwendung der Mindestanforderungen im „BGE-Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 28.09.2020)

Erste überschlägige Bewertung folgender Punkte:

- Anwendung der Datengrundlagen
- Größe der Gebiete mit erfüllten Mindestanforderungen
- Anwendung der Mindestanforderungen – Wirtsgestein Steinsalz
- Anmerkungen zur Methodik der Anwendung der Mindestanforderung „Gebirgsdurchlässigkeit“

Anlage 3: Stellungnahme (Bearbeitungsstand 25.01.2021) - Methodik zur Anwendung der Abwägungskriterien im „BGE-Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 28.09.2020)

Erste überschlägige Bewertung folgender Anlagen zu § 24 Absatz 3 StandAG (die hier gelisteten Anlagen nach §24 sind noch nicht abschließend bearbeitet und werden weiter fortgeschrieben):

- Zu Anlage 1 (zu § 24 Absatz 3): Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich
- Zu Anlage 5 (zu § 24 Absatz 4): Kriterium zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften
- Zu Anlage 7 (zu § 24 Absatz 5): Kriterium zur Bewertung der Gasbildung
- Zu Anlage 9 (zu § 24 Absatz 5): Kriterium zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich
- Zu Anlage 10 (zu § 24 Absatz 5): Kriterium zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse
- Zu Anlage 11 (zu § 24 Absatz 5): Kriterium zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge

Anlage 1

Stellungnahme

Bearbeitungsstand 01.02.2021

Methodik zur Anwendung der Ausschlusskriterien im „BGE-Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 28.09.2020)

Anlass

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat am 28.09.2020 den „Zwischenbericht Teilgebiete“ gemäß § 13 Abs. 2 S. 3 StandAG veröffentlicht.

Gegenstand dieser Stellungnahme ist eine kritische Würdigung der Methodik zur Anwendung der Ausschlusskriterien für Niedersachsen.

Diese Stellungnahme stellt eine erste Bewertung dar und wird fortgeschrieben.

Ergebnis der ersten überschlägigen Prüfung/ Bewertung

Datengrundlagen

Die Beschreibung der Datenabfragen und –aufbereitung sowie deren Dokumentation erscheint nach der ersten Sichtung nachvollziehbar.

Der Verfahrensgrundsatz der BGE „ausgeschlossene Gebiete im Zweifel flächenhaft eher zu unter- als zu überschätzen“ ist in dieser frühen Phase des Verfahrens grundsätzlich nachvollziehbar, da man erwartet, dass sich bei erneuter Anwendung der Ausschlusskriterien in jeder Phase des Standortauswahlverfahrens die ausgeschlossenen Gebiete im Laufe des Verfahrens mit steigendem Kenntnisstand vergrößern können.

Ausschlusskriterium „Großräumige Vertikalbewegungen“

Die Ausführungen erscheinen für Niedersachsen nach der ersten Sichtung nachvollziehbar.

Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“

Tektonische Störungszonen

Die Anwendungsmethodik der BGE beruht auf der Bewertung und ggf. Übernahme von Vorschlägen Dritter (z. B. den Geologischen Diensten) zur Aktivität von Störungen, auf der Einstufung von Störungslinien als aktiv, die geologische Einheiten mit einem Maximalalter von 34 Millionen Jahren versetzen und auf der Einstufung von Störungen als aktiv, die in einer „tektonisch aktiven Großstruktur“ liegen. Weiterhin wird das Ausschlusskriterium „Aktive

Störungen“ mit pauschalem Ausschlussbereich angewendet. Diese Vorgehensweise ist aus Sicht des LBEG für die erste Phase der Standortauswahl nachvollziehbar. Bezogen auf den Einzelfall, d.h. auf individuelle Störungen in Niedersachsen und deren Bewertung durch die BGE, ist die Vorgehensweise im Zwischenbericht Teilgebiete und den untersetzenden Unterlagen jedoch nicht ausreichend erläutert, um die Plausibilität abschließend bewerten zu können. Für den weiteren Verfahrensablauf sollten die konkreten Empfehlungen im fachlichen Positionspapier der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) vom 07.10.2020 berücksichtigt werden:

https://www.infogeo.de/Infogeo/DE/Downloads/2020_10_07_ausschlusskriterium_aktive_stoerungszonen.html

Insbesondere wird für den weiteren Verfahrensablauf eine Einzelfallbetrachtung der Störungen und eine auf Auswertungen und fachlichen Kriterien basierende, standortspezifische Bemessung des Sicherheitsabstandes für erforderlich gehalten. Dabei ist davon auszugehen, dass Störungen unter der weiträumigen quartären Überdeckung Niedersachsens, die aus anderen Quellen als den von der BGE bisher verwendeten Unterlagen bekannt sind oder ermittelt werden können, nicht erfasst wurden. Aus dem Zwischenbericht Teilgebiete und den untersetzenden Unterlagen ist allerdings nicht eindeutig nachvollziehbar, welche der der BGE vorliegenden Informationen für die Bewertung der einzelnen Störungen und deren Aktivität in Niedersachsen herangezogen wurden. Im weiteren Verfahren sollten alle verfügbaren Informationen, sowohl digital wie auch analoger Art, verwendet werden, beispielsweise auch großmaßstäbliche geologische Karten, die verfügbare Seismik, sowie Ergebnisse aus wissenschaftlichen Untersuchungen (soweit nicht bereits berücksichtigt). Für die Bewertung der nachweisbaren oder wahrscheinlichen Aktivität einer Störung in den letzten 34 Ma sollten außerdem alle aus fachlicher Sicht relevanten Aspekte, beispielsweise die im fachlichen Positionspapier der SGD näher ausgeführten Bewertungskriterien, für individuelle Störungen berücksichtigt werden.

Ergänzende Anmerkungen zu / U2/ :

Zu Kap. 7.3 (Datengrundlage und Datenaufbereitung):

Tabelle 4 enthält eine Auflistung der Datengrundlagen für jedes Bundesland. Für Niedersachsen werden in Tabelle 4 der GTA 3D und die Strukturkarten des GTA nicht erwähnt, obwohl offensichtlich Störungen mit Raumlagen aus 3D-Modellen abgeleitet wurden.

Zu Kap. 7.4.2.: Zu 2.) Ausweisung von aktiven Störungen in geologischen Einheiten jünger 34 Millionen Jahre:

Ziel war es Störungen auf Basis einer bundesweit einheitlichen Datengrundlage zu identifizieren und damit die regionalen Datensätze zu ergänzen. Als Datengrundlage diente daher die Geologische Übersichtskarte Deutschlands im Maßstab 1:250 000 (GÜK250).

Hierbei ist zu beachten, dass die Geologische Übersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:250 000 (GÜK250) „nur“ die oberflächennahe Geologie von Deutschland abbildet. Generell bezieht sich der Begriff „oberflächennahe Geologie“ auf geologische Bildungen bis zur einer Tiefe von 2 m, welches besonderes für Norddeutschland und insbesondere für Niedersachsen zutrifft.

Die Ausweisung aktiver Störungszonen erfolgte durch die Verschneidung von Störungsspuren mit geologischen Einheiten, die ein Alter von 34 Millionen Jahren oder jünger aufweisen. „Vermutete“ Störungen wurden nicht berücksichtigt. Es wurde eine automatisierte Verschneidung in ArcGIS durchgeführt, danach Qualitätsprüfung, es wurden nur Störungssegmente verwendet, die post-eozäne Schichten durchziehen oder begrenzen. Um sinnvolle Ergebnisse zu erzielen erfolgte eine „manuelle“ Vervollständigung der Aktivitätsbewertung. Zu Abbildung 6 (schematische geologische Karte): Bei Störungen in präoligozänen Schichten konnte eine Aktivität nicht bestimmt werden.

Anmerkungen: Die Methode ist einerseits plausibel, da kartierte Störungsspuren, die junge Schichten durchziehen, genutzt werden. So werden mit einer brauchbaren Annäherung die aktiven Störungen ermittelt. Es ist aber andererseits nicht klar, welche Dokumente (Karten) zur Bewertung von speziellen Störungen genutzt worden sind (Welche Karte? Welches Modell? Welche Literatur?). Die Vorgehensweise wird zwar generell erläutert, kann aber wegen der vielen Variablen nicht nachvollzogen werden, da es bei der Ausweisung von aktiven Störungen sehr große, geowissenschaftliche Ermessensspielräume (z. B. „manuelle Vervollständigung“) gibt.

Zu Kap. 7.4.1: zu 3.) Ausweisung aktiver Störungszonen in tektonisch aktiven Großstrukturen

Hiervon ist Niedersachsen nicht betroffen.

Zu Kap. 7.5 Ergebnisse:

Von den bundesweit ca. 600.000 Störungssegmenten, die die BGE im Rahmen der Datenabfrage zum Ausschlusskriterium „aktive Störungszonen – tektonische Störungszonen“ erhalten und ausgewertet hat, konnten bei 30.780 Störungssegmenten Bewegungen seit dem Rupel identifiziert werden. Diese werden als Übersichtskarte in Abbildung 17 dargestellt.

Anmerkungen: Niedersachsen hat bei seiner Datenlieferung an die BGE keine aktiven Störungszonen benannt. Das LBEG hat dazu in seiner Datenlieferung an die BGE vom

29.01.2019 vermerkt:

„An die BGE wird der Datensatz „Geotektonischer Atlas 3D (GTA-3D)“ übergeben (Ordner BGE-GTA3D, inklusive Dokumentation). In diesem Datensatz sind die im LBEG bekannten Informationen und Unterlagen zu Störungszonen eingearbeitet und können im räumlichen und fachlichen Kontext ausgewertet werden.“

„Eine nach Störungsalter gezielte Differenzierung, insbesondere nach Störungszonen, die in den letzten 34 Millionen Jahren aktiv waren, liegt dem LBEG nicht vor. Weitere Informationen zu Störungen befinden sich in der Geologischen Karte 1:50.000 (GK50), die jedoch auch nicht nach Störungsalter differenziert sind. Der Datensatz (GK50) kann, sofern gewünscht, zusätzlich bereitgestellt werden (Anm.: der Datensatz wurde nachgeliefert).

Ob in den im LBEG zusätzlich vorhandenen räumlich oder regional begrenzten geologischen 3D-Modellen nutzbare Hinweise/ Darstellungen über aktive Störungen jünger als Unter-Oligozän auftreten, ist nicht spezifisch ausgewertet worden.“

Im Zwischenbericht sind für Niedersachsen zahlreiche aktive Störungen sowohl im Flachland als auch im Bergland identifiziert worden. Die Nachvollziehbarkeit ist im Einzelfall nicht möglich, die Dokumentation ist z.T. für die vielen als aktiv identifizierten Störungen in Niedersachsen nicht schlüssig. Anscheinend ist ein Großteil dieser Störungen den Strukturkarten von Baldschuhn et al (2001) bzw. dem GTA3D entnommen, was aber in Tab. 4 nicht angegeben wird. Eine lokale Einzelprüfung ist mit den dargelegten Informationen nicht möglich.

Die Vollständigkeit, Richtigkeit und die annähernd exakte Lage von tektonisch aktiven Störungen/ Störungszonen und der daraus abgeleiteten Ausschlussgebiete ist wegen vieler Variablen und Interpretationsmöglichkeiten prinzipiell mit großen Unsicherheiten behaftet. Dieses ist damit zu begründen, dass Störungen oftmals nicht erkennbar oder nur vermutet sind (wenn sie z.B. unter Bedeckung sind oder innerhalb einer Einheit liegen) und dass Versatzbeträge und die Zeiten ihrer Aktivität zumeist nur indirekt zu ermitteln sind. D.h. es ist prinzipiell mit weiteren, noch nicht kartierten Störungen aber auch möglicherweise mit einer überschätzten Anzahl an kartierten Störungen zu rechnen. Ebenso können sich durch weitere geologische Informationen die Lagen von Störungsverläufen verschieben. Die von der BGE benutzten Datengrundlagen (Karten usw.) können mit Fehlern behaftet sein, stellen aber gleichzeitig in dieser Phase die einzig verfügbare Datengrundlage dar.

Die von BGE angewendete Methodik ist für diese erste Phase der Standortauswahl vor allem eine schnelle und von Pragmatismus geleitete Methode, um die aktiven Störungen herauszufiltern. Jedoch werden damit viele prä-oligozän aktive Störungen nicht erfasst, wenn sie, wie z.B. in Niedersachsen der Fall, von jungen Sedimenten bedeckt sind.

Atektonische Störungszonen

Die Anwendungsmethoden sind grundsätzlich plausibel und nachzuvollziehen. Defizite bestehen derzeit bei der Dokumentation der Datenverarbeitung zur Ableitung der Ausschlussgebiete. Die stichprobenartige Prüfung der Datenlage kann aufgrund o.g. Defizite

zum derzeitigen Stand nicht abschließend vorgenommen werden. Die eindeutige und nachvollziehbare Dokumentation des Datenverarbeitungsprozesses wird – für den weiteren Verfahrensverlauf – aus Gründen der Transparenz für notwendig erachtet.

Methodisch wird in /U1/ und /U2/ ausschließlich die Verschneidung von Subrosionsstrukturen mit der Verbreitung der Zechstein-Salze beschrieben. Die Behandlung anderer sulfat-/salzführender Einheiten ist aus der Darstellung der Anwendungsmethode nicht zu entnehmen. Es ist nicht abschließend nachvollziehbar, wie mit sich überlagernden/tieferliegenden Subrosionshorizonten bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums umgegangen wird.

Eine Nachschärfung der Anwendungsmethode im zukünftigen Standortauswahlverfahren ist, v.a. bei verbesserter (lokaler) Datenlage, gegebenenfalls erforderlich.

Die bei der Anwendungsmethode nicht berücksichtigten „oberflächennahen Strukturen“ (Teufe < 300 m) sollten im geowissenschaftlichen Abwägungskriterium 11 „Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge“ berücksichtigt werden, da sie das Deckgebirge des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs möglicherweise im Hinblick auf Durchlässigkeit und Stabilität ungünstig beeinflussen.

Anmerkungen im Einzelnen:

Fachliche Bewertung

Gemäß §22 Abs. 2 Nr. 2 StandAG wird das Kriterium „Aktive Störungszonen“ als eines von sechs Kriterien zum Ausschluss von Gebieten herangezogen, die keine günstigen geologischen Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen. Darunter fallen atektonische Vorgänge, „[...] die zu ähnlichen Konsequenzen für die Sicherheit eines Endlagers wie tektonische Störungen führen können [...]“ (siehe SSKA 2015¹, S. 12). Diese können zu bruchhaften Deformationen in endlagerrelevanten Tiefen führen, die Barrieremächtigkeit des Endlagersystems verringern oder die petrophysikalischen und hydraulischen Eigenschaften der geologischen Barriere beeinflussen – dazu zählen auch Setzungserscheinungen und Deformationen durch Senkungen oder Einstürze (Erdfälle) über Lösungshohlräumen in Karbonat-, Sulfat- und Chloridgesteinen, Suffosionsprozesse sowie Rutschungen. (vgl. /U3/, S. 62)

In Bezug auf die Mindestanforderung „minimale Teufe“ (§23 Abs. 5 Nr. 3 StandAG) sind v.a. atektonische Vorgänge von Bedeutung, die in über 300 m Teufe wirken (vgl. /U1/, S. 56). Rutschungen werden aufgrund ihrer geringen Einwirkungstiefe (wenige Dekameter) als den endlagerrelevanten Bereich potenziell nicht beeinflussend eingestuft (/U2/, S. 68).

¹ SSKA (2015): Grundlagen zur Beurteilung von Tiefenlagerprojekten im Hinblick auf Karstphänomene. Schweizerisches Institut für Speleologie und Karstforschung. – Auftraggeber: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, 5200 Brugg: 45 S

Diese Einordnung ist für die Rutschungen in Niedersachsen plausibel und nachzuvollziehen. Damit entfällt nachfolgend die Prüfung bzgl. gravitativer Massenbewegungen.

Subrosion oder Verkarstung ist als Ausschlusskriterium relevant, da sie „[...] Zutrittsmöglichkeiten für Fluide schaffen und durch Verbrauch von Lösungshohlräumen den endlagerrelevanten Bereich schädigen“ (/U1/, S. 57) kann. Als wesentliche subrosions-/verkarstungsfähige Schichten im Hinblick auf Salzaugung und Sulfatkarst gelten in Niedersachsen v.a. Zechstein, Oberer Buntsandstein, Muschelkalk und Oberjura. Karbonatkarst ist in Niedersachsen von untergeordneter Bedeutung und vorwiegend in devonischen, triassischen, jurassischen und kretazischen Karbonaten bekannt (/U2/, S. 70).

Es ist darauf hinzuweisen, dass in Niedersachsen Sulfate untergeordnet auch im Mittleren Keuper vorkommen. Deren Bedeutung für die Entstehung von z.B. Erdfällen ist allerdings unklar. Im zukünftigen Standortauswahlverfahren ist der Mittlere Keuper bei Anwendung des Ausschlusskriteriums einzubeziehen.

Datenaufbereitung und Anwendungsmethode

Nach dem Anwendungsprinzip gem. §22 Abs. 1 StandAG ist ein Gebiet auszuschließen, sobald eines der Ausschlusskriterien greift (/U1/, S. 45). Dabei folgt die BGE dem eigenen Verfahrensgrundsatz, Ausschlussgebiete durch die Anwendungsmethoden im Zweifel eher zu unterschätzen, da „die Ausschlusskriterien in jeder Phase des Standortauswahlverfahrens erneut anzuwenden sind und sich ausgeschlossene Gebiete dadurch im Laufe des Verfahrens mit steigendem Kenntnisstand vergrößern können“ (/U2/, S. 13).

Die o.g. Unterschätzung ist zum derzeitigen Erkundungsstand als nicht konservativ zu bewerten. Das Vorgehen ist jedoch nachzuvollziehen, vor dem Hintergrund, dass gem. StandAG erstens: keine Vorgaben bzgl. der Anwendung der Ausschlusskriterien gemacht werden, zweitens: ein einmal ausgeschlossenes Gebiet im weiteren Auswahlverfahren unberührt bleibt und drittens: die Ausschlusskriterien in jedem Verfahrensschritt erneut anzuwenden sind. Eine Anpassung und Konkretisierung der verwendeten Methoden im weiteren Standortauswahlverfahren (Erkundungsphasen) sollte unserer Meinung nach möglich sein und mit zunehmendem Erkenntnisgewinn durchgeführt werden.

Datenaufbereitung/-selektion

Für die Ableitung der Ausschlussgebiete wurden Daten der SGD zu atektonischen Vorgängen durch die BGE nach u.s. Anwendungsmethode ausgewertet. Vor allem Angaben zur Entstehungstiefe, zur Aktivität und zum Alter der Erdfälle sind von besonderem Interesse (vgl. /U1/, S. 57f). Für Niedersachsen handelt es sich dabei ausschließlich um Punktdaten zu Erdfällen – ca. 7836 (Stand 11/2020).

In Vorbereitung zur Ableitung der Ausschlussgebiete wurden Daten/ Objekte aussortiert, die nur vermutete atektonische Vorgänge oder nicht überprüfte Angaben enthalten. Die

restlichen Daten wurden nach der Entstehungstiefe kategorisiert, um oberflächennahe Strukturen (Teufe < 300 m) von tieferliegenden Strukturen (Teufe > 300 m) zu unterscheiden, die den endlagerrelevanten Bereich beeinflussen. Oberflächennahe Strukturen wurden nachfolgend aussortiert.

Um fehlende Tiefenangaben bei Daten mit Entstehungshorizonten zu ergänzen, wurde zunächst überprüft, ob sich der angegebene Entstehungshorizont durch Nachweise in der Literatur belegen lässt. Die fehlenden Tiefeninformationen wurden durch eine Verschneidung (Spatial Join) mit Informationen aus 3D-Untergrundmodellen ergänzt (/U1/, S. 58; /U2/, S. 74). In Niedersachsen wurden hierzu der Geotektonische Atlas 3D (GTA3D) für flachlagernde Zechstein-Salze sowie InSpEE-Salzstruktur-Polygone (Niveauschnitte) für steil lagernde Zechsteinhorizonte verwendet. Als oberflächennah wurden Daten eingestuft, wenn das Top des Entstehungshorizontes nach GÜK250 an der Erdoberfläche lag.

Diese Vorselektion ist grundsätzlich nachzuvollziehen. Für die Angabe des wahrscheinlichen Entstehungshorizontes wird in Niedersachsen der höchstliegende Subrosionshorizont verwendet, da i.d.R. keine exakten geotechnischen Erkundungen zur Entstehungstiefe vorliegen. Methodisch wird in /U1/ und /U2/ ausschließlich die Verschneidung von Subrosionsstrukturen mit der Verbreitung der Zechstein-Salze beschrieben. Die Behandlung anderer sulfat-/salzführender Einheiten, v.a. Sulfate im Röt, Mittleren Muschelkalk, Mittleren Keuper und Münder Mergel und möglicherweise tieferliegender Subrosionshorizonte ist aus der Darstellung der Anwendungsmethode nicht zu entnehmen. Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, dass Tiefeninformationen aus dem GTA3D für Niedersachsen nicht flächendeckend vorliegen.

Die Bewertung, ob Salzstrukturen die Entstehungsursache nahegelegener Erdfälle sind, erfolgte über eine visuelle Clusterbildung. Von einem kausalen Zusammenhang wurde ausgegangen, wenn die Anordnung der Erdfälle räumlich dem Salzstock folgt.

Dieses Vorgehen ist nachvollziehbar, dennoch ist darauf hinzuweisen, dass v.a. die Subrosion der Sulfate im Hutgestein (Anhydrit/Gips) für die Entstehung der Erdfälle verantwortlich ist, die Subrosion am Salzspiegel nach unserem Verständnis vorwiegend weitgespannte Senkungen der Oberfläche verursacht.

Grundsätzlich ist es nachvollziehbar, die Datengüte durch Vorselektion und Informationsergänzung zu verbessern. Aufgrund der nicht eindeutigen Beschreibung des Vorgehens kann allerdings nicht abschließend bewertet werden, welche Datensätze nach welchem Schema ausgewertet wurden und für die nachfolgende Anwendungsmethode Verwendung fanden. Die eindeutige Dokumentation des Datenverarbeitungsprozesses wird – auch für den weiteren Verfahrensverlauf – aus Gründen der Transparenz für notwendig erachtet.

Anwendungsmethode

Bei der Karbonatverkarstung und der Ablaugung flachlagernder Salze kann die Lösung durch laterale Grundwasserströme im Hangenden und Liegenden sowohl vom Top als auch von der Basis des Entstehungshorizontes stattfinden, z.B. im Salzhangbereich. Bei Subrosionserscheinungen an Salzstöcken/-kissen findet die Lösung primär vom Top der Struktur statt, wobei Teufen von 200 - 500 m (bisweilen 1000 m) erreicht werden (/ U2/ , S. 69).

Der Ausschluss eines Gebiets erfolgt, wenn die Entstehungs-/ Einwirkungstiefe atektonischer Vorgänge nach o.s. Datenaufbereitung in mehr als 300 m Teufe liegt, wie folgt (/ U2/ S. 75):

1. für sämtliche endlagerrelevanten Tiefen (300-1000m), wenn Verkarstungsstrukturen in Karbonaten oder Ablaugungsprozesse von flachlagernden Salzen vorliegen.

Das Vorgehen ist plausibel und nachzuvollziehen. In den Ausführungen fehlt die Darstellung, wie mit den o.g. Subrosionshorizonten in Sulfaten nach dieser Methode umgegangen wird. Nach o.s. Beschreibung zur Datenauswertung ist derzeit davon auszugehen, dass tieferliegende, stratiforme Subrosionshorizonte bei diesem Vorgehen vernachlässigt werden.

2. beim Vorkommen von Subrosionsstrukturen an Salzstöcken/-kissen bis zum Schichttop des Salzes, da die Lösung primär dort stattfindet.

Das Vorgehen ist plausibel und nachzuvollziehen, dennoch ist darauf hinzuweisen, dass Subrosion am Salzspiegel, aber auch im Anhydrit/ Gips des Hutgesteins stattfindet. Eine genauere Betrachtung dieser Prozesse sollte im geowissenschaftlichen Abwägungskriterium 11 bewertet werden.

3. für epigenen Karst, bei dem die Subrosion/ Verkarstung durch meteorisches Wasser vom Top beginnt (siehe SSKA 2015) und die genaue Lage innerhalb des Entstehungshorizontes unbekannt ist, wenn dessen Top tiefer als 300 m u. GOK liegt.

Diese Auswahlmethode ist plausibel und nachzuvollziehen.

4. für hypogenen Karst, bei dem die Lösung durch aufsteigendes Tiefenwasser initiiert wird (siehe SSKA 2015), in diesem Verfahrensschritt mangels Daten nicht.

Das Vorgehen ist zu diesem Zeitpunkt des Verfahrens plausibel und nachzuvollziehen. Daten zur hypogenen Verkarstung sind für Niedersachsen derzeit nicht bekannt. Eine erneute Bewertung des Einflusses hypogener Verkarstung sollte ggf. im weiteren Auswahlverfahren anhand lokaler Gegebenheiten erfolgen².

² vgl. SSKA (2015): Grundlagen zur Beurteilung von Tiefenlagerprojekten im Hinblick auf Karstphänomene. Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung. – Auftraggeber: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, 5200 Brugg: 45 S. und Stück et al. (2020): Standortauswahl – Ausschlusskriterium „Aktive Störungszonen“ – Abschlussbericht; Hannover (BGR). – 115 S., Hannover/ Berlin. 04/ 2020).

Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“

Bohrungen

Die Anwendungsmethodik der BGE, gemäß der das Teil-Ausschlusskriterium Bohrungen in der ersten Phase der Standortauswahl mit pauschalem Ausschlussradius angewendet wird, ist angesichts der Vielzahl an Tiefbohrungen nachvollziehbar und erscheint aus Sicht des LBEG vorbehaltlich der Anwendung einer Einzelfallbetrachtung der Bohrungen und deren Nutzung im weiteren Verfahrensablauf aus fachlicher Sicht vertretbar. Für den weiteren Verfahrensablauf sind konkrete Empfehlungen zum Umgang mit

- a) unbekanntem oder nicht genau bekanntem Bohrfeld,
- b) Lagegenauigkeiten von Bohrungen, sowie
- c) durchgeführten Operationen während der Bohrung und gegebenenfalls während der Nutzung der Bohrung in Verbindung mit den geologischen Verhältnissen

in dem fachlichen Positionspapier der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) vom 07.10.2020 näher erläutert, das vom LBEG mitgetragen wird:

https://www.infogeo.de/Infogeo/DE/Downloads/2020_10_07_ausschlusskriterium_einfluesse_bergbaulicher_taetigkeit.html

Bergwerke

Die Ausführungen und Begründungen der BGE zum Ausschluss bestimmter Gebiete von der Suche eines Endlagers bezüglich altbergbaulicher Anlagen sind insgesamt nachvollziehbar und plausibel. Bei der Anwendung unterschiedlicher Berechnungsgrundlagen für bergwerksumhüllende Polygone bleiben allerdings Fragen offen:

Laut BGE werden Kavernenspeicher und sonstige unterirdische Hohlräume (alte Grubengebäude) bei der Auswahl eines Standortes ausgeschlossen, weil bei der Auffahrung die umhüllende Gesteinsformation instabil werden kann. Da bei vielen altbergbaulichen Standorten kein Einwirkungsbereich gemäß Einwirkungsbereichs-Bergverordnung ausgewiesen wurde, nutzt die BGE die maximale Teufe sowie laterale Ausdehnung des Grubengebäudes um mittels eines fixierten Grenzwinkels von $76,5^\circ$ einen „Pseudo“-Einwirkungsbereich für jedes Bergwerk festzulegen. Hierdurch könnte sich die Gefahr ergeben, dass bei Bergwerken mit geringer maximaler Teufe der „Pseudo“-Einwirkungsbereich sehr niedrig bemessen wird und stark vom realen mittels tatsächlichem Grenzwinkel zu berechnenden Einwirkungsbereich abweicht. So würde z.B. eine maximale Teufe von 900m zu einem Einwirkungsbereich von ca. 210 m führen aber bei einer maximalen Teufe von nur 300 m würde lediglich ein Puffer von ca. 73 m entstehen. Ein kleinerer Grenzwinkel ($<76,5^\circ$) würde einen größeren Einwirkungsbereich bedeuten und den Pufferbereich vergrößern. Es ist jedoch nicht nachvollziehbar, warum die BGE die für den

Bereich des Steinkohlenbergbaus in Nordrhein-Westfalen etablierte Vorgehensweise unter Nutzung von „Rissblattumhüllenden“ nicht ebenso auf die Bergwerke im Aufsichtsbezirk des LBEG anwendet. Ohne die numerischen bzw. geographischen Unterschiede der beiden Methoden (Grenzwinkelabschätzung vs. Rissblattumhüllende) zu kennen, ist die Grenzwinkelbetrachtung „unnötig“ ungenau und pauschal.

Bestandsbergwerke der BGE Asse und Konrad

Die Standorte Konrad, Asse und Morsleben werden nach § 22 Abs. 2 Nr. 3 StandAG (Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“) ausgeschlossen. Abweichend von der generellen Methodik des Ausschlusses über Beeinflussungsbereiche wurde eine individuelle Ermittlung der ausgeschlossenen Gebiete für die Bestandsbergwerke der BGE (Konrad, Asse, Morsleben) entschieden:

/U1/ „Dieses gesonderte Vorgehen ist darin begründet, dass ein wesentlicher Aspekt für die Genehmigung der Errichtung und/oder des Betriebs der Bestandsbergwerke der BGE Langzeitsicherheitsbewertungen sind, die z. T. einen erheblichen Teil des umgebenden Gebirges einbeziehen.“

Für Konrad erscheint uns der Ansatz, das Modellgebiet der Langzeitsicherheitsanalyse von 1986 (den im Planfeststellungsverfahren ermittelten Einflussbereich) zugrunde zu legen, nach erster cursorischer Prüfung methodisch nachvollziehbar.

Für die Schachtanlage Asse II umfasst das ausgeschlossene Gebiet „in Nord-Süd-Richtung die Salzmhüllende einschließlich eines Scherheitsbereichs im Deckgebirge. Für die Grenzen nach Westen und Osten werden die ungefähren Modellgrenzen des hydrogeologischen Deckgebirgsmodells herangezogen (AF-Colenco AG Grundwasserschutz und Entsorgung 2009).“ /U2/

Seit der Vorstellung des „Colenco-Modells“ („Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge der Schachtanlage Asse II“) hat sich der Kenntnisstand über das Deckgebirge der Asse erweitert und verändert. Es existieren neue Vorstellungen vom strukturellen Bau des Deckgebirges über der Salzstruktur, die auch eine neue Bewertung und Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge erfordern und damit auch die Modellgrenzen verändern können.

- Werden die neuen Erkenntnisse zur Struktur des Deckgebirges beim Ausschluss dieses Gebietes berücksichtigt? Wird es eine Anpassung an neue Modellrechnungen geben?
- Gesetzlich gefordert ist die Stilllegung der Schachtanlage Asse II nach Rückholung der radioaktiven Abfälle. Ist das zu planende Rückholungsbergwerk mit den dafür erforderlichen Infrastrukturen im ausgeschlossenen Gebiet berücksichtigt?
- Es ist bekannt, dass im Rahmen der Rückholung radioaktive Abfälle in der Grube verbleiben werden. Dafür ist eine Langzeitsicherheitsbewertung notwendig und ggfs.

ein Programm zur Überwachung, zum Monitoring, dass sich weiträumiger um den jetzigen ausgeschlossenen Bereich ansiedeln muss. Sollte hier nicht ein weit größerer Bereich um die Schachanlage Asse II ausgeschlossen werden, als es jetzt vorgesehen ist?

Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“

Nach § 22 Abs. 2 Nr. 4 des StandAG (/U4/) ist ein Gebiet nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn die örtliche seismische Gefährdung größer ist als in Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01. Die Anwendung (/U1/, /U2/) des Kriteriums durch die BGE erfolgt, indem die für die Oberfläche ausgewiesenen Gebiete in alle für die Endlagerung relevanten Tiefenlagen projiziert und die entstehenden Volumenkörper ausgeschlossen werden. Alle so ausgeschlossenen Gebiete liegen außerhalb von Niedersachsen.

Das Vorgehen ist nachvollziehbar vor dem Hintergrund, dass im StandAG der eindeutige Bezug zu DIN EN 1998-1/NA:2011-01 gegeben ist. In Niedersachsen sind keine Erdbebenzonen ausgewiesen, sodass der Schlussfolgerung des Zwischenberichts gefolgt werden kann.

Der Nationale Anhang, auf den das StandAG Bezug nimmt, wird zurzeit überarbeitet. Im Zusammenhang mit der Erstellung des Zwischenberichts hat sich die BGE mit diesen aktuellen Entwicklungen auseinandergesetzt. In einer Auftragsarbeit soll durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) bewertet werden, ob und wie die im StandAG formulierten Kriterien mit Bezug auf die DIN EN 1998-1/NA:2011-01 auf die aktuelle Entwurfsversion DIN EN 1998-1/NA:2018-10 übertragen werden können. Ein Zwischenstand dieser Arbeit liegt bereits vor³.

Diese über den Zwischenbericht Teilgebiete hinausgehenden, weiterführenden Bewertungen werden an dieser Stelle nicht betrachtet. Weiterführende Bewertungen zur Anwendung des Ausschlusskriteriums seismischer Aktivität erscheinen vor dem Hintergrund der Neuregelungen der DIN aus fachlichen Gründen sinnvoll.

Fazit:

Die Methode zum Ausschluss erdbebengefährdeter Gebiete und deren Anwendung sind für Niedersachsen grundsätzlich plausibel und nachvollziehbar. Als Region mit geringer Seismizität werden durch dieses Kriterium keine Gebiete in Niedersachsen ausgeschlossen.

³ Kaiser, D. & Spies, T. (2020): Anwendung des Ausschlusskriteriums Seismische Aktivität. Zwischenbericht. – 23 S., Hannover. 29.04.2020

Ausschlusskriterium „Vulkanische Aktivität“

Nach derzeitigem Wissensstand ist Niedersachsen von diesem Ausschlusskriterium nicht betroffen.

Zur Anwendungsmethodik liegt ein fachliches Positionspapier der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) vom 07.10.2020 vor, in der einige, im weiteren Verfahren zu berücksichtigende Punkte benannt und Empfehlungen gegeben werden:

https://www.infogeo.de/Infogeo/DE/Downloads/2020_10_07_ausschlusskriterium_vulkanismus.html

Aus grundsätzlichen Überlegungen heraus würde das LBEG die Empfehlung eines konkreten (minimalen) Sicherheitsabstandes vermeiden, sondern diese Aufgabe der BGE überlassen. Stattdessen würde das LBEG empfehlen, im weiteren Verfahrensablauf die Sicherheitsabstände für jede Vulkanregion individuell fachlich zu begründen und zu berücksichtigen.

Ausschlusskriterium „Grundwasseralter“

Das Kriterium wurde in dieser Phase des Verfahrens nur punktuell angewendet in Bereichen, die über das Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit“ bereits ausgeschlossen wurden.

Verwendete Unterlagen

/U1/ BGE (2020): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG

/U2/ BGE (2020): Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG. Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

/U3/ BGE (2020): Datenbericht Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG (Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete)

/U4/ StandAG (2017): Gesetz zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetze. – Bundesanzeiger Nr. 26 vom 15.05.2017, 05.05.2017.

Anlage 2 Stellungnahme

Bearbeitungsstand 01.02.2021

Methodik zur Anwendung der Mindestanforderungen im „BGE-Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE 28.09.2020)

Anlass

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat am 28.09.2020 den „BGE-Zwischenbericht Teilgebiete“ gemäß § 13 Abs. 2 S. 3 StandAG veröffentlicht.

Gegenstand dieser Stellungnahme ist eine kritische Würdigung der Methodik zur Anwendung der Mindestanforderungen für Niedersachsen.

Diese Stellungnahme stellt eine erste Bewertung dar und wird fortgeschrieben.

Stellungnahme - Ergebnis der ersten überschlägigen Prüfung/ Bewertung

Datengrundlagen / 3D-Modelle

Für die Prüfung der Mindestanforderungen (u.a. Mächtigkeit und Tiefe des ewG) liefern insbesondere die geologischen 3D-Modelle wichtige Informationen. 3D-Modelle liegen jedoch nicht bundesweit, sondern nur für ca. 65 % der Fläche bzw. des Untergrundes von Deutschlands vor. In Regionen, in denen kein 3D-Modell vorliegt, prüft die BGE die Mindestanforderungen auf Basis von thematischen Karten und Bohrungsdaten ab (/U2/ S. 74). Laut BGE ergaben sich dabei „keine Gebiete, die aufgrund nicht hinreichender geologischer Daten nicht eingeordnet werden können“ (/U1/, S. 24).

Das Vorgehen der BGE, die Mindestanforderungen trotz heterogener Datenlage bundesweit anzuwenden, ist grundsätzlich nachvollziehbar. Allerdings kommt die BGE zum Ergebnis, dass bundesweit eine ausreichende geologische Datenlage gegeben ist. Dem entgegenzuhalten ist, dass eine Prüfung der Mindestanforderungen ohne 3D-Modell anhand von wenigen Bohrungen in Gebieten mit komplexer Geologie nur wenig belastbar sein kann. Auch innerhalb von Gebieten mit geologischen 3D-Modellen kann anhand der zugrundeliegenden heterogenen Datenlage und allein schon aufgrund des überregionalen und eher sehr kleinen Maßstabes der Modelle von i.d.R. 1:300.000 nicht von einer gleich hohen Belastbarkeit und vergleichbarer Genauigkeit ausgegangen werden¹. Zusätzlich ist zu beachten, dass die 3D-Modelle i.d.R. zu einem gewissen „Sichttag“ erstellt wurden und neuere Erkenntnisse bspw. aus Bohrungen und geophysikalischen Untersuchungen mitunter

¹ siehe auch Stellungnahme der SGD für die Endlagerkommission: KMAT 53a „Datengrundlagen für die geowissenschaftlichen Kriterien im Rahmen des Standortauswahlverfahrens“ (05.04.2016)

über Jahrzehnte nicht nachgepflegt wurden. Daher können 3D-Modelle nicht uneingeschränkt, losgelöst und ohne Berücksichtigung aller zwischenzeitlich hinzugekommenen Informationen in konkreten Fragestellungen vor Ort angewendet werden.

Anmerkungen zu / U4/ :

In Kapitel 4.1 „3D-Geomodelle“ werden Informationen zur Software, Datenverwaltung und Backup gegeben, in der Übersicht der geologischen 3D-Modelle in Abbildung 1 wird der GTA3D des LBEG in seiner Ausdehnung korrekt dargestellt. Der GTA3D wird sehr knapp beschrieben, dabei allerdings missverständlich in Bezug auf die geometrischen Objekte, die Störungen darstellen: „Störungen wurden in Segmenten senkrecht zwischen den einzelnen Basisflächen modelliert.“ Die Störungen im GTA3D sind allerdings als senkrechte Versatzflächen innerhalb der jeweiligen Basisflächen modelliert.

Des Weiteren wird auf die bundeslandspezifischen Modellierprotokolle verwiesen im Dokument / U5/ .

zu: S.55 Absatz 2, Satz 1: Es sind hier nicht die Salzstrukturen, die durch das Zechstein-Salinar mechanisch entkoppelt sind, sondern das mesozoische Deckgebirge ist mechanisch entkoppelt vom Subsalinar.

zu: S. 56, Tabelle 11: Datenformat der Modelldaten des GTA3D ist das t-surf-Format, nicht das shp-Format.

Anmerkungen zu / U5/ :

Zu Kapitel 1.1.3

Die Methodik zur Bestimmung der Salzstrukturmächtigkeit aus den Daten des GTA3D erscheint nach kurzer cursorischer Durchsicht plausibel.

In Südniedersachsen ist kein GTA3D-Modell vorhanden und vereinzelt sind keine Salzstrukturen im GTA3D ausmodelliert. Deshalb wurden hier durch die BGE die Niveauschnittkarten aus INSPEE² (ein Projekt mit Beteiligung der BGR, KBB und der Uni Hannover) als Grundlage verwendet. Kurze Erläuterungen zum INSPEE-Bericht und zu den INSPEE-Niveauschnittkarten wären hilfreich, fehlen aber (Teilgebiete der Salzstrukturen, die auf Basis der INSPEE-Niveauschnittkarten erzeugt wurden, sind: Allertal, Offlebener Sattel, Harriehausen, Düderode/Oldenrode, Waddekath).

² BGR et al. (2016): Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft).

Zu den Kapiteln 1.2.4 Zechstein in Niedersachsen, 1.2.10 Oberer Buntsandstein
Niedersachsen, 1.2.17 Mittlerer Keuper, 1.2.20 Oberjura

Die Methodik zur Bestimmung der jeweiligen Horizontmächtigkeiten aus den Daten des GTA3D erscheint nach kurzer kursorischer Durchsicht plausibel. Die im GTA3D modellierten Einheiten sind zusammengefasst aus verschiedenen lithostratigraphischen Einheiten, die nur zum Teil aus Salzgesteinen bestehen. Die dargestellten Auswertungen zur weiteren Engrenzung sind bei kursorischer Prüfung schwer nachvollziehbar.

Zu den Kapiteln 1.3.5 Keuper, 1.3.9 Unterjura, 1.3.16 Mittlerer Jura, 1.3.24 Unterkreide,
1.3.31 Oberkreide, 1.3.35 Tertiär, Unterpaleozän

Die Methodik zur Bestimmung der jeweiligen Horizontmächtigkeiten aus den Daten des GTA3D erscheint nach kurzer kursorischer Durchsicht plausibel. Die im GTA3D modellierten Einheiten sind zusammengefasst aus verschiedenen lithostratigraphischen Einheiten, die nur zum Teil aus Tonsteinen bestehen. Die dargestellten Auswertungen zur weiteren Engrenzung sind bei kursorischer Prüfung schwer nachvollziehbar.

Weitere Anmerkungen:

Es gibt Bundesländer, in denen keine 3D-Modelle (z. B. Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern) vorliegen, einige Länder haben modellierte Horizonte in ihren Modellen unterschiedlich zusammengefasst (in NRW sind Unter- und Mitteljura als eine Einheit zusammengefasst, in Niedersachsen sind es zwei Einheiten). Der unterschiedliche Detaillierungsgrad und Maßstab bedeutet eine mögliche Fehlerquelle. Die Angaben für Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern z. B. stammen aus großräumigen Übersichtswerken („Südpenninesisches Becken“). Einige Teilgebiete enden somit an Ländergrenzen (Modellgrenzen), weil eine Datenharmonisierung nicht möglich war. Dort, wo „gute“ Modelle vorhanden sind, wurden seitens der BGE weitere Daten (z. B. Bohrdaten) nur noch sehr untergeordnet betrachtet. Dies führt in der Bewertung insgesamt zu einer (nicht rein geologisch bedingten) „Ungleichbehandlung“ der einzelnen Länder bzw. Modell- / „Nichtmodell“-regionen.

Anmerkungen zu den Inventarisierungstabellen und der Ausweisung endlagerrelevanter stratigraphischer Einheiten:

Durch Auswertungen der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland sowie weiteren Quellen (publizierte Regionalwerke der Länder sowie Standardwerke der Deutschen Stratigraphischen Kommission (DSK) und Subkommissionen) wurden sogenannte Inventarisierungstabellen generiert. Diese beinhalten nach /U1/ (S. 88) eine „Zusammenstellung aller stratigraphischer Einheiten, die eine für die Zwecke der Prüfung der Mindestanforderungen endlagerrelevante Gesteinsabfolge mit den entsprechenden Gesteinstypen erwarten lässt“. Auf Grundlage der lithologischen und petrographischen Beschreibungen werden Gesteinsvorkommen „hinsichtlich ihrer Eignung als endlagerrelevante Gesteinsformation für das weitere Standortauswahlverfahren

eingegrenzt“. Die Inventarisierungstabellen sind für jedes Bundesland in /U5/ zusammengestellt.

Hinsichtlich der Endlagerrelevanz bewertet wurden die über die Inventarisierungstabellen identifizierten Gesteinsvorkommen dann anhand der „Barriereigenschaften/-wirkung und beeinflussende Aspekte“, Durchlässigkeit, Standsicherheit und Mächtigkeit (/U1/ Abbildung 28, S. 91), also den Mindestanforderungen 1, 2 & 5. Eine endlagerrelevante Gesteinsformation liegt nach /U1/ und /U2/ nur dann vor, wenn diese „hinsichtlich der Gebirgsdurchlässigkeit und der Kenntnislage zum Erhalt der Barrierewirkung die Erfüllung der Mindestanforderungen erwarten lässt und keine deutlichen Hinweise auf eine zu geringe Mächtigkeit vorliegen“. Im Ergebnis wurden „potentiell endlagerrelevante Gesteinsabfolgen als stratigraphische Einheit oder Teil dieser Einheit“ benannt. Die Methodik des Vorgehens ist vom grundsätzlichen Ansatz her plausibel.

Die bis auf die Ebene von Subformationen durchgeführte detaillierte Inventarisierung spielt bei der bisherigen Ausweisung von Teilgebieten sicherlich in dieser Betrachtungstiefe auch nur eine untergeordnete Rolle, da die bisher verwendeten Daten diese Informationen überwiegend nicht hergeben werden. Dies wird auch in /U2/ S. 59 benannt. 3D-Modelle / Strukturkarten beinhalten meist nur die übergeordneten stratigraphischen Einheiten, wie beim Steinsalz z. B. Rotliegend, Zechstein etc. bzw. sind gröber zusammengefasst (z.B. zusammengefasste Einheit aus Muschelkalk und Röt im Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland).

Das Ergebnis, wie in /U2/ Kap. 8 dargestellt, ist entsprechend nachvollziehbar. Hier wurde z.B. der gesamte Zechstein als Einheit zusammengefasst (/U2/ Abb. 11), die potentiell endlagerrelevante Steinsalzformationen enthalten kann.

Eine detaillierte Prüfung der einzelnen in den Inventarisierungstabellen aufgeführten stratigraphischen Einheiten und der darin enthaltenen Gesteinsformationen wurde vom LBEG bisher nicht vorgenommen/dokumentiert.

Größe der Gebiete mit erfüllten Mindestanforderungen:

Der methodische Ansatz der BGE zur Anwendung der Mindestanforderungen ist aus mehreren Gründen (bewusst) flächenkonservativ, d.h. es werden im jetzigen Verfahrensschritt deutlich größere Gebiete ausgewiesen, als bei detaillierterer Betrachtung zu erwarten wäre:

- Der Internbau von Salzstöcken wird im derzeitigen Verfahrensschritt vernachlässigt, d.h. eine Abgrenzung des endlagerrelevanten Steinsalzes gegenüber z.B. Kalisalz, Anhydrit erfolgt nicht (vgl. /U2/, S. 66).
- Die begrenzte stratigraphische Detailtiefe der verfügbaren 3D-Modelle führt zu einer „Überschätzung die Mächtigkeit und Ausdehnung der endlagergeeigneten Gesteinsschichten“ (/U1/, S. 92).

 „Wenn [...] wenig bis keine Daten in einem Gebiet für die Prüfung einzelner oder aller Mindestanforderungen vorliegen und die allgemein anerkannten Kenntnisse über die Gesteinseigenschaften nicht gegen die Erfüllung dieser Mindestanforderungen sprechen, werden diese ebenfalls als identifizierte Gebiete ausgewiesen.“
(/U1/, S.87-88)

Das flächenkonservative Vorgehen der BGE zum derzeitigen Verfahrensstand erscheint zunächst nachvollziehbar.

Besondere Fragestellungen

Anwendung der Mindestanforderungen – Wirtsgestein Steinsalz

Gebirgsdurchlässigkeit

a) Differenzierung zwischen Steinsalz in flacher und steiler Lagerung:

Nach /U3/ „IG-Steckbriefe“ wird die Mindestanforderung Gebirgsdurchlässigkeit bei allen identifizierten Gebieten mit Steinsalz in stratiformer Lagerung als erfüllt betrachtet. Bei allen identifizierten Gebieten mit Steinsalz in steiler Lagerung wird angegeben „Gebirgsdurchlässigkeit: 10^{-12} m/s“.

Da die Mindestanforderung Gebirgsdurchlässigkeit lt. StandAG (/U8/) bereits ab einer Gebirgsdurchlässigkeit von geringer als 10^{-10} m/s erfüllt ist, suggeriert diese unterschiedliche Formulierung (ungewollt?), dass bei Steinsalz in steiler Lagerung eine geringere Gebirgsdurchlässigkeit erwartet wird als bei stratiformem Steinsalz. Hierfür wird jedoch keine fachliche Begründung gegeben. In den Erläuterungen zur Anwendung der Mindestanforderungen sowohl für Steinsalz in steiler Lagerung als auch für stratiformes Steinsalz wird festgestellt:

„Für das Wirtsgestein Steinsalz nimmt die BGE an, dass aufgrund der bekannten Eigenschaften von Steinsalz eine ausreichend geringe Gebirgsdurchlässigkeit vorliegt.“ (/U1/, S. 99 und S. 101)

Diese Formulierung legt nahe, dass bezüglich der Gebirgsdurchlässigkeit nicht zwischen steiler und stratiformer Lagerung differenziert wird. Dafür spricht ebenso, dass nur einen einzigen Referenzdatensatz für Steinsalz entwickelt hat und diesen sowohl für Steinsalz in steiler Lagerung als auch für stratiformes Steinsalz verwendet (/U7/, S. 101).

b) Verwendete Daten:

Es ist nicht nachvollziehbar dokumentiert, ob bzw. in welchem Ausmaß bei der Anwendung der Mindestanforderungen bereits ggfs. vorliegende quantitative Daten zur Gebirgsdurchlässigkeit verwendet wurden. Im derzeitigen Verfahrensschritt wird (pauschal) eine ausreichend geringe Durchlässigkeit für Steinsalz unterstellt:

„Für das Wirtsgestein Steinsalz nimmt die BGE an, dass aufgrund der bekannten Eigenschaften von Steinsalz eine ausreichend geringe Gebirgsdurchlässigkeit vorliegt.“ (/U1/, S. 99 u. 101)

Diese Annahme ist plausibel. . Es wird jedoch ausdrücklich betont, dass bei der Anwendung der Mindestanforderung Gebirgsdurchlässigkeit „einzelne verfügbare Untersuchungsdaten“ sowie „Hinweise zur Gebirgsdurchlässigkeit“ berücksichtigt wurden:

„Im Hinblick auf die Erfüllung der Mindestanforderung Gebirgsdurchlässigkeit (§ 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG) wurde im Zuge der Inventarisierung (vgl. Kapitel 6.2 und Abbildung 7) basierend auf den allgemeingültigen Erkenntnissen zum Gesteinstyp Steinsalz und zu Salzstrukturen im Allgemeinen sowie einzelnen verfügbaren Untersuchungsdaten eine Gebirgsdurchlässigkeit belegt, die ausreichend gering ist, um der Anforderung gerecht zu werden.“ (/U2/, S. 66)

„Auf Grundlage der Inventarisierungstabelle (vgl. Kapitel 6.2, Tabelle 1) wurden [...] zunächst die identifizierten Steinsalzvorkommen/-abfolgen identifiziert und nach stratigraphischer Einheit zusammengefasst (z. B. verschiedene Halitlager im Mittleren Keuper). Dies ermöglicht eine überregionale Bearbeitung und erste Eingrenzung des Untersuchungsraumes für weiterführende und vertiefende Recherchen zur lithologischen Ausbildung, Mächtigkeitserwartung und Verbreitung der Vorkommen. Im Rahmen dieser Recherche wurden ebenfalls Hinweise zur Gebirgsdurchlässigkeit erfasst und ggf. neu bewertet.“ (/U2/, S. 71ff)

Um welche Daten/Hinweise es sich hierbei handelt und wo bzw. für welche stratigraphische Einheit diese Daten/Hinweise vorliegen, ist weder in den Steckbriefen der identifizierten Gebiete (/U3/) noch in den Inventarisierungstabellen (/U6/) dokumentiert.

Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG)

In /U1/ (S. 99) trifft BGE die Festlegung zur Mindestmächtigkeit des ewG von 100 m, dass „für alle steil stehenden Salzstrukturen, die eine Mächtigkeit von mindestens 100 m aufweisen, [...] diese Mindestanforderung im jetzigen Verfahrensschritt als erfüllt“ gilt.

Dieses Vorgehen lässt den Internbau der Salzstrukturen bewusst außen vor und ist nur unter der Annahme plausibel, dass die komplette Mindestmächtigkeit innerhalb der Salzstruktur aus Steinsalz besteht. Da aufgrund teilweise sehr komplexer Internbaue nur Teilbereiche von Salzstrukturen aus größeren zusammenhängenden Steinsalzbereichen bestehen, wird das Volumen von potentiell Wirtsgestein in einer Salzstruktur zum jetzigen Verfahrensstand daher voraussichtlich deutlich überschätzt.

Die BGE sollte im weiteren Verfahren darlegen, anhand welcher Parameter eine belastbare weitere Reduzierung der Teilgebiete hin zu untersuchungswürdigen Standortregionen bei steil stehenden Salzstrukturen erfolgen soll.

In /U1/ (S. 102) wird zu Steinsalz in stratiformer Lagerung erläutert, dass über Informationen aus geologischen 3D-Modellen, aus thematischen Karten und aus Bohrungen eine Ausweisung von Mächtigkeiten von stratigraphischen Einheiten mit potentiellen

Wirtsgesteinsformationen vorgenommen wurde. Bohrungen dienten dabei „überwiegend als Beleg für die Erfüllung der Mindestanforderung“.

In /U2/ (S 74) wird ergänzt, dass Bohrungen als Belege genutzt wurden, um das generelle Erfüllen der Mindestanforderungen, auch über die 3D-Auswertung hinaus, zu belegen. Gab es eindeutige Belege außerhalb der vorausgewählten Flächen, wurden diese entsprechend vergrößert. Es wird eingeschränkt: „Da Bohrungen lediglich lokale Informationen des Untergrundes liefern, konnten diese Informationen zum jetzigen Zeitpunkt nur bedingt zur weiteren räumlichen Engrenzung benutzt werden.“

Es wird nicht ausgeführt, wie viele und welche repräsentative Bohrungen hier ggfs. als Beleg dienen.

Minimale Teufe des ewG

Derzeit keine Anmerkungen

Fläche des Endlagers

- a) Nach /U2/ (S. 65) wird für Steinsalz in steiler Lagerung ein Mindest-Flächenbedarf von 3 km² angesetzt. Mithilfe der 3D-Modelle wurde die maximale Ausdehnung des potentiellen Wirtsgesteins in den Salzstrukturen berechnet und an die GOK projiziert. Diese Herangehensweise erscheint zum jetzigen Verfahrensstand grundsätzlich nachvollziehbar. Aufgrund von Ungenauigkeiten in den 3D-Modellierungen (vgl. Punkt Allgemeine Hinweise/ Datenlage) sowie insbesondere des größtenteils unbekanntem Internbaus der Salzstrukturen (vgl. Punkt Mächtigkeit des ewG) kommt es zu Einschränkungen der Aussagekraft dieser Berechnungen. Es ist generell von deutlichen Überschätzungen der zur Verfügung stehenden Flächen mit potentiell Wirtsgestein auszugehen.
- b) Nach /U2/ (S. 71) wird für Steinsalz in stratiformer Lagerung ebenfalls ein Mindest-Flächenbedarf von 3 km² angesetzt. Hier findet sich jedoch der Zusatz, dass „zusätzlicher Flächenbedarf z.B. in Abhängigkeit der Konfigurationsmöglichkeiten des Endlagers oder zusätzlicher Scherheitsabstände [...] weiterhin gegeben“ sei. Es wird nicht dargelegt, auf welchen Annahmen diese Aussage beruht.

Erhalt der Barrierewirkung

In /U2/ (S. 72) wird für Steinsalz in stratiformer Lagerung erläutert: „Anhand der aktuellen Datenlage und Bearbeitungstiefe liegen für die ausgewiesenen Gebiete derzeit keine Hinweise vor, die die Mindestanforderungen zum Erhalt der Barrierewirkung [...] in Frage stellen. [...] gilt die Mindestanforderung damit stets als erfüllt und wird zu diesem Zeitpunkt im Verfahren nicht gesondert überprüft.“

In /U2/ (S. 69 & S. 76) wird für „Salzstrukturen (im Speziellen Salzstöcke und Salzkissen), die Kavernen und Bergwerke enthalten, der Erhalt der Barrierewirkung für eine Million Jahre

zweifelhaft“ bewertet. Auf S. 181 & 199 /U2/ wird dann erläutert, dass für Salzstöcke und Salzkissen, „die Kavernen und Bergwerke enthalten, [ist] der Erhalt der Barrierewirkung für eine Million Jahre zweifelhaft“ sei und die „Mindestanforderung nach § 23 Abs. 5 Nr. 5 StandAG wird in diesen Gebieten als nicht erfüllt angesehen“.

Es stellt sich die Frage, warum die Salzstruktur Allertal hier eine Ausnahme darstellt. Sie ist Teilgebiet geworden, welches z.T. direkt angrenzend an den Beeinflussungsbereich eines Bergbaus beginnt. Es bleibt zudem unklar, wie Kavernen und Bergwerke bei Salzformationen in flacher Lagerung hinsichtlich ihres Einflusses auf den Erhalt der Barrierewirkung bewertet werden.

Anmerkungen zur Methodik der Anwendung der Mindestanforderung „Gebirgsdurchlässigkeit“

§ 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG „Gebirgsdurchlässigkeit“: „in einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich 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 einschlusswirksame Gebirgsbereich aus Gesteinstypen besteht, denen eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als 10^{-10} m/s zugeordnet werden kann.“ (/U8/).

Aufgrund zahlreicher Versuche zur Ermittlung der Gebirgsdurchlässigkeit in Tongestein (z.B. der Nagra) und Salz (z.B. der BGR) in steiler Lagerung kann zum jetzigen Zeitpunkt davon ausgegangen werden, dass diese beiden Wirtsgesteine eine Gebirgsdurchlässigkeit von kleiner 10^{-10} m/s erreichen können. Die Begründung zur Bewertung der BGE bleibt jedoch unbestimmt, weil mit einer allgemeinen Einschätzung ohne konkrete Literaturhinweise argumentiert wird. Um die Aussagen zur Gebirgsdurchlässigkeit transparent und schlüssig zu gestalten, empfiehlt sich eine Referenz auf die Referenzdatensätze, auch wenn diese erst konkret für die Bewertung der Abwägungskriterien herangezogen werden.

Mit Verweis auf das Gesetz wird die Anwendung des Kriteriums „Gebirgsdurchlässigkeit“ für Kristallingesteine ausgesetzt. Dennoch wird ein Exkurs über die Gebirgsdurchlässigkeit mit Literaturangabe (Dominico & Schwarz) geführt. In /U2/ auf S. 84 wird erwähnt, dass „Im Zuge der Inventarisierung (wurden) auch für diese Einheiten und Gesteinstypen bundesweit die verschiedenen Datenquellen zur Bewertung der Gebirgsdurchlässigkeit ausgewertet“ wurden. Aus Gründen der Transparenz und Wissenschaftlichkeit wäre eine kurze Einordnung über den Gesetzestext hinaus z.B. mit Verweis auf die Referenzdatensätze wünschenswert.

Anmerkungen im Einzelnen:

- „Für das Wirtsgestein Steinsalz nimmt die BGE an, dass aufgrund der bekannten Eigenschaften von Steinsalz [in steiler und flacher Lagerung] eine ausreichend geringe Gebirgsdurchlässigkeit vorliegt.“ /U2/ Kap. 6.3.1 - S. 64 und 6.3.2 - S. 70

In Kap. 4.1.1 auf Seite 36 /U2/ wird mit Literaturhinweis festgestellt, dass „Steinsalz praktisch undurchlässig ist.“ Ob dies auch für Steinsalz in stratiformer Lagerung gilt, wird nicht diskutiert. Steinsalz in stratiformer Lagerung könnte eine höhere Durchlässigkeit aufweisen, weil stratiformes Steinsalz nicht homogen ist, sondern aufgrund wiederholter Eindampfungszyklen aus Karbonat, Anhydrit, Steinsalzlagen aufgebaut ist. Kleine Klüfte zwischen den karbonatischen, anhydritischen und Steinsalz-Lagen könnten zu einer höheren schichtparallelen Gebirgsdurchlässigkeit führen.

- „Für Tongestein wird in der gegenwärtigen Phase des Standortauswahlverfahrens angenommen, dass auf Grund der bekannten Eigenschaften eine ausreichend geringe Gebirgsdurchlässigkeit vorliegt.“ /U2/ Kap. 6.3.3 - S 76

In Kap. 4.1.2 auf Seite 37/38 /U2/ werden keine Angaben gemacht, woher die „Gewissheit“ kommt, dass Tongestein einen Gebirgsdurchlässigkeitsbeiwert von kleiner 10^{-10} m/s erreicht.

- „Die Mindestanforderung Gebirgsdurchlässigkeit § 23 Abs. 5 Nr. 1 [für Kristallingestein] wird entsprechend der gesetzlichen Vorgabe nicht angewendet, denn im jetzigen Detailierungsgrad ist eine Differenzierung zwischen den verschiedenen möglichen Endlagerkonzepten für kristallines Wirtsgestein nicht sinnvoll.“ /U2/ Kap. 6.3.4 - S 82

In Kap. 4.1.3 auf Seite 41 /U2/ zitiert die BGE Dominico & Schwarz mit Gebirgsdurchlässigkeiten für ungestörte Kristallingesteine von 10^{-15} bis 10^{-10} m/s und für geklüftete Bereiche mit 10^{-9} bis 10^{-4} m/s, die deutlich unter der Mindestanforderung von 10^{-10} m/s liegen.

Auf Seite 84 /U2/ führt die BGE zum Einlagerungskonzept für Kristallingesteine näher aus:

„In § 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG steht weiter, dass eine Gebirgsdurchlässigkeit von k_f kleiner als 10^{-10} m/s auch durch die den Einlagerungsbereich überlagernden Schichten nachgewiesen werden kann. Der ewG wird in diesem Fall durch die den Einlagerungsbereich überlagernden Schichten gebildet.“

„Insgesamt ergeben sich folgende mögliche Endlagerkonzepte im kristallinen Wirtsgestein (/U2/ Kap. 6.3.4 - S 84)

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.

Diese für kristallines Wirtsgestein möglichen Endlagerkonzepte stellen unterschiedliche Anforderungen an die geologische Situation und die Gesteinseigenschaften sowie die technischen und geotechnischen Barrieren...“

Es ist nachvollziehbar, dass dies im jetzigen Verfahrensschritt noch nicht detailliert beschrieben werden kann.

Verwendete Unterlagen

- /U1/ BGE (2020a): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG, Stand 28.9.2020
- /U2/ BGE (2020b): Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 Stand AG (Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete), Stand 28.09.2020
- /U3/ BGE (2020c): Anlage (zu „Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG“) IG-Steckbriefe, Stand 23.09.2020
- /U4/ BGE (2020d): Datenbericht Teil 1 von 4 – Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG (Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete), Stand 28.09.2020
- /U5/ BGE (2020e): Datenbericht Teil 2 von 4 – Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG (Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete), Stand 28.09.2020
- /U6/ BGE (2020f): Datenbericht Teil 4 von 4 – Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG (Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete), Stand 28.09.2020
- /U7/ BGE (2020g): Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG, Stand 01.09.2020
- /U8/ StandAG (2017): Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 247 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist

Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG

**(Stand 28.09.2020)
der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)**

**Stellungnahme des Geologischen Dienstes NRW
- Landesbetrieb -**

Im Rahmen der Suche nach einem Standort für ein Endlager für hoch radioaktive Abfälle hat die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) den Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 Standortauswahlgesetz (StandAG) am 28.09.2020 vorgelegt. Mit der Ausweisung der Teilgebiete ist – ausgehend von der ursprünglich „Weißen Landkarte Deutschland“ – die erste Entscheidung gefallen, welche Regionen im weiteren Prozess der Standortauswahl verbleiben. Der GD NRW hat eine Plausibilisierung des Zwischenberichts zu den Nordrhein-Westfalen betreffenden Teilgebieten vorgenommen.

I

Methodik zur Festlegung der Teilgebiete

Nach § 13 StandAG sind Teilgebiete diejenigen Gebiete in Deutschland, die günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle in einem der drei Wirtsgesteine Tongestein, Steinsalz oder Kristallingestein erwarten lassen. Daher bedarf die im Zwischenbericht vorgestellte Ausweisung von Teilgebieten einer weiteren, an der vgl. gesetzlichen Regelung orientierten Prüfung und Fortschreibung. Die Teilgebiete wurden von der BGE unter Anwendung der Ausschlusskriterien (§ 22 StandAG), der Mindestanforderungen (§ 23 StandAG) und der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (§ 24 StandAG) ermittelt.

Die Datengrundlage stammt ganz überwiegend von den Staatlichen Geologischen Diensten Deutschlands (SGD), die unter Wahrung des Datenschutzes vollumfänglich ihrer gesetzlichen Verpflichtung gemäß § 12 Abs. 3 StandAG zur unentgeltlichen Bereitstellung aller benötigten Fachdaten zum geologischen Untergrunderbau von Deutschland nachgekommen sind. Daten zu bergbaulichen Tätigkeiten hat die Bezirksregierung Arnsberg (Bergbehörde) der BGE zur Verfügung gestellt.

Die jetzt erfolgte Ausweisung von Teilgebieten sagt zunächst noch wenig über deren tatsächliche Eignung aus: Nur diejenigen Gebiete hat die BGE aus dem weiteren Suchverfahren ausgeschlossen, bei denen nach Auffassung der BGE keine Zweifel an ihrer Ungeeignetheit bestehen.

In einem ersten Schritt hat die BGE auf Basis der vorliegenden Daten die Gebiete ausgeschlossen, die aufgrund der Ausschlusskriterien nicht als Endlagerstandort in Betracht kommen. Zu den Ausschlusskriterien gehören seismische Aktivität, großräumige Vertikalbewegungen, vulkanische Aktivität, aktive Störungszonen und atektonische Störungen des Untergrundes, junges Grundwasseralter sowie Einflüsse aus vergangener oder gegenwärtiger Bergbautätigkeit. Ist eines der Ausschlusskriterien erfüllt, scheidet das betroffene Gebiet aus dem Suchprozess aus.

Auf die verbliebenen Gebiete wurden die Mindestanforderungen angewendet, die zwingend erfüllt sein müssen. Dazu hat die BGE zunächst die Gebiete ermittelt, in denen eines der drei Wirtsgesteine in einer Mindestmächtigkeit von 100 m in einer Tiefe zwischen 300 und 1.500 m unter Geländeoberfläche vorkommt. Die Mindestanforderungen gem. § 23 Absatz 5 sind:

- die Gebirgsdurchlässigkeit,
- die Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches,
- die minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs,
- die Fläche des Endlagers,
- sowie der Erhalt der Barrierewirkung.

Nach Anwendung der Ausschlusskriterien und der Mindestanforderungen sind 181 „identifizierte Gebiete“ im Suchprozess verblieben. In den identifizierten Gebieten greifen im Übrigen auch weiterhin die Sicherheitsvorschriften gemäß § 21 StandAG, was Einschränkungen etwa bei Geothermie-Projekten und bei Vorhaben der Rohstoffgewinnung in einer Teufe von mehr als 100 m zur Folge haben kann.

Die BGE hat anschließend die identifizierten Gebiete verbal-argumentativ hinsichtlich ihrer günstigen geologischen Gesamtsituation vergleichend bewertet (§13 Abs. 2 Satz 2 StandAG). Dazu bediente sich die BGE der 11 geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (§ 24 StandAG, siehe auch Anlagen 1 bis 11 zu § 24 StandAG Abs. 3 bis 5). Hier ist einschränkend anzumerken, dass derzeit die Datenlage für viele der identifizierten Gebiete keine gebietsspezifische Anwendung der Abwägungskriterien zulässt. Lediglich für die vier Abwägungskriterien Konfiguration des Gesteinskörpers, räumliche Charakterisierbarkeit, langfristige Stabilität und Schutz des einschlusswirksamen Einlagerungsbereiches durch das Deckgebirge war überhaupt eine gebietsspezifische Bewertung möglich. Für alle anderen geowissenschaftlichen Abwägungskriterien lagen keine beziehungsweise keine ausreichenden gebietsspezifischen Informationen vor. Um die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien trotzdem anwenden zu können, hat die BGE allgemeingültige Referenzdatensätze für die drei Wirtsgesteinstypen aus Literaturangaben abgeleitet.

Mit Hilfe der Abwägungskriterien reduzierte die BGE die 181 identifizierten Gebiete auf 90 Teilgebiete. Dabei entfallen auf Nordrhein-Westfalen 7 Teilgebiete.

II

Datenlieferungen des Geologischen Dienstes NRW

Der Geologische Dienst NRW (GD NRW) hat die Arbeit der BGE durch umfangreiche Datenlieferungen seit September 2017 unterstützt. Mehr als 30.000 Datensätze wurden bereitgestellt. Besonders hervorzuheben sind die drei großen Datenlieferungen zu den Ausschlusskriterien (22.02.2018), zu den Mindestanforderungen (25.06.2018) und zu den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (29.10.2019). Das Geologische 3D-Landesmodell wurde der BGE nebst umfangreichen Bohrungsdaten aus der Bohrungsdatenbank DABO bereitgestellt. Alle – bis heute sind es weit über 2.000 – Stellungnahmen, die der GD NRW im Rahmen der Sicherheitsvorschriften nach § 21 StandAG zu Bohrungen und zu anderen Vorhaben in einer Teufe von mehr als 100 m erstellt, werden regelmäßig an die BGE übermittelt. Vertreter der

BGE besuchten den GD NRW am 15.03.2019, um Nachfragen und Details der Datenlieferungen zu diskutieren. An zahlreichen Informations- und Diskussionsveranstaltungen der BGE, aber auch des Bundesamtes für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) und des Nationalen Begleitgremiums (NBG) in Berlin, Hannover, Braunschweig und Goslar nahmen Vertreter des GD NRW teil. Am 07.12.2020 wurde der Zwischenbericht Teilgebiete mit der BGE in einer Videokonferenz diskutiert, an der unter anderem auch Vertreter des MWIDE und der Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung 6 (Bergbehörde), teilnahmen.

III

Bewertung der Vorgehensweise der BGE

Bei der Ausweisung der Teilgebiete war der BGE vorgegeben, ausschließlich auf vorhandenes Datenmaterial zurückzugreifen. Eigene Untersuchungen sind in dieser frühen Phase der Standortsuche nicht vorgesehen. Die BGE hat Informationen und Daten vor allem von den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) erhalten, zu deren originärer Aufgabe die Erkundung und das Sammeln von geologischen Daten und Informationen zum Untergrundaufbau von Deutschland gehört.

Die ermittelten Teilgebiete nehmen rund 54 % der Fläche von Deutschland ein. Diese Teilflächen dürften sich hinsichtlich Anzahl und auch Größe im weiteren Prozess verringern. Denn die BGE hat Gebiete, die aufgrund einer unzureichenden Datenlage hinsichtlich ihrer Eignung nicht eingeordnet werden konnten (§ 13 Abs. 2 Satz 4 StandAG) nicht gesondert gekennzeichnet. Mithin ist davon auszugehen, dass solche Gebiete Bestandteil der im Zwischenbericht dargestellten Teilgebiete sind.

Dass einige Teilgebiete in Nordrhein-Westfalen insofern zu groß ausgefallen sind, liegt auch daran, dass für weite Teile der Landesfläche keine geologischen 3D-Modelle speziell für die endlagerrelevanten lithologischen Einheiten verfügbar sind. Daher hat der GD NRW im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Daten konkret darauf hingewiesen, dass das Geologische 3D-Landesmodell lediglich ein Übersichtsmodell ist und für eine detaillierte Abgrenzung endlagerfähiger Gesteinsformationen nicht geeignet ist.

Die BGE hat – soweit möglich – auf die 3D-Darstellung der übergeordneten stratigraphischen Einheiten zurückgegriffen. Hierzu bietet der GD NRW der BGE weiterhin an, in einen fachlichen Austausch zum möglichen Vorgehen für eine geologisch valide Abgrenzung der Teilgebiete einzutreten.

Die konkrete Anwendung der Ausschlusskriterien durch die BGE lässt sich bei vielen Teilgebieten allein anhand des Zwischenberichtes nicht nachvollziehen.

Völlig zu Recht ist die BGE der fachlichen Empfehlung des GD NRW gefolgt, „geschieferte“ Tonsteine nicht als Tonsteinformation, sondern als ein (schwach) metamorphes Gestein einzustufen. Damit konnte ein Teil der Landesfläche für eine Ausweisung als Teilgebiet entfallen, der aus fachlicher Sicht des GD NRW von vorneherein als ungeeignet einzustufen ist.

IV

Bewertung der Teilgebiete in Nordrhein-Westfalen

Der Anteil der Teilgebiete in der Bundesrepublik Deutschland liegt bei ca. 54 % der Bundesfläche.

Sieben Teilgebiete liegen anteilig in Nordrhein-Westfalen und nehmen eine Fläche von ca. 10.140 km² ein. Dies sind knapp 30 % der Landesfläche von Nordrhein-Westfalen. Die Teilgebiete in Nordrhein-Westfalen sind – im Gegensatz zu anderen Bundesländern – flächendeckend identisch mit den „identifizierten Gebieten“ gem. § 13 Absatz 2 StandAG. Die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien durch die BGE hatte demnach keinen Ausschluss von identifizierten Gebieten zur Folge.

Vier der Teilgebiete in Nordrhein-Westfalen entfallen auf das Wirtsgestein „Tongestein“; dabei handelt es sich um Tongesteine in den stratigraphischen Einheiten „Lias“, „Dogger“, „Unterkreide“ und „Oberkreide“.

Drei Teilgebiete betreffen das Wirtsgestein „Steinsalz“, wobei Steinsalz in Nordrhein-Westfalen nur in stratiformer Lagerung und nicht in Form von Salzstöcken vorkommt. Hierbei handelt es sich um das „Zechstein-Steinsalz“ und das „Steinsalz der Münder-Formation“.

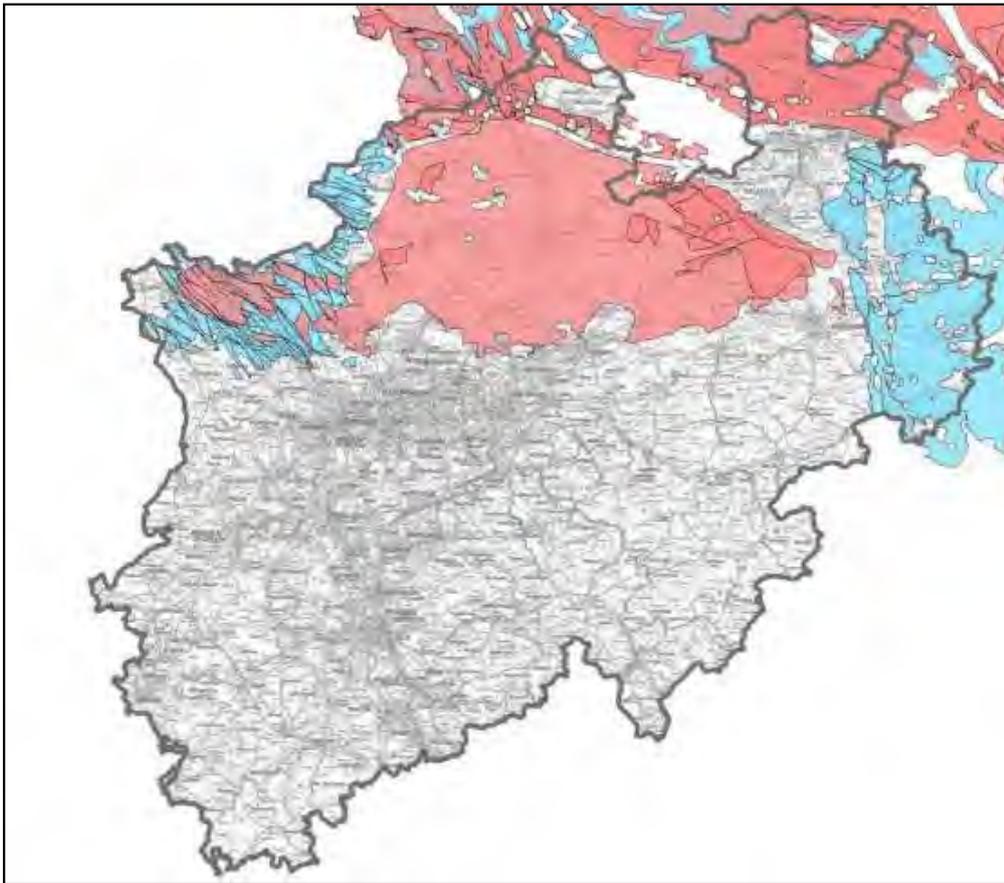


Abb. 1: Teilgebiete in NRW mit Wirtsgestein „Steinsalz“ (blau) und „Tongestein“ (rot)

Der GD NRW hat die Ausweisung der einzelnen Teilgebiete durch die BGE fachlich geprüft und bewertet diese wie folgt:

Teilgebiet 005_00TG_055_00IG_T_f_jm



Abb. 2: Verbreitung des Teilgebietes 005_00TG-055_00IG_T_f_jm

Wirtsgesteine sind Tongesteine im unteren und mittleren Teil des Doggers (Mittlerer Jura) hauptsächlich im nördlichen Teil der Westfälischen Bucht und nördlich des Weser- und Wiehengebirges.

Geologische Bewertung:

Die Dogger-Gesteine im Teilgebiet nördlich des Weser- und Wiehengebirges sind von der BGE nachvollziehbar dargestellt. Die Mächtigkeiten der Dogger-Ablagerungen werden beispielsweise für den Raum Rahden mit 370 m veranschlagt. In der Bohrung Ellerburg Z 1 wird eine Mächtigkeit von 335 m erreicht. Die Gesteine des Doggers setzen sich im unteren Abschnitt überwiegend aus Tonsteinen zusammen. Zum Hangenden wird der Dogger aus Kalksandsteinen und Tonsteinen aufgebaut. Westlich der Porta Westfalica treten auch mächtige Sandsteinpakete auf („Porta-Sandstein“).

Die Tongesteine des Doggers erreichen im nördlichen Münsterland und seiner Fortsetzung nach Norden Mächtigkeiten bis zu 300 m. Die Abfolge baut sich aus meist monotonen Serien von glimmerhaltigen, dunkelgrauen Tonsteinen auf, denen mitunter sandige Kalksteinlagen eingelagert sind. Im Bereich der Osning-Störungszone sind die Gesteine tektonisch stark beeinflusst. Auch die Teilfläche bei Gronau an der niederländischen Grenze ist ebenfalls durch große Überschiebungen (z. B. Gronau-Überschiebung) tektonisch stark beeinflusst.

Das Dogger-Vorkommen westlich von Bielefeld liegt im unmittelbaren Bereich der Osning-Störungszone. Der Gesteinsverband des Doggers ist vermutlich stark gestört. Die in diesem Raum bis zu 250 m mächtigen Gesteine des Doggers bestehen vorwiegend aus dunkelgrauen Ton- und Tonmergelsteinen, aus Kalksandstein und

stellenweise aus Sand- und Schluffstein mit kalkig-mergeligem Bindemittel. Die Ablagerungen des Doggers sind zwar an der Tagesoberfläche bekannt; ihre Fortsetzung zur Tiefe ist allerdings nicht durch eine Bohrung oder geophysikalische Untersuchung belegt.

Ergebnis:

Die Verbreitung des ausgewiesenen Teilgebietes durch die BGE ist in weiten Bereichen nachvollziehbar.

Ob Tongesteine des Dogger im Raum westlich Bielefeld überhaupt vorhanden sind, ist aufgrund der schlechten Datenlage (keine Bohrung, fehlende geophysikalische Untergrunderkundung) mehr als fraglich.

Teilgebiet 006_00TG_188_00IG_T_f_ju

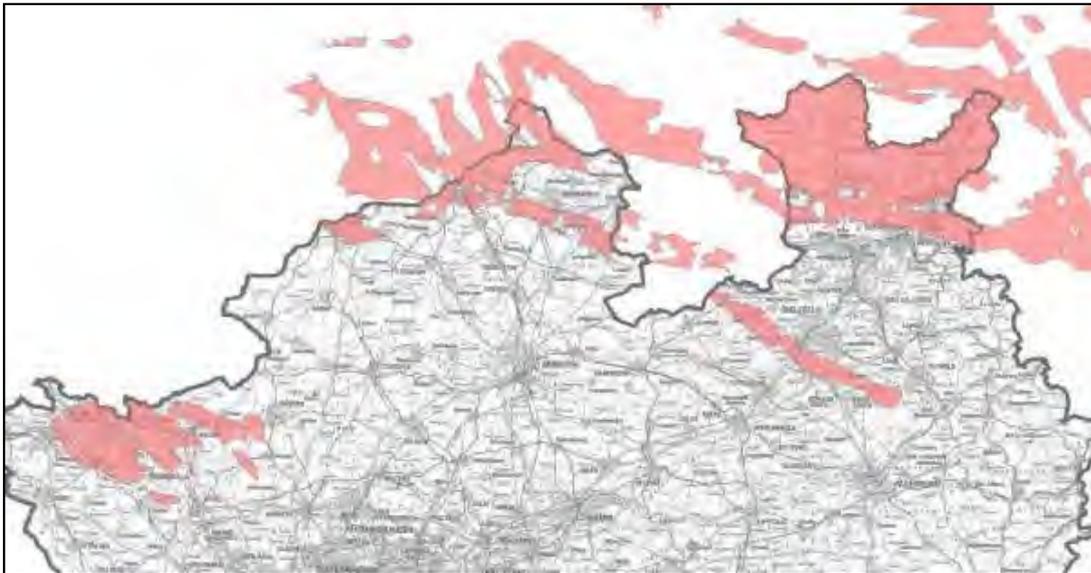


Abb. 3: Verbreitung des Teilgebietes 006_00TG_188_00IG_T_f_ju

Es handelt sich um Tongesteine des Lias (Unterer Jura) am Niederrhein, im nördlichen Teil der Westfälischen Bucht und nördlich des Weser- und Wiehengebirges.

Geologische Bewertung:

Das Verbreitungsgebiet der Lias-Gesteinsfolge am Niederrhein ist ein tektonisch stark in Schollen gegliederter Ablagerungsraum. Es lassen sich daher auch nur sehr schwer für das gesamte Gebiet geltende Mächtigkeitsangaben machen. Im Raum Rees erreichen die Lias-Gesteine eine Mächtigkeit von bis zu 150 m. Es handelt sich im Wesentlichen um Tonsteine, denen geringmächtige Kalksteinhorizonte eingeschaltet sind. Im Raum Wesel – Bislich sind die jurassischen Sedimente lokal in

erhebliche Tiefen abgesenkt worden („Bislicher-Liasgraben“). Dort treten Lias-Sedimente in einer Mächtigkeit von bis rund 400 m auf. Insgesamt gesehen ist das ausgewiesene Teilgebiet nur durch sehr wenige Tiefbohrungen abgedeckt; es ist fragwürdig, ob die Mindestmächtigkeit von 100 m Tongestein überall erreicht wird.

Die Tongesteine des Lias erreichen im nördlichen Münsterland und seiner nördlichen Fortsetzung Mächtigkeiten bis zu 450 m. Die Abfolge besteht vorwiegend aus blaugrauen Ton- und Tonmergelsteinen mit Toneisensteingeoden, denen untergeordnet stellenweise Kalksandsteine eingeschaltet sind. Im Bereich der Osning-Störungszone („Osning-Überschiebung“) sind die Gesteine tektonisch stark beeinflusst. Auch die Teilfläche bei Gronau an der niederländischen Grenze ist ebenfalls durch große Überschiebungen (z. B. Gronau-Überschiebung) tektonisch stark beeinflusst. Die Darstellung der Verbreitung durch die BGE ist in diesem Raum gut nachvollziehbar.

Die Lias-Ablagerungen nördlich des Weser- und Wiehengebirges sind in der Darstellung der BGE plausibel und nachvollziehbar dargestellt. Die Abfolgen bestehen im Wesentlichen aus Ton- und Mergelsteinen, in die zuweilen Kalk- und Sandsteinbänke eingeschaltet sind. In Richtung Norden werden bis zu 600 m Mächtigkeit erreicht.

Das Lias-Vorkommen südlich und westlich von Bielefeld liegt im unmittelbaren Bereich der Osning-Störungszone. Der Gesteinsverband des Lias ist vermutlich stark gestört. Die Ablagerungen des Lias sind an der Tagesoberfläche zwar bekannt, ihre Fortsetzung zur Tiefe ist allerdings nicht durch Bohrungen oder geophysikalische Untersuchungen belegt.

Ergebnis:

Die Verbreitung des ausgewiesenen Teilgebietes durch die BGE ist in weiten Bereichen nachvollziehbar

Ob Tongesteine des Lias im Raum südwestlich Bielefeld überhaupt vorhanden sind, ist aufgrund der schlechten Datenlage (keine Bohrung, fehlende geophysikalische Untergrunderkundung) mehr als fraglich.

Teilgebiet 007_00TG_202_02IG_T_f_kru

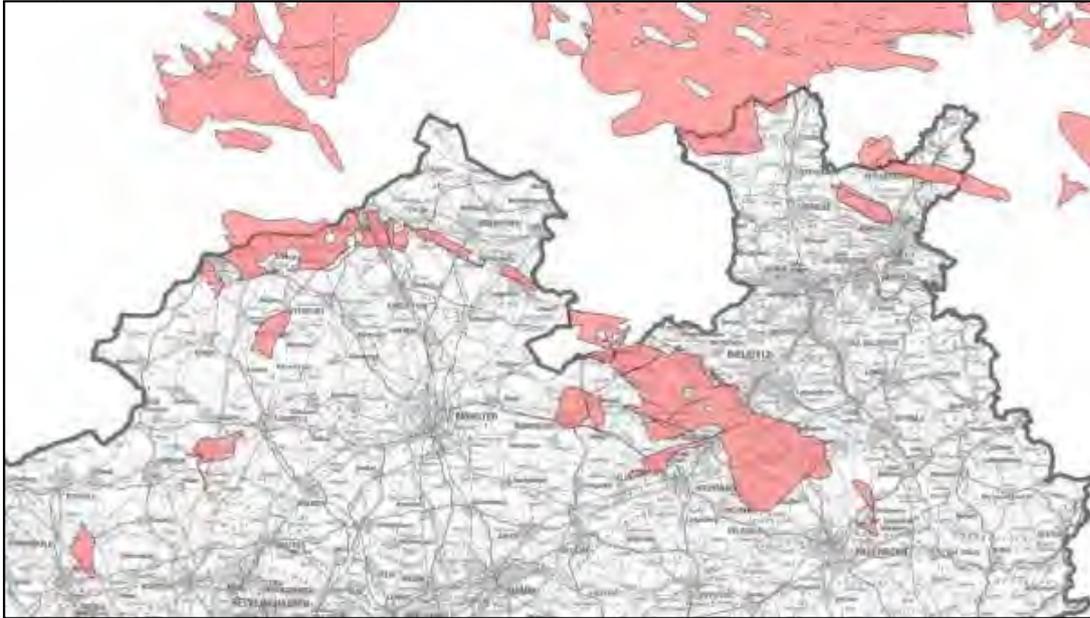


Abb. 4: Verbreitung des Teilgebietes 007_00TG_202_02IG_T_f_kru

Als Wirtsgestein wird eine sehr mächtige Abfolge von Tongesteinen der Unterkreide hauptsächlich im nördlichen Teil der Westfälischen Bucht und nördlich des Weser- und Wiehengebirges eingestuft.

Geologische Bewertung:

Im Raum nördlich des Weser- und Wiehengebirges treten sehr mächtige, monoton aufgebaute Tonsteinserien der Unterkreide auf. Hierbei erreichen die Gesteine der Bückeberg-Gruppe im Betrachtungsraum mit mehr als 600 m die größte Mächtigkeit. Die Gesteine setzen sich aus dunkelgrauen, mitunter plattig ausgebildeten Ton- und Mergelsteinen zusammen. Zuweilen sind geringmächtige Kalk- und Sandsteinbänke eingeschaltet. Die Darstellung der BGE ist nachvollziehbar.

Ein weiteres Unterkreide-Vorkommen wird nördlich des Ochtruper Sattels im nord-westlichen Münsterland aufgeführt. In diesem Raum treten sehr mächtige Unterkreide-Gesteine auf, die überwiegend in toniger Fazies ausgebildet sind. Die Abfolge setzt sich im Wesentlichen aus Ton- und Tonmergelsteinen zusammen, denen mitunter Sandsteinbänke zwischengeschaltet sind. Da sich dieser Bereich unmittelbar nördlich an die Gronau-Störungszone anschließt, sind größere Verwerfungen der Schichtenfolge nicht auszuschließen. Die Darstellung der BGE ist nachvollziehbar.

Die BGE führt weitere Unterkreide-Vorkommen südlich des Teutoburger Waldes im nordöstlichen Münsterland auf. Die Unterkreide-Vorkommen in dieser Region sind für ihre überwiegend sandige Ausbildung bekannt, wie z.B. der Osning-Sandstein. Einzig der Flammenmergel des Oberalbiums ist dort in mergeliger Fazies – aber mit stark wechselnden Mächtigkeiten – ausgebildet.

Der Flammenmergel kann im Raum Hörstel – Tecklenburg rund 150 bis 300 m mächtig werden und setzt sich im Wesentlichen aus dunkelgrauen Tonmergel- und Mergelsteinen zusammen. Die Gesteine streichen im Teutoburger Wald aus; die Verbreitung nach Süden im Untergrund des Münsterlandes ist jedoch nur durch sehr wenige Bohrungen bekannt. Ob die Einstufung der Gesteine als „Tongestein“ zutrifft, ist aus Sicht des GD NRW sehr fraglich.

Die von der BGE im westlichen Münsterland aufgeführten lokalen Vorkommen von Unterkreide-Gesteinen südwestlich von Coesfeld und westlich von Schöppingen sind nur sehr schwer nachvollziehbar. Vermutlich handelt es sich um lokale Flammenmergel-Vorkommen. Die Datenlage für die Ausweisung dieser Gebiete ist aus Sicht des GD NRW unzureichend.

Ergebnis:

Die Verbreitung des ausgewiesenen Teilgebietes der Unterkreide-Gesteine durch die BGE ist insgesamt gesehen nur in Teilbereichen fachlich nachvollziehbar.

Als plausibel und fachlich nachvollziehbar sind die Unterkreide-Vorkommen nördlich des Weser- und Wiehengebirges sowie nördlich des Ochtruper Sattels zu bewerten.

Die aufgeführten Vorkommen im Bereich südlich des Teutoburger Waldes und im westlichen Münsterland sind aufgrund der schlechten Datenlage hingegen nur sehr schwer nachvollziehbar.

Teilgebiet 008_02TG_204_02IG_T_f_kro

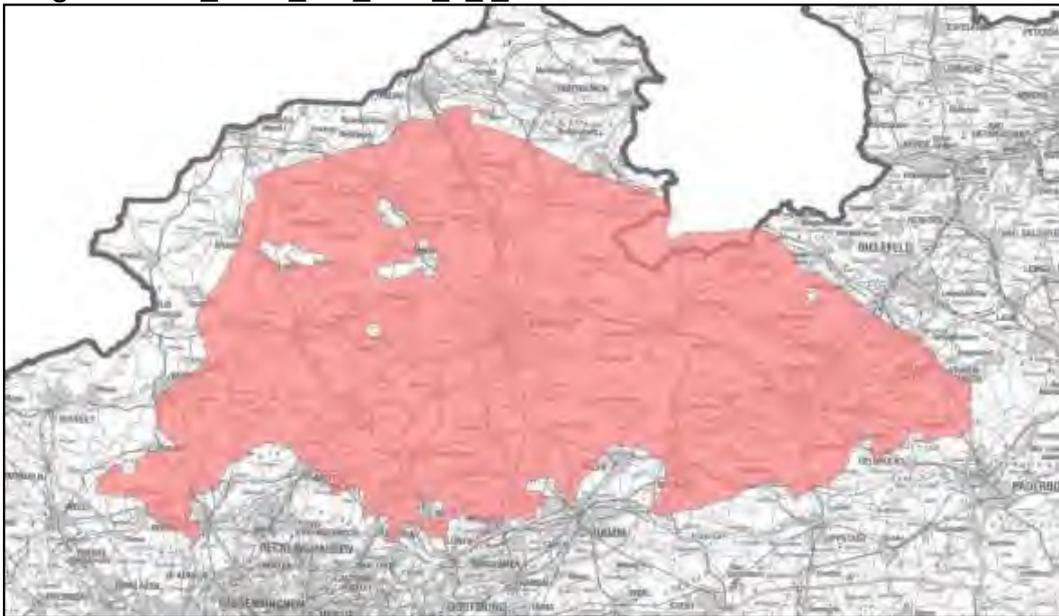


Abb. 5: Verbreitung des Teilgebietes 008_02TG_204_02IG_T_f_kro

Wirtsgestein sind Tonmergel- und Mergelsteine der Emscher-Formation (Oberkreide), die in sehr großer Mächtigkeit im Münsterländer Kreidebecken weit verbreitet vorkommen.

Geologische Bewertung:

Die im Teilgebiet dargestellten Gesteine bestehen in weiten Bereichen aus einer eintönigen Abfolge von Tonmergel- und Mergelsteinen. Im östlichen Münsterland sind überwiegend sandfreie Tonmergelsteine mit Karbonatgehalten zwischen 20 und 40 % verbreitet. In der Vorosning-Senke bei Emsdetten erreicht die Emscher-Formation über 1.500 m Mächtigkeit, im Raum Hamm – Drensteinfurt (südliches Münsterland) noch etwa 600 m.

Die Gesteinsausbildung der Emscher-Formation ändert sich entscheidend von Osten nach Westen: während im Osten sandfreie Tonmergelsteine dominieren, verändert sich die Gesteinsfazies in westlicher Richtung in sandige Tonmergelsteine und Grünsand („Emscher-Grünsand“). Diese faziellen Übergänge – die auch aufgrund mangelnder Daten nur grob bekannt sind – finden in den Darstellungen der BGE keinerlei Berücksichtigung.

Aktuelle Einzeluntersuchungen aus dem südlichen Münsterland und dem Ruhrgebiet ergaben, dass die Gesteine einen Tonanteil (Tonfraktion < 2 µm) von nur 30 % aufweisen, wobei die Tonfraktion zu fast 60 % aus Quarz und nur zu etwa 40 % aus Tonmineralen besteht. Diese Untersuchungen geben Hinweise darauf, dass für viele Bereiche der Emscher-Formation der Anteil der Tonfraktion sowie der Anteil der Tonminerale stark überschätzt wurden.

Ergebnis:

Aus Sicht des GD NRW ist die Abgrenzung des Teilgebietes durch die BGE für sehr große Bereiche fachlich nicht nachvollziehbar. Lithofazielle und petrografische Eigenschaften der Gesteine der Emscher-Formation fanden nur unzureichend Berücksichtigung.

Der GD NRW hat in seiner Datenlieferung zu den Mindestanforderungen vom 25.06.2018 lediglich zwei Teilflächen der Emscher-Formation bei Emsdetten und bei Rheine als „Tongestein“ eingestuft.

Teilgebiet 077_00TG-192_00IG_S_f_jo



Abb. 6: Verbreitung des Teilgebietes 077_00TG-192_00IG_S_f_jo

Als Wirtsgestein stuft die BGE das Steinsalz in stratiformer Lagerung in der Münder-Formation (Grenzbereich Oberer Jura / Unterkreide) ein; das Wirtsgestein soll nach Ansicht der BGE relativ weit verbreitet nördlich des Weser- und Wiehengebirges sowie bei Rheine vorkommen.

Geologische Bewertung:

Das von der BGE ausgewiesene Steinsalz-Vorkommen nördlich des Weser- und Wiehengebirges ist durch Bohrungsdaten nur unzureichend nachgewiesen bzw. nicht nachvollziehbar. Wie die Bohrung Ellerborg 1 belegt, ist das Steinsalz der Münder-Formation nicht durchgehend entwickelt, sondern immer wieder durch Einschaltungen von Tonstein- und Mergelsteinbänken sowie Anhydrit-Lagen unterbrochen. Die erbohrte höhere Steinsalzmächtigkeit in der benachbarten Tiefbohrung Ellerborg Z 1 ist vermutlich aufgrund einer Störung bedingt und daher nur lokal entwickelt. Die Steinsalzmächtigkeit erreicht hier zwar mehr als 300 m, jedoch unterbrechen auch hier immer wieder Tonsteineinschaltungen das Salzlager.

Das Steinsalz-Vorkommen der Münder-Formation bei Rheine wurde in wenigen Tiefbohrungen angetroffen. Das Steinsalz ist durch Lagen von Tonsteinen und Anhydrit stark verunreinigt.

Ergebnis:

Starke lithofazielle Schwankungen und stark variierende Mächtigkeiten der Steinsalz-Vorkommen lassen es nach Ansicht des GD NRW sehr unwahrscheinlich

erscheinen, dass ein geeignetes Steinsalz-Vorkommen vorhanden ist. Die Verbreitung des ausgewiesenen Teilgebietes durch die BGE ist aus Sicht des GD NRW unzureichend belegt.

Teilgebiet 078_04TG_197_04IG_S_f_z



Abb. 7: Verbreitung des Teilgebietes 078_04TG_197_04IG_S_f_z

Wirtsgestein ist das Zechstein-Steinsalz in stratiformer Lagerung innerhalb des Solling-Beckens im östlichen Teil von Ostwestfalen.

Geologische Bewertung:

Steinsalz in möglicherweise ausreichender Mächtigkeit ist in Ostwestfalen in zwei Gesteinseinheiten des Zechsteins bekannt. Steinsalz der Werra-Formation ist in einer Mächtigkeit zwischen 190 und 270 m in einer Nord-Süd gerichteten, 20 km breiten Zone zwischen der Warburger Börde und Hameln an der Weser entwickelt. Die Ausscheidung von Leine-Steinsalz ist nur östlich einer Linie Herford – Lage – Schieder – Brakel bekannt. Die Steinsalz-Mächtigkeiten betragen dort 50 – 135 m, wobei die Mächtigkeiten sehr stark schwanken.

Den Steinsalzabfolgen des Zechsteins sind in Ostwestfalen zumeist geringmächtige Dolomit- und Anhydrit-Lagen eingeschaltet, so dass sich nur selten mächtigere zusammenhängende Steinsalzabfolgen beobachten lassen. Der Gesteinsverband ist in dieser Region zumeist durch tektonische Zerböckung stark gestört, insbesondere in Annäherung nach Westen zum Egge-Störungssystem.

Informationen über die Mächtigkeitsentwicklung sowie den Schichtenaufbau der Salinarserien sind nur durch sehr wenige Bohrungen bekannt. Daher sind

verlässliche Angaben über die laterale Mächtigkeitsentwicklung der Zechstein-Steinsalze nur bedingt möglich. Aufgrund der zum Teil sehr starken tektonischen Zerblockung variieren die Mächtigkeiten auch auf kurze Entfernungen.

Ergebnis:

Die dem GD NRW bekannte Datenlage ist für den Betrachtungsraum wenig aussagefähig.

Die Eignung des Teilgebietes ist aus Sicht des GD NRW nicht aus dem vorhandenen Datenmaterial herzuleiten.

Teilgebiet 078_06TG_197_06IG_S_f_z

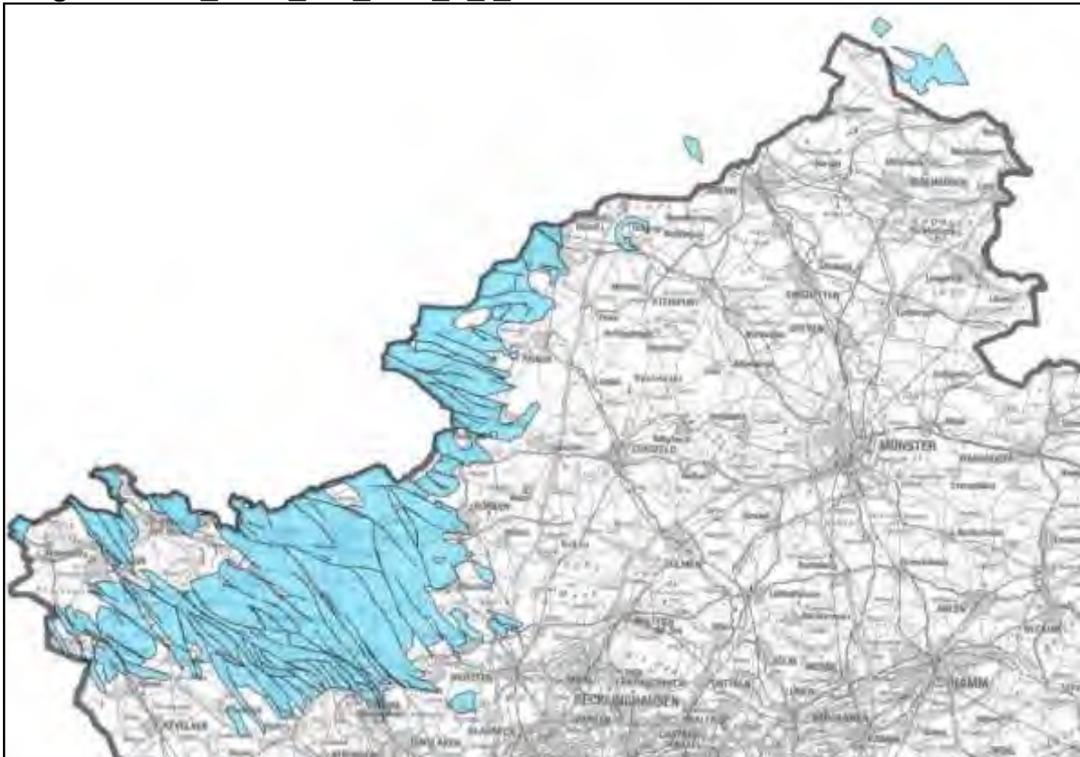


Abb. 8: Verbreitung des Teilgebietes 078_06TG_197_06IG_S_f_z

Wirtsgestein ist hier das Zechstein-Steinsalz in stratiformer Lagerung am Niederrhein und in Westfalen.

Geologische Bewertung:

Das Steinsalz des Zechsteins (Werra-Formation) erreicht am Niederrhein Mächtigkeiten von bis zu 250 m. Lokal sind auch störungsbedingte Mächtigkeiten von rund 400 m bekannt. Die Steinsalzserien sind mitunter von Ton- und Anhydritbänken durchsetzt. Die Zechstein-Ablagerungen sind durch zahlreiche, vorwiegend NW-SE-verlaufende Störungen mit oft beträchtlichen Verwurfsbeträgen in eine Abfolge von

Horst- und Grabenstrukturen zerblockt. Die Datenlage ist im südlichen Verbreitungsgebiet des Zechstein-Steinsalzes bergbaubedingt gut. Im Norden des Verbreitungsgebietes (Grenzgebiet zu den Niederlanden) sind nur wenige Tiefbohrungen vorhanden, die verlässliche Angaben über Mächtigkeit und Entwicklung der Steinsalz-Vorkommen zulassen.

In Westfalen im Grenzbereich zu den Niederlanden tritt das Zechstein-Steinsalz mit einer Mächtigkeit von bis zu 150 m auf. Die Steinsalz-Vorkommen sind teilweise durch Ost-West-streichende Überschiebungsstrukturen tektonisch stark beeinflusst. Während die Datenlage im Bereich des Kavernfeldes im Raum Gronau/Epe als gut zu bewerten ist, sind im übrigen Gebiet nur wenige Tiefbohrungen vorhanden, die verlässliche Angaben über Mächtigkeit und Entwicklung der Steinsalz-Vorkommen zulassen.

Ergebnis:

Die wenigen vorhandenen Bohrungsdaten lassen eine verlässliche Ausweisung der Steinsalz-Vorkommen außerhalb der durch den Bergbau gut bekannten Bereiche nur schwer zu. Datenlieferungen zu Ausschlusskriterien im Bereich der Kavernenspeicher und des untertägigen Steinsalz-Abbaus wurden offensichtlich nicht vollständig berücksichtigt. Aufgrund der kleinräumigen Tektonik und der stark schwankenden Steinsalz-Mächtigkeiten erscheint aus Sicht des GD NRW eine Einstufung als Teilgebiet vor allem am Niederrhein als nicht nachvollziehbar.

V

Zusammenfassung und Ausblick

Die von der BGE im Zwischenbericht ausgewiesenen Teilgebiete in Nordrhein-Westfalen sind nach Einschätzung des GD NRW flächenmäßig oft deutlich zu groß ausgefallen. In vielen Fällen kann der GD NRW Ausweisungen nicht anhand seiner Datenlieferungen bzw. anhand seiner regionalgeologischen Expertise bestätigen. Dies betrifft insbesondere die Ausweisung des Teilgebietes im Verbreitungsgebiet der Emscher-Formation. Der GD NRW bedauert dabei, dass als wenig Erfolg versprechend identifizierte Gebiete mit sehr schlechtem Erkenntnisstand nicht gesondert gekennzeichnet wurden und als Teilgebiete im weiteren Verfahren verblieben sind. Dies kann dort die Realisierung beispielsweise von Tiefengeothermie-Projekten bis zum endgültigen Ausschluss dieser Gebiete erheblich erschweren.

Der GD NRW hätte sich bei der Erarbeitung des Zwischenberichtes und vor seiner Veröffentlichung eine stärkere Berücksichtigung seiner ausgeprägten regionalen Expertise in der ersten Phase der Standortauswahl gewünscht. Der GD NRW ist gerne bereit, den weiteren Prozess der Standortauswahl mit seiner fachlichen Expertise zu unterstützen. Der GD NRW geht davon aus, dass dabei im Interesse der Nachvollziehbarkeit weiterer Entscheidungen alsbald Gelegenheit zum fachlichen Diskurs insbesondere bei voneinander abweichenden Auffassungen besteht.

Nächster Schritt im Standortauswahlverfahren ist die Ermittlung von Standortregionen für die überörtliche Erkundung (§14 StandAG). Es ist davon auszugehen, dass die BGE nur solche Standortregionen vorschlagen wird, bei denen eine Erkundung nach derzeitigem Wissensstand Erfolg versprechend ist.

Krefeld, den 08.02.2021



Fachstellungnahme des LfULG zum „Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG“ der Bundesgesellschaft für Endlagerung vom 28.09.2020 – zur Betroffenheit des Freistaates Sachsen

Freiberg, 21.01.2021

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Abteilung 10 Geologie,
E-Mail: abt10.lfulg@smul.sachsen.de

Prüfergebnis

Die detaillierte fachliche Prüfung des „Zwischenberichts Teilgebiete gemäß § 13 StandAG“ ergab für das Gebiet des Freistaates Sachsen, dass von den ausgewiesenen 11 526 km² der Gebietskulisse der Teilgebiete ca. 6 155 km² die erforderlichen Kriterien nach StandAG nicht erfüllen und somit die Ausweisung dieser Flächen als Teilgebiet nicht nachvollziehbar ist. Dies resultiert insbesondere daraus, dass eine großflächige Ausweisung von Regionen als Teilgebiet erfolgte, in welchen andere Gesteine als die von der BGE definierten Wirtsgesteine kartiert, erbohrt oder aus geophysikalischen Daten ableitbar sind. So wurden sedimentäre Abfolgen, vulkanische und vulkano-sedimentäre Gesteine sowie niedriggradige Metamorphite großflächig als kristallines Wirtsgestein klassifiziert. Außerdem wurden Kalkstein, Schluffstein, Sandstein und Mergel dem Wirtsgestein Tongestein zugeordnet. Die in Sachsen von Teilgebieten betroffene Fläche würde sich durch Korrektur der fehlerhaft ausgewiesenen Bereiche von 62 % auf 29 % der Landesfläche reduzieren.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Teilgebiete	5
2.1	011_00TG_200_00IG_K-g_SPZ kristallines Wirtsgestein in der südlichen Phyllitzone	5
2.2	009_00TG_194_00IG_K_g_SO kristallines Wirtsgestein im Grundgebirge der saxothuringischen Zone	6
2.3	008_01TG_204_01IG_T_f_kro Tongestein der Nordsudetischen Senke, Oberkreide	6
3	Wirtsgesteine	6
3.1	Kristallines Wirtsgestein	6
3.2	Wirtsgestein Tongestein.....	7
4	Ausschlusskriterien	7
5	Prüfergebnisse zur Anwendung der Ausschlusskriterien	8
6	Mindestanforderungen	13
7	Prüfergebnisse zur Anwendung der Mindestanforderungen	15
7.1	Nordsudetische Senke (Teilgebiet 008_01TG_204_01IG_T_f_kro)	15
7.2	Südliche Phyllitzone (Teilgebiet 011_00TG_200_00IG_K-g_SPZ)	18
7.3	Lausitzer Granodioritkomplex und Meißener Pluton (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)	18
7.4	Erzgebirge (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)	18
7.5	Frankenberger Zwischengebirge (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)	19
7.6	Granulitgebirge (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)	19
7.7	Westerzgebirgische und vogtländische Granite (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)	20
7.8	Nordwestsachsen (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)	20
7.8.1	Gliederung des nordwestsächsischen Grundgebirges	20
7.8.2	Torgau-Doberlug-Einheit	20
7.8.3	Nordsächsischer Block.....	21
7.8.4	Delitzscher Pluton	22
7.8.5	Ostturingisch-Nordsächsische Einheit.....	22
7.8.6	Wurzen-Caldera.....	23
7.9	Görlitzer Schiefergebirge (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)	25
7.10	Lausitzer Grauwacken-Einheit (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)	26
7.11	Chemnitzbecken (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)	27
8	Geowissenschaftliche Abwägungskriterien	28
8.1	Methodisches Vorgehen der BGE.....	28
8.2	Bewertung der Abwägungskriterien durch die BGE.....	30

8.2.1	009_00TG_194_00IG_K_g_SO kristallines Wirtsgestein im Grundgebirge der saxothuringischen Zone.....	30
8.2.2	011_00TG_200_00IG_K-g_SPZ kristallines Wirtsgestein in der südlichen Phyllitzone .	30
8.2.3	008_01TG_204_01IG_T_f_kro Tongestein der Nordsudetischen Senke, Oberkreide ..	30
9	Prüfergebnisse zur Anwendung der Abwägungskriterien.....	31
10	Synopsis der Prüfungsergebnisse.....	32
11	Quellen.....	35

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Übersicht repräsentativer Bohrungen ausgewählter regionalgeologischer Einheiten	41
--	-----------

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Teilgebiete in Sachsen.	5
Abbildung 2: Anwendung des Ausschlusskriteriums „aktive Störungszonen“	9
Abbildung 3: Darstellung der dokumentierten Erdbebentätigkeit im Großraum Vogtland.....	11
Abbildung 4: Anwendung des Ausschlusskriteriums Bergbau.	12
Abbildung 5: Übersicht über die an die BGE gelieferten Bohrungsdaten.	14
Abbildung 6: Regionalgeologische Einheiten.....	15
Abbildung 7: Ausschnitt aus der Geologischen Übersichtskarte 1: 400 000 (GK 400, 1995) im Bereich der Nordsudetischen Senke mit Sedimenten der Kreide.	17
Abbildung 8: Ausschnitt der kretazischen Ablagerungen in Bohrprofilen aus der Nordsudetischen Senke von Süd nach Nord.	17
Abbildung 9: Regionalgeologische Einheiten und Plutonite mit Kontakthöfen des saxothuringischen Grundgebirges in Nordwestsachsen nach GK 400 (1995) und der GK50 LKT (2016).	21
Abbildung 10: Prognostisches Normalprofil der Füllung der Wurzten-Caldera.....	25
Abbildung 11: Bohrprofile aus dem Görlitzer Schiefergebirge, welche die verschuppte Lagerung paläozoischer Sedimente zeigen.	26
Abbildung 12: Nachweise der Wirtsgesteinsformation „kristallines Wirtsgestein im Grundgebirge der saxothuringischen Zone“ innerhalb der regionalgeologischen Einheit Chemnitzbecken.	28
Abbildung 13: Darstellung des Prüfergebnisses.	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Belege für die Aktivität der von der BGE (2020a) nicht ausgeschlossenen Störungssegmente.....	9
Tabelle 2: Übersicht über die Abwägungskriterien und deren Bewertung für die drei sächsischen Teilgebiete (BGE, 2020f).....	29
Tabelle 3: Flächen der Teilgebiete und unplausiblerweise als Teilgebiete ausgewiesener Regionen.	34

1 Einleitung

Am 28.09.2020 hat die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) ihren „Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG“ veröffentlicht (BGE, 2020a). Der Bericht stellt den Stand der Arbeiten der BGE zum Ende der Phase 1 des Standortauswahlverfahrens dar und zeigt auf, welche Gebiete in Deutschland nach Anwendung der im Standortauswahlgesetz (StandAG, 2017) definierten Kriterien und Anforderungen (Ausschlusskriterien nach § 22, Mindestanforderungen nach § 23; geowissenschaftliche Abwägungskriterien nach § 24 StandAG) bei der Endlagersuche ausgeschlossen werden können und welche im weiteren Verlauf näher untersucht werden. Insgesamt wurden von der BGE neunzig sogenannte Teilgebiete auf ca. 54 % der Fläche von Deutschland ausgewiesen, in denen nach Auswertung der zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Daten günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung hochradioaktiver Abfälle zu erwarten sind. Diese Gebiete dienen im weiteren Standortauswahlverfahren als Grundlage für die Auswahl von übertägig zu erkundenden Standortregionen.

In Sachsen wurde eine Fläche von 11 526 km² in Teilgebieten ausgewiesen. Das entspricht einem Anteil an der Landesfläche von 62 %. Alle Landkreise und kreisfreien Städte sind betroffen. Die ausgewiesenen Flächen wurden drei Teilgebieten zugeordnet (Abb. 1). Auffällig ist dabei insbesondere ein umfangreiches, undifferenziert dargestelltes Teilgebiet, welches sich von Baden-Württemberg über Bayern und Thüringen bis nach Sachsen erstreckt (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO, Abb. 1).

Die Abteilung 10/Geologie des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) wurde mit E-Mail vom 29.09.2020 seitens des Referates 42/Bodenschutz, Altlasten, Geologie des Sächsischen Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL) dazu aufgefordert, eine fachliche Prüfung des Zwischenberichtes Teilgebiete hinsichtlich der sächsischen Betroffenheit durchzuführen. Bei der Prüfung sollen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Sind die an die BGE übergebenen Datengrundlagen korrekt verwendet worden?
- Überprüfung der dargestellten Wirtsgesteinsverbreitung in Sachsen unter Berücksichtigung der von der BGE verwendeten Wirtsgesteinsdefinition.
- Sind die Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen gesetzeskonform angewendet worden? Gibt es an der Methodik der Anwendung der Kriterien fachliche Kritik, die sich auch auf die sächsische Gebietskulisse auswirken würde?
- Im o. g. umfangreichen Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO wurden regionalgeologische Einheiten mit unterschiedlichen kristallinen Wirtsgesteinen (unterschiedliches Alter/Genese und damit verbunden unterschiedlichen Eigenschaften) zusammengefasst. Ist diese Herangehensweise mit Verwendung eines vereinheitlichten Referenzdatensatzes für Kristallingestein aus fachlicher Sicht gerechtfertigt oder damit die korrekte Anwendung der Abwägungskriterien auch in Phase 1 des Standortauswahlverfahrens fraglich?

Gegenstand der vorliegenden Stellungnahme ist es, eine detaillierte fachliche Einschätzung des Geologischen Dienstes des LfULG hinsichtlich der o. g. Punkte darzulegen.

2 Teilgebiete

2.1 011_00TG_200_00IG_K-g_SPZ kristallines Wirtsgestein in der südlichen Phyllitzone

„Das Teilgebiet erstreckt sich entlang der Landesgrenze zwischen Sachsen-Anhalt und Sachsen bis in das Bundesland Brandenburg. Das Teilgebiet befindet sich im Grundgebirge der südlichen Phyllitzone und weist Mächtigkeiten zwischen 210 m und 1 200 m auf. Die Oberfläche des Teilgebiets befindet sich in einer Teufenlage von 300 m bis 1 290 m unterhalb der Geländeoberkante“ (BGE, 2020a). In Sachsen nimmt das Teilgebiet eine Fläche von 122 km² ein (Abb. 1, rot). Das Teilgebiet umfasst in Sachsen kambrische Sedimente, welche der Doberlug-Torgau-Einheit der saxothuringischen Zone zugeordnet werden können. Das Verbreitungsgebiet des kristallinen Wirtsgesteins der südlichen Phyllitzone reduziert sich deshalb in Sachsen auf die Plutone von Pretzsch und Prettin, welche randlich bis in den Freistaat hineinreichen.

Teilgebiete in Sachsen

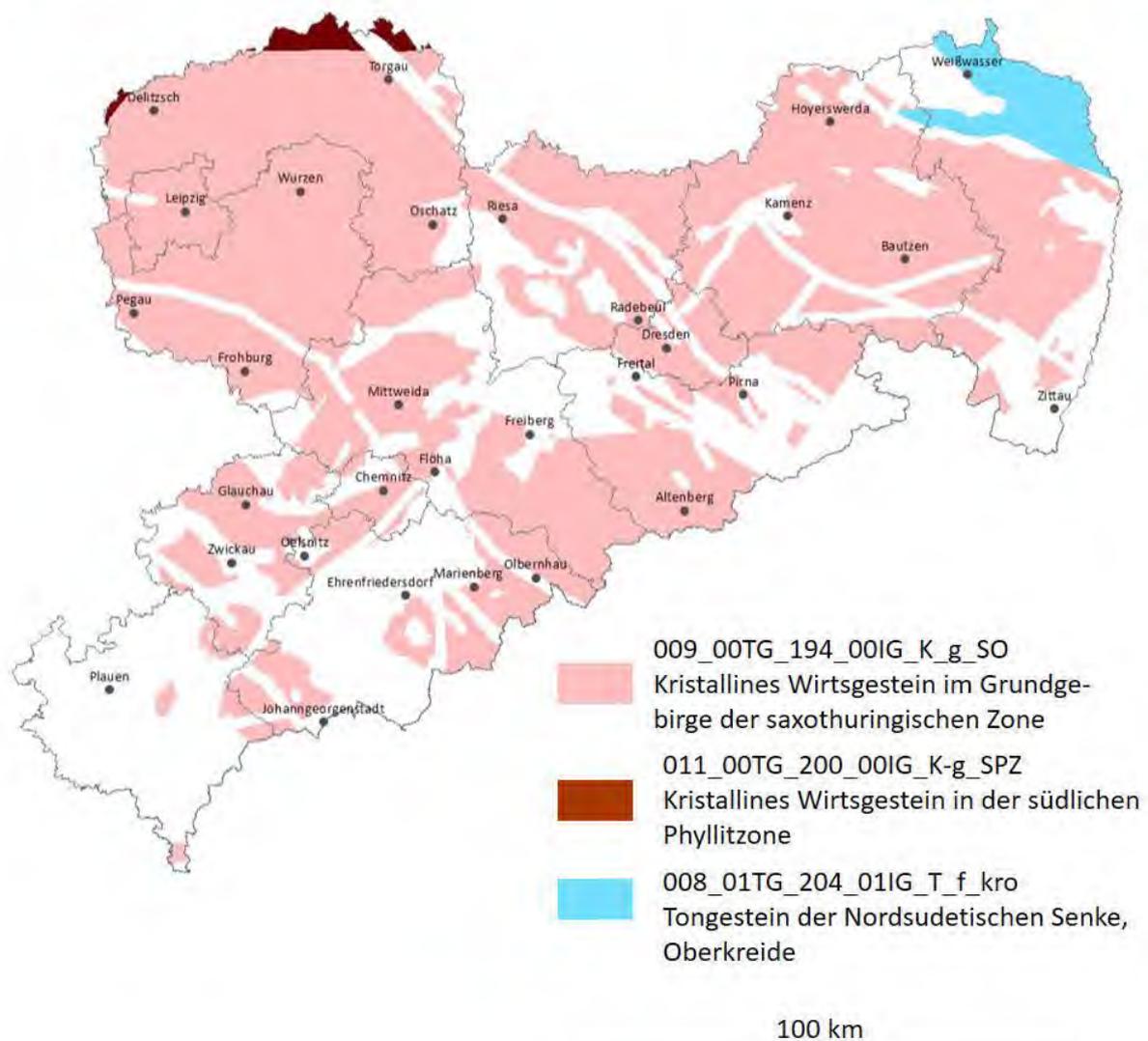


Abbildung 1: Teilgebiete in Sachsen.

2.2 009_00TG_194_00IG_K_g_SO kristallines Wirtsgestein im Grundgebirge der saxothuringischen Zone

„Das Teilgebiet erstreckt sich von Südwesten über Baden-Württemberg, Bayern, Thüringen, Sachsen-Anhalt, das südliche Brandenburg und große Teile Sachsens im Nordosten von Deutschland. Das Teilgebiet befindet sich im Grundgebirge der saxothuringischen Zone und weist Mächtigkeiten zwischen 200 m und 1 200 m auf. Die Oberfläche des Teilgebiets befindet sich in einer Teufenlage von 300 m bis 1 300 m unterhalb der Geländeoberkante“ (BGE, 2020a). In Sachsen nimmt das Teilgebiet eine Fläche von 10 951 km² ein (Abb. 1, rosa). Das Teilgebiet umfasst in Sachsen mehrere regionalgeologische Einheiten mit unterschiedlichem geologischem Aufbau: das Erzgebirge, das Chemnitzbecken, das Granulitgebirge, das Frankenberger Zwischengebirge, die westergebirgischen und vogtländischen Granite, den Lausitzer Granodioritkomplex und Meißener Pluton, die Lausitzer Grauwacken-Einheit, das Görlitzer Schiefergebirge, die Ostthüringisch-Nordsächsische Einheit, den Nordsächsischen Block, die Wurzten-Caldera, den Delitzscher Pluton, die Torgau-Doberlug-Einheit. In diesen regionalgeologischen Einheiten treten sedimentäre, vulkanische, plutonische und metamorphe Gesteine auf. Der Metamorphosegrad schwankt von sehr schwach metamorph bis ultrahochmetamorph.

2.3 008_01TG_204_01IG_T_f_kro Tongestein der Nordsudetischen Senke, Oberkreide

„Das Teilgebiet liegt im Osten der Bundesländer Brandenburg und Sachsen. Das Teilgebiet bezieht sich auf die stratigraphische Einheit Oberkreide, welche das Wirtsgestein Tongestein enthält. Es hat eine maximale Mächtigkeit von 1 200 m. Die Basisfläche des Teilgebietes befindet sich in einer Teufenlage von 400 m bis 1 500 m unterhalb der Geländeoberkante“ (BGE, 2020a). Das Teilgebiet nimmt in Sachsen eine Fläche von 453 km² ein (Abb. 1, blau). Es umfasst sedimentäre Gesteine.

3 Wirtsgesteine

In Sachsen wurden kristallines Wirtsgestein und Tongestein ausgewiesen. Die BGE (2020a) verwendet für diese die folgenden Definitionen.

3.1 Kristallines Wirtsgestein

„Die BGE subsumiert unter kristallinen Wirtsgesteinen sowohl Plutonite, auch Tiefengesteine genannt, als auch hochgradig regionalmetamorphe Gesteine, welche günstige Eigenschaften für die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen erwarten lassen. Bei den Plutoniten handelt es sich um magmatische Gesteine, welche in Folge der Abkühlung von Magma in großer Tiefe durch langsame Kristallisation (Erstarrung, bei der die Minerale ihre Kristallform annehmen) entstehen. Auf Grund der langsamen Abkühlung kristallisiert das Magma fast vollständig aus. Die gebildeten Gesteine besitzen eine charakteristische vollkristalline Struktur, wobei die Kristalle der unterschiedlichen Mineralphasen meist mit bloßem Auge zu erkennen sind. Bekannte Beispiele plutonischer Gesteine sind Granite, Diorite und Gabbro. An die Erdoberfläche gelangen Plutonite durch spätere tektonische Hebungen und Abtragung der überlagernden Schichten durch Erosion.

Bei metamorphen Gesteinen handelt es sich um Gesteine, welche in Folge einer Metamorphose (Umwandlung) anderer Gesteine durch die Einwirkung erhöhter Drücke und Temperaturen entstehen. Dies geschieht durch unterschiedliche Prozesse wie beispielsweise regionale tektonische Vorgänge oder Aufdringen von Magma. Hochgradig regionalmetamorphe Gesteine sind relativ hohen Drücken und Temperaturen ausgesetzt gewesen. Es kommt zu Mineralumwandlungen (Entstehung neuer Mineralphasen), ohne dabei das Ausgangsgestein gänzlich aufzuschmelzen.

Vulkanite, gering bis mittelgradig regionalmetamorph beanspruchte Gesteine sowie Hochdruck- und Kontaktmetamorphite zählt die BGE nicht zu den kristallinen Wirtsgesteinen gemäß § 23 Abs. 1 S. 1 StandAG. Dies begründet sich darin, dass diese Gesteine die als günstig für die Endlagerung radioaktiver Abfälle geforderten Eigenschaften größtenteils nicht umfänglich erfüllen“ (BGE, 2020a).

In der untersetzenden Unterlage „Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG“ (BGE, 2020g) spezifiziert die BGE den Begriff „hochgradig regionalmetamorphe Gesteine“ als **„Gesteine der Fazies Amphibolit, Eklogit und Granulit nach Eskola (1915), zu welchen u. a. Gneise und Migmatite gezählt werden.“** Für die Prüfung des „Zwischenberichts Teilgebiete“ hat das LfULG Amphibolit, Eklogit, Glimmerschiefer, Gneis, Granulit und Marmor als Wirtsgestein klassifiziert. Außerdem wurden Plutonite und kontaktmetamorphe Gesteine berücksichtigt. Obwohl letztere niedriggradig metamorphe Gesteine sind, geben sie immer Hinweis auf die Nähe eines Plutonits, da eine Kontaktmetamorphose durch die Wärme eines Intrusionskörpers verursacht wird. Als Nicht-Wirtsgestein wurden Sedimente, Tonschiefer, Phyllit, Chloritschiefer, Vulkanite, subvulkanische Gesteine und Pyroklastite klassifiziert.

3.2 Wirtsgestein Tongestein

„Das Wirtsgestein Tongestein ist ein in der geologischen Vergangenheit durch Transport und Ablagerung von Tonmineralen, aber auch Mineralen wie Quarz, Karbonat u. a. entstandenes Sedimentgestein, dessen Korngrößen zu einem großen Teil kleiner als 0,002 mm sind. Die BGE subsumiert unter dem Wirtsgesteinsbegriff Tongestein sowohl plastische Tone als auch Tonsteine, welche diagenetisch verfestigt sind. Als Tongesteinsformation werden im Folgenden Gesteinsformationen bezeichnet, die überwiegend aus Tongesteinen bestehen, aber noch zusätzlich untergeordnet andere Gesteine wie z. B. Sandsteine oder Karbonatgesteine enthalten. Tongesteinsformationen werden somit nicht ausschließlich durch Tongesteine charakterisiert; eingeschlossen werden damit auch Ton-Mergel- und Mergel-Tongesteine als die tondominierten Vertreter aus der kontinuierlichen Reihe Kalkstein-Mergel-Tonstein. Nicht zu den endlagerrelevanten Tongesteinen zählen die Tonschiefer, bei denen es sich um metamorphe, nicht um sedimentäre Tonsteine handelt, die nicht die o. g. günstigen Eigenschaften besitzen“ (BGE, 2020a). Für die Prüfung des „Zwischenberichts Teilgebiete“ hat das LfULG Tonstein und Tonmergelstein als Wirtsgestein klassifiziert und Mergel, Kalkmergelstein und Kalkschluffstein als Nicht-Wirtsgestein klassifiziert.

4 Ausschlusskriterien

Ein Gebiet ist nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn mindestens **eines** der Ausschlusskriterien nach § 22 StandAG in diesem Gebiet erfüllt ist. Die Ausschlusskriterien sind:

- großräumige Vertikalbewegungen von $> 1 \text{ mm / Jahr}$ oder $> 1 \text{ km / Millionen Jahre}$. Deutschlandweit wurden keine betroffenen Gebiete identifiziert.
- aktive Störungszonen, welche in den letzten 34 Millionen Jahren nachweislich oder mit hoher Wahrscheinlichkeit aktiv waren und Verwerfungen mit deutlichem Gesteinsversatz verursachten. Diese wurden mit einem beidseitigen Puffer von 1 km um die Störungsspur an der Geländeoberfläche ausgeschlossen.

Außerdem arbeitete die BGE mit tektonischen Großstrukturen, welche sich durch intensive tektonische Aktivität auszeichnen. Mit dem Begriff „tektonische Großstruktur“ beschreibt die BGE tektonische Systeme, welche nachweislich in den vergangenen 34 Millionen Jahren aktiv waren. Die definierten tektonischen Großstrukturen sind nicht als ausgeschlossene Gebiete zu verstehen, sondern vielmehr als Argumentationsgrundlage und Suchraum zur Ausweisung aktiver Störungszonen in Deutschland. Methodisch bedingt können in den tektonischen

Großstrukturen nicht ausgeschlossene Restflächen verbleiben, wenn die dargestellten Störungen einschließlich des Puffers von 1 km weit genug voneinander entfernt liegen.

- atektonische Vorgänge, die nicht auf seismische Aktivität zurückzuführen sind, aber zu ähnlichen Konsequenzen wie tektonische Störungen führen, wie Impaktereignisse, Karst oder Glazitektonik. Betroffene Gebiete wurden ausgeschlossen.
- bergbauliche Tätigkeit, durch welche das Gebirge so geschädigt wurde, dass negative Auswirkungen auf den Spannungszustand und die Permeabilität des Gebirges zu erwarten sind. Es wurden ausschließlich bergbauliche Tätigkeiten betrachtet, deren aufgefahrene Hohlräume den endlagerrelevanten Tiefenbereich von 300 m bis 1 500 m unter der Geländeoberkante verritzen. Betroffene Gebiete wurden ausgeschlossen.
- Bohrungen mit einer Teufe von > 275 m. Diese wurden mit einem Radius von 25 m um die Bohrpfade ausgeschlossen.
- seismische Aktivität, wenn die örtliche seismische Gefährdung größer ist als in Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA 2011-01. Betroffene Gebiete wurden ausgeschlossen.
- vulkanische Aktivität, wenn quartärer Vulkanismus vorliegt. Die Eruptionszentren wurden mit einem Ausschlussradius von 10 km versehen.
- Nachweis junger Grundwässer. Die bloße Existenz, also der Nachweis, von ^3H und/oder ^{14}C im Grundwasser führte zum Ausschluss.

Die Anwendung der Ausschlusskriterien ist in der untersetzenden Anlage des Zwischenberichts „Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG“ dargelegt (BGE, 2020b). Die im Zwischenbericht gelieferten Karten wurden georeferenziert und mit den an die BGE gelieferten Daten und Berichten abgeglichen.

5 Prüfergebnisse zur Anwendung der Ausschlusskriterien

In Sachsen wurden keine Gebiete ausgeschlossen auf Grund großräumiger Vertikalbewegungen, atektonischer Prozesse sowie durch Bergbau in Tagebauen.

Bohrungen mit einer Tiefe von mehr als 275 m wurden mit einem Radius von 25 m ausgeschlossen. Messstellen mit jungen Grundwasseraltern wurden punktuell ausgeschlossen. Beide sind auf der Übersichtskarte (Abb. 1) maßstabsbedingt nicht sichtbar.

Ein Datensatz mit 286 aktiven Störungssegmenten wurde der BGE vom LfULG geliefert (Sächsische Störungsdatenbank, 2020; Abb. 2 dunkelgrüne und blaue Linien). Diese Störungen wurden überwiegend mit einem beidseitigen Puffer von 1 km ausgeschlossen. Acht Störungssegmente wurden nicht berücksichtigt (Abb. 2, blaue Linien). Diese und die Nachweise für ihre tektonische Aktivität werden in Tabelle 1 aufgelistet. Die einzige glazigen-tektonische Störung „Muskauer Faltenbogen“, welche durch oberflächennahe Prozesse in der Eiszeit entstand, reicht nicht bis in endlagerrelevante Teufen von 300 m, sodass der Entscheidung der BGE, diese Störung nicht zu berücksichtigen, gefolgt werden kann. Bei allen endogen-tektonischen Störungen, welche sich durch tektonische Prozesse im Erdinneren bildeten, muss jedoch davon ausgegangen werden, dass diese eine Tieferenerstreckung bis in endlagerrelevante Teufen erreichen. Die Entscheidung der BGE, diese Störungen nicht zu berücksichtigen, ist nicht plausibel.

Außerdem definierte die BGE zwei tektonische Großstrukturen in Sachsen, „Vogtland“ und „Lausitzer Tertiärgräben“ (Abb. 2, hellgrün), welche intensive tektonische Aktivität aufweisen. Innerhalb dieser tektonischen Großstrukturen wurden die dunkelroten Flächen in Abb. 2 nicht ausgeschlossen.

Tabelle 1: Belege für die Aktivität der von der BGE (2020a) nicht ausgeschlossenen Störungssegmente.

Störung	Segment	Strukturtyp	Beleg	Quelle
Bautzen-Störung	1	endogen-tektonische Störung	rezente Erdbeben: 22.04.2013, 24.12.2018	Seismologie in Mitteldeutschland (2020)
Meissner-Massiv-SW- Rand-Störung	4	endogen-tektonische Störung	Kartierung spätkretazisch- neogenen Versatzes	Stanek (2016)
Meissner-Massiv-SW- Rand-Störung	5	endogen-tektonische Störung	Kartierung spätkretazisch- neogenen Versatzes	Stanek (2016)
Muskauer Faltenbogen	1	glazigen-tektonische Störung	quartäre Sedimente deformiert, Tiefenerstreckung 180- 210 m	Kupetz et al. (1989)
Nordsächsische Überschiebung	2	endogen-tektonische Störung	rezentes Erdbeben: 29.11.2013	Seismologie in Mitteldeutschland (2020)
Rietschen-Abbruch	1	endogen-tektonische Störung	geomorphologisch wirksam	Stanek et al. (2016)
Waldheim-Süd-Störung	1	endogen-tektonische Störung	geomorphologisch wirksam, junge Klufzonen	Müller et al. (in prep.)
Waldheim-Nord- Störung	1	endogen-tektonische Störung	geomorphologisch wirksam, junge Klufzonen	Müller et al. (in prep.)

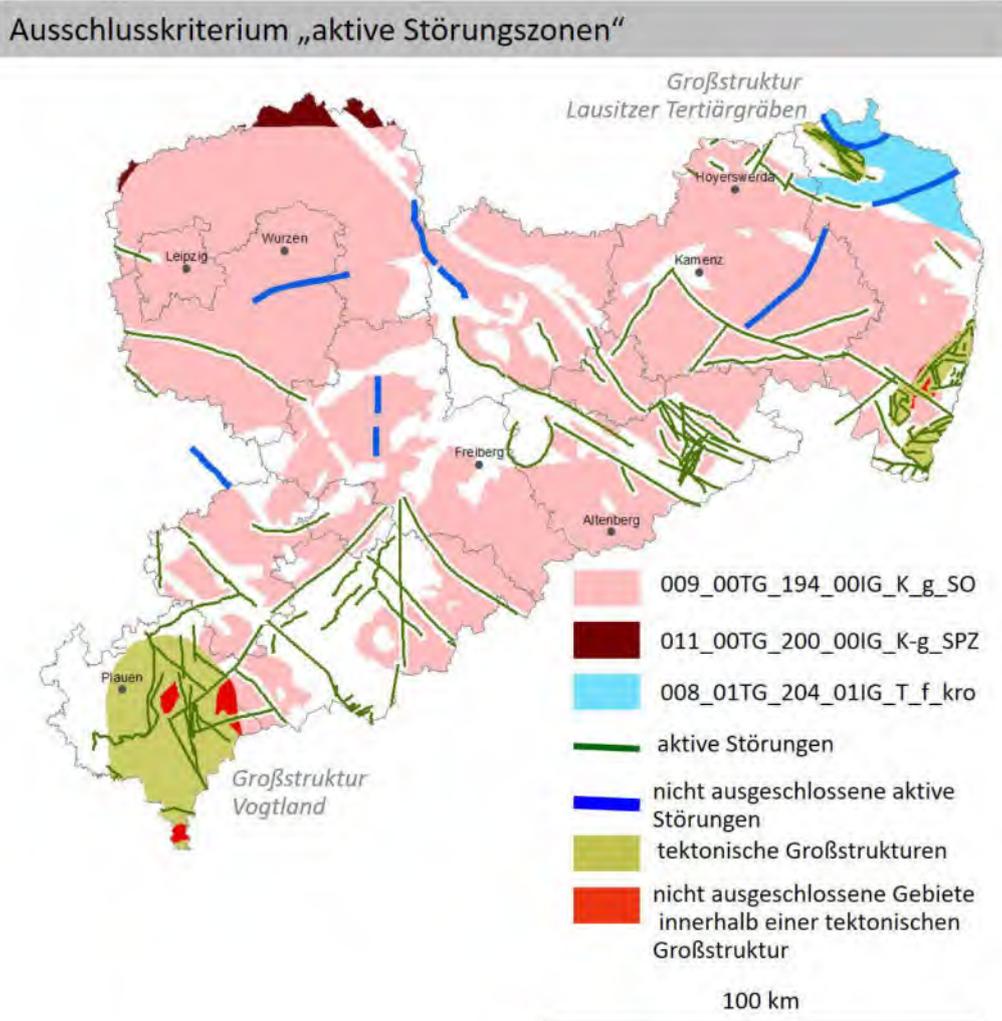


Abbildung 2: Anwendung des Ausschlusskriteriums „aktive Störungszone“. Die aktiven Störungen, welche durch blaue Linien gekennzeichnet sind, wurden nicht ausgeschlossen. Außerdem wurden einige Bereiche innerhalb der tektonischen Großstrukturen nicht ausgeschlossen (rot).

Für die „Lausitzer Tertiärgräben“ ergab eine Rückfrage bei der BGE, dass die dunkelroten Flächen methodisch bedingt nicht ausgeschlossen wurden. Sie sind Relikte, da die BGE vom LfULG nur durch Tagebaue, Bohrungen bzw. geomorphologische Analyse verifizierte Störungen übermittelt bekommen hat. Es existieren weitere Störungen mit gleichartiger Aktivität. Im südlichen Teil der Lausitz können diese Störungen dem Eger-Riftsystem zugeordnet werden.

In der tektonischen Großstruktur „Vogtland“ wurden der Bergener Granit, der Fichtelgebirgsgranit und der Westteil des Eibenstocker Granits nicht ausgeschlossen. Hier gibt es jedoch klare Belege für die rezente tektonische Aktivität der Gebiete (Abb. 3). Das Vogtland ist durch Schwarmbeben gekennzeichnet, welche in regelmäßigen Abständen über 1000 Beben in wenigen Wochen umfassen. Korn et al. (2008) geben einen guten Überblick über die Verteilung der Erdbeben. Es existieren mehrere Erdbebenzentren, welche sich durch bestimmte Charakteristika auszeichnen. Eines dieser Zentren liegt im Bergener Granit, ein weiteres direkt angrenzend westlich davon (Abb. 3). Die Analyse der Erdbebenaktivität im Raum Bergen offenbart, dass die Erdbeben in 6-10 km Tiefe stattfinden. Dies ist deutlich flacher als im restlichen zentralen Vogtland, wo die Erdbebenherde in 10-20 km Tiefe liegen. Momententensorlösungen im Bergener Granit, welche die Bewegung auf einer Störungsfläche während eines Erdbebens mathematisch repräsentieren, legen nahe, dass in kurzen Abständen von weniger als 10 Jahren wiederholt an den gleichen Orten Herdflächen innerhalb des Granits aktiviert werden. Das ist ein Beleg dafür, dass der Bergener Granit von aktiven Tiefenstörungen durchzogen wird. Gleiches gilt für den Fichtelgebirgsgranit. Rappsilber et al. (2020) interpretieren die seismologische Gesamtsituation als Beleg für eine Störungszone, welche sich mindestens bis Reichenbach i. V. nach Norden erstreckt. Auch im Westteil des Eibenstocker Granits sind Erdbeben registriert worden (Abb. 3). Eine Häufung von Erdbeben tritt am Westrand des Eibenstocker Granits auf. Diese Daten belegen die aktive Tektonik in diesem Granitpluton. Alle innerhalb der tektonischen Großstruktur „Vogtland“ gelegenen Teilgebietsflächen sind deshalb nicht als Standort für ein Endlager geeignet.

Vulkanisch aktive Gebiete in Sachsen liegen größtenteils innerhalb der Großstruktur Vogtland und wurden in diesem Bereich nach den Kriterien der BGE ausgeschlossen. Der alkalische Intraplattenvulkanismus in diesem Gebiet ist durch mehrere sehr kurzzeitige vulkanische Aktivitäten mit Ruhephasen von mehreren 10 000 bis 100 000 Jahren gekennzeichnet (Wagner et al., 2002; Hošek et al., 2019). Charakteristisch für solch einen Intraplattenvulkanismus ist insbesondere das Auftreten von phreatischen, durch Dampfexplosion entstandenen, und phreatomagmatischen, durch Kontakt von Magma und Wasser entstandenen, Maaren sowie Schlackenkegel-Vulkanen mit einem assoziierten Fluid- und Gasaufstieg. Als wesentliche Indikatoren zur räumlichen Abgrenzung dieser vulkanischen Aktivitäten sind demzufolge die derzeit bekannten quartären Vulkanstrukturen wie Maare und Schlackenkegel sowie aktive Aufstiegswege von vulkanischen Gasen (Mofetten) und Fluiden mit deutlicher Erdmantelsignatur heranzuziehen. Letztgenannte Signaturen in den rezent aufsteigenden Gasen und Fluiden, insbesondere die relevanten Helium-Isotopverhältnisse, belegen deutlich die vulkanische Aktivität in der Großstruktur Vogtland. Die Mobilität der Gase und Fluide führt außerhalb der bekannten Mofetten zu einer Stauung der Spannungsenergie in der Erdkruste, welche sich in Form von sehr häufig wiederkehrenden Schwarmbeben entlädt. Ausgehend von diesen Charakteristika haben nicht nur die Magmenaufstiegskanäle sondern auch die Aufstiegswege von Gasen und Fluiden mit Mantelsignatur die Integrität des Gebirges zerstört. Die Hypozentren der Schwarmbeben lokalisieren somit auch Fluidwegsamkeiten im Untergrund, welche sich in Richtung der Erdoberfläche entwickeln können. Vulkanische Aktivität in dieser Region im Laufe der nächsten 1 Million Jahre kann als sicher angenommen werden. Aktuelle Forschungen (Hrubcova et al., 2017) gehen davon aus, dass Mofetten Bereiche künftiger vulkanischer Aktivität anzeigen.

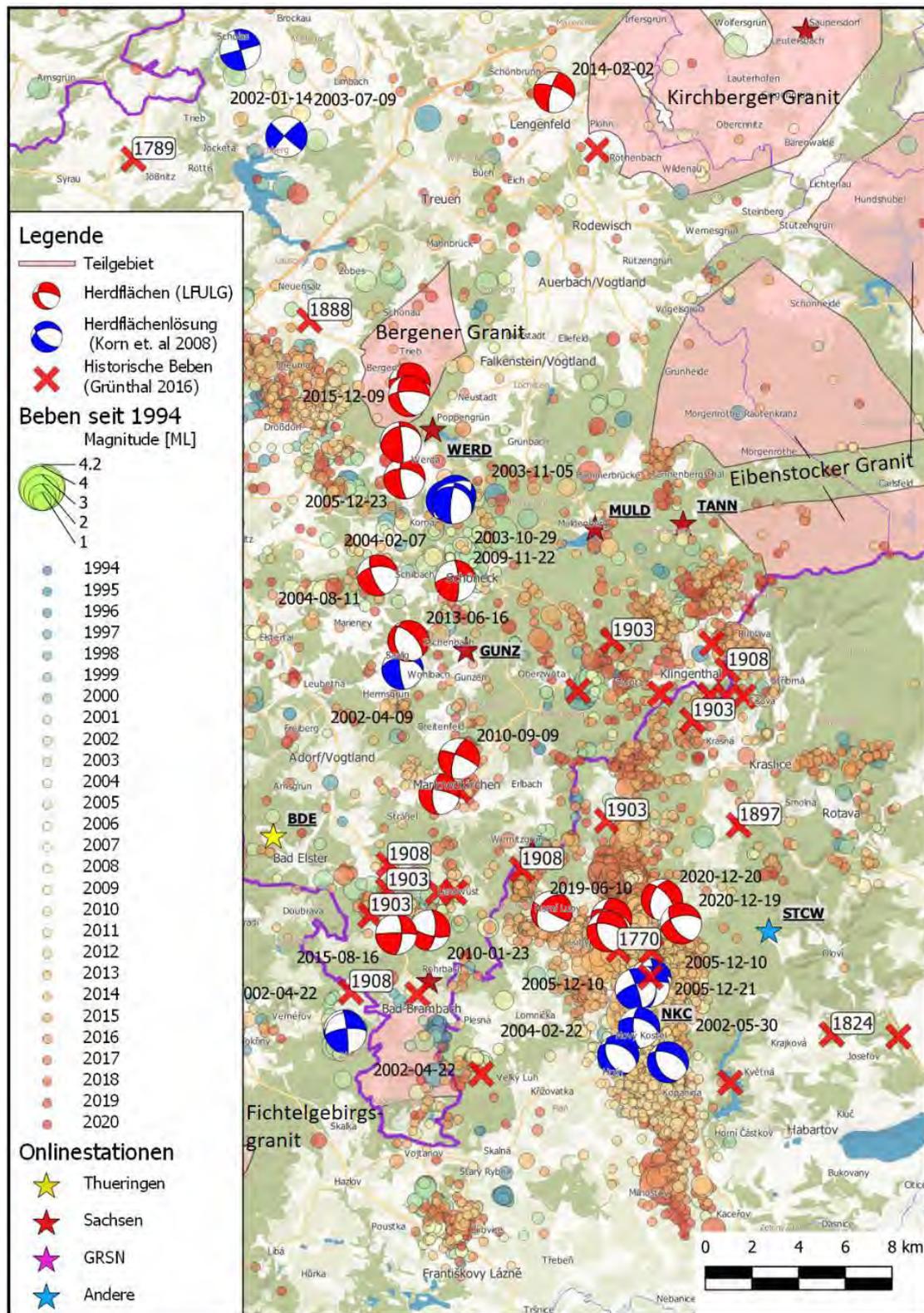


Abbildung 3: Darstellung der dokumentierten Erdbebenaktivität im Großraum Vogtland in Bezug zu den ausgewiesenen Teilgebieten. Es werden sowohl die historischen Erdbeben aufgeführt, als auch die instrumentell lokalisierten Beben der Gegenwart. Weiterhin wurden Herdflächenlösungen einbezogen, welche für ausgewählte Erdbeben den Bruchmechanismus darstellen. Es ist deutlich zu sehen, dass die Bruchmechanismen im Gebiet Novy Kostel und dem Vogtland sich ähneln. Es wird deutlich, dass die Schwarmgebiete über Jahrhunderte immer wieder aktiviert wurden und zum Teil direkt in den Teilgebieten liegen oder direkt daran angrenzen (Grundkarte: Maptiler, 2020).

Ausgeschlossene Bergbaugebiete

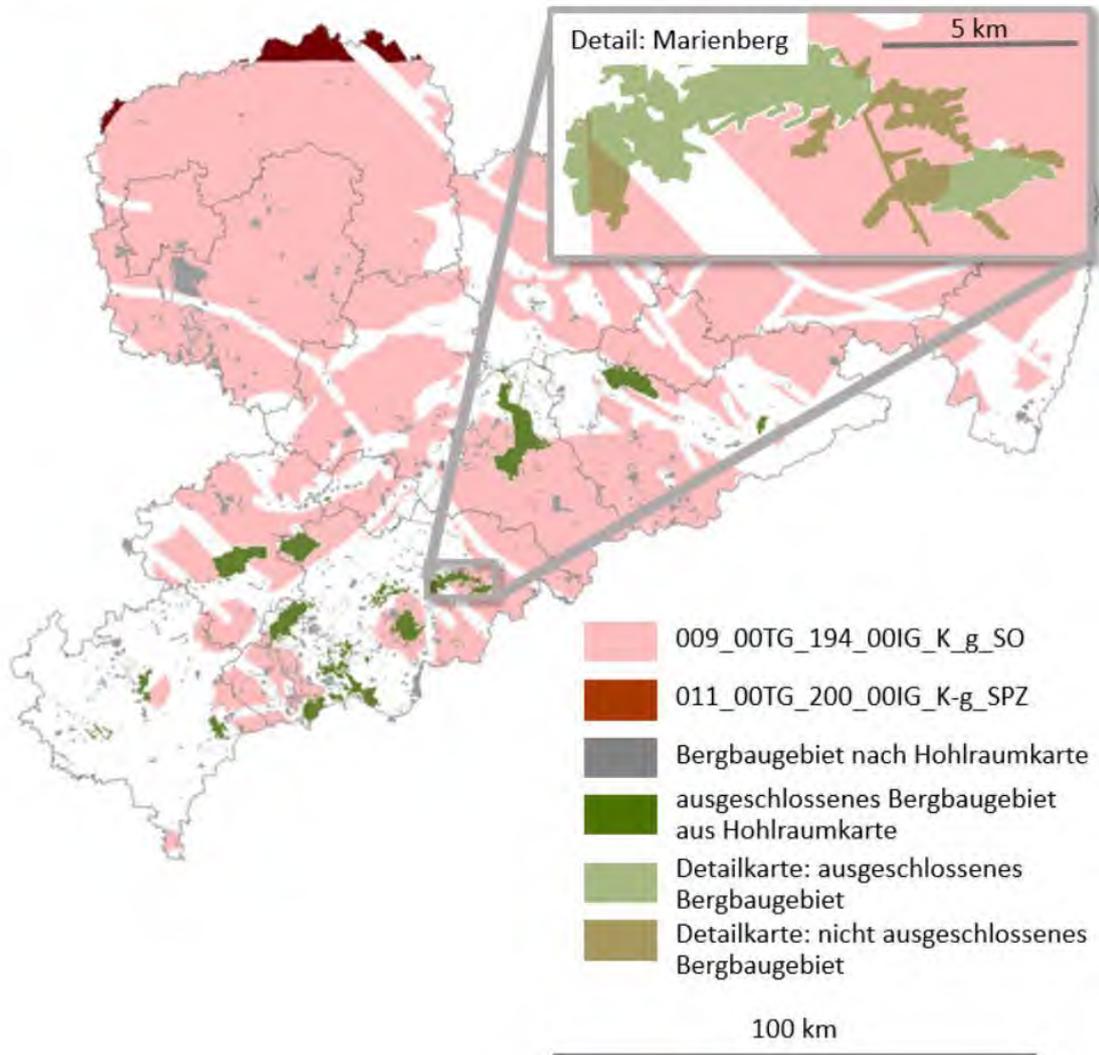


Abbildung 4: Anwendung des Ausschlusskriteriums Bergbau. Bergbaugebiete nach Sächsischer Hohlraumkarte (grau) und die darin enthaltenen Bergbaugebiete, auf welche Ausschlusskriterien der BGE angewendet wurden (grün). Einige der in der Hohlraumkarte enthaltenen Bergbaugebiete wurden nur teilweise ausgeschlossen (Beispiel Marienberg: Detailkarte).

Ein seismisch aktives Gebiet befindet sich an der Westgrenze von Sachsen östlich von Gera. Es wurde ausgeschlossen.

Die BGE hat mehrere Bergbaugebiete mit Tiefbauten ausgeschlossen. In Abb. 4 sind die Bergbaugebiete zu sehen, welche in der Sächsischen Hohlraumkarte (2017) enthalten sind (grau und grün) sowie die aus diesem Datensatz von der BGE zum Ausschluss verwendeten Bergbaugebiete (grün). Einige der in der Hohlraumkarte dargestellten Bergbaugebiete wurden nur teilweise ausgeschlossen wie z. B. Ehrenfriedersdorf und Marienberg (Abb. 4, Detailkarte). Dort wurden nur Regionen berücksichtigt, wo die Grubenbaue tiefer als 300 m sind. Grubenbaue mit geringerer Tiefenerstreckung blieben unberücksichtigt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das LfULG der BGE (2020b) bei der Anwendung der Ausschlusskriterien weitgehend folgen kann. Es wurden jedoch einige Bereiche innerhalb aktiver

Störungszonen und tektonischer Großstrukturen nicht berücksichtigt (Abb. 2). Darüber hinaus wird die Notwendigkeit gesehen, das Ausschlusskriterium „aktiver Vulkanismus“ zu überarbeiten.

6 Mindestanforderungen

Die Mindestanforderungen an ein Gebiet, welches für ein Endlager geeignet ist, sind in § 23 StandAG formuliert. Es müssen **alle** der folgenden Mindestanforderungen erfüllt sein:

1. Für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle kommen die Wirtsgesteine Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein in Betracht.
2. Der Gebirgsbereich, der den einschlusswirksamen Gebirgsbereich aufnehmen soll, muss mindestens 100 m mächtig sein (beim kristallinen Wirtsgestein sind auch geringere Mächtigkeiten möglich).
3. Die Oberfläche eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs muss mindestens 300 m unter der Geländeoberfläche liegen.
4. Ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich muss über eine Ausdehnung in der Fläche verfügen, die eine Realisierung des Endlagers ermöglicht. Für das Wirtsgestein Tongestein wird eine Fläche von 10 km² angenommen, für das kristalline Wirtsgestein eine Fläche von 6 km² (StandAG Auslegungshilfe, 2018).
5. Im einschlusswirksamen Gebirgsbereich muss die Gebirgsdurchlässigkeit weniger als 10⁻¹⁰ m/s betragen. Dieses Kriterium gilt nicht für Endlager mit Behälterkonzept in kristallinem Wirtsgestein.
6. Es dürfen keine Erkenntnisse oder Daten vorliegen, welche die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, insbesondere die Einhaltung der geowissenschaftlichen Mindestanforderungen zur Gebirgsdurchlässigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs über einen Zeitraum von einer Million Jahren zweifelhaft erscheinen lassen.

Sofern für die Bewertung der Erfüllung einer Mindestanforderung notwendige Daten für ein Gebiet erst in einer späteren Phase des Standortauswahlverfahrens erhoben werden können, gilt die jeweilige Mindestanforderung bis zur Erhebung dieser Daten als erfüllt. Dies wurde für die Mindestanforderungen 5 und 6 angenommen. Bei der Prüfung der Mindestanforderungen wurden deshalb zwei Aspekte betrachtet:

- Ist ein Wirtsgestein mit mindestens 100 m Mächtigkeit in einer Tiefe von mehr als 300 m vorhanden? Das entspricht den Mindestanforderungen 1,2,3.
- Ist die Größe des Wirtsgesteinskomplexes größer als 6 km² in kristallinem Wirtsgestein und größer als 10 km² in Tongestein? Das entspricht der Mindestanforderung 4.

Übersicht über Bohrungen mit Endteufen > 300 m

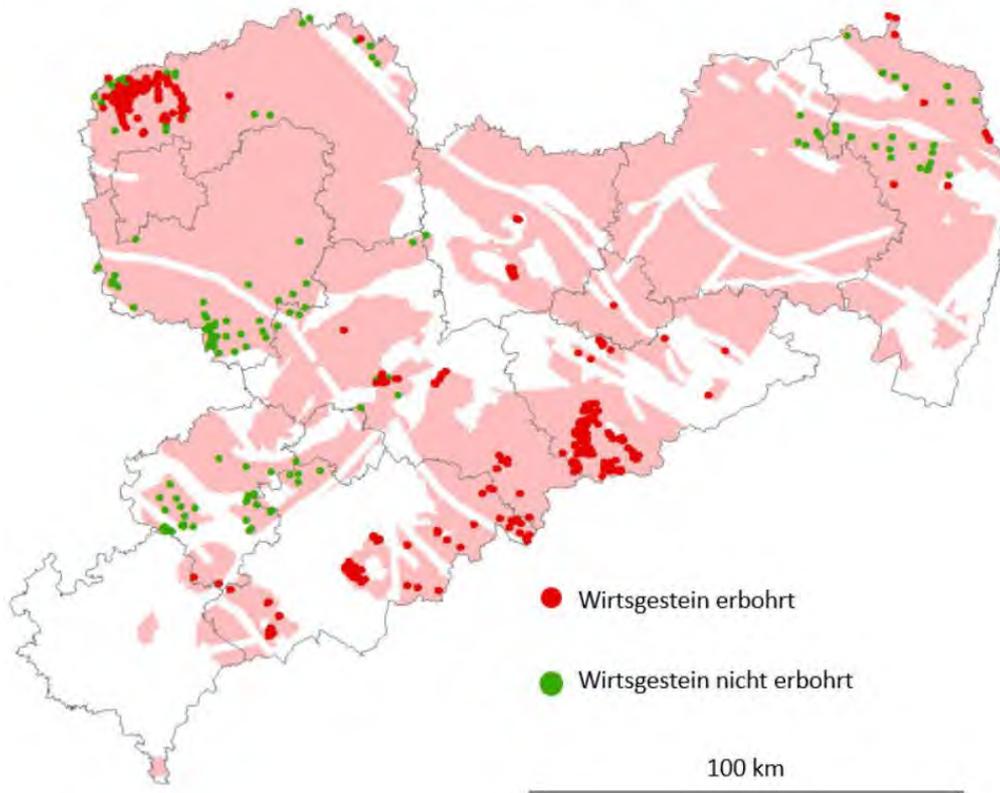


Abbildung 5: Übersicht über die an die BGE gelieferten Bohrungsdaten. Sachsen hat 3 957 Bohrungsdaten mit Endteufen > 300 m an die BGE geliefert, davon liegen 1 149 in einem Teilgebiet. Die Abbildung zeigt die ausgewiesenen Teilgebiete in rosa. Wurde Wirtsgestein erbohrt, ist die Bohrung rot dargestellt. Wurde Wirtsgestein nicht erbohrt, ist die Bohrung grün dargestellt.

Den größten Teil der Arbeit erforderte es zu prüfen, ob in den ausgewiesenen Teilgebieten überhaupt Wirtsgesteine im Sinne der von der BGE (2020a) verwendeten Definitionen vorhanden sind (Abb. 5). Dazu wurden die Teilgebiete in regionalgeologische Einheiten mit einem einheitlichen lithologischen und strukturellen Bau untergliedert (Abb. 6). Die Prüfung wurde einheitsweise durchgeführt. Neben den digitalen Bohrungsdaten und geologischen Karten, welche der BGE vorlagen, wurden zur Klärung von Detailfragen Originalschichtenverzeichnisse und unveröffentlichte Erkundungsdaten der Wismut GmbH recherchiert und miteinander abgeglichen.

Anlage 1 gibt einen Überblick über wichtige repräsentative digitale Bohrungsdaten aus ausgewählten regionalgeologischen Einheiten. Bohrungen, die in der Sächsischen Aufschlusdatenbank (2020) digital vorliegen, wurden mit einem Feldtyp „Identnr.“ gekennzeichnet. Bohrungen, die in dem an die BGE gelieferten Datensatz vorhanden sind, wurden durch einen Feldtyp „AufID“ gekennzeichnet. Nicht digitale Bohrungsdaten sind in Anlage 1 nicht aufgeführt und im Text gekennzeichnet.

Zugehörigkeit der Teilgebiete zu regionalgeologischen Einheiten

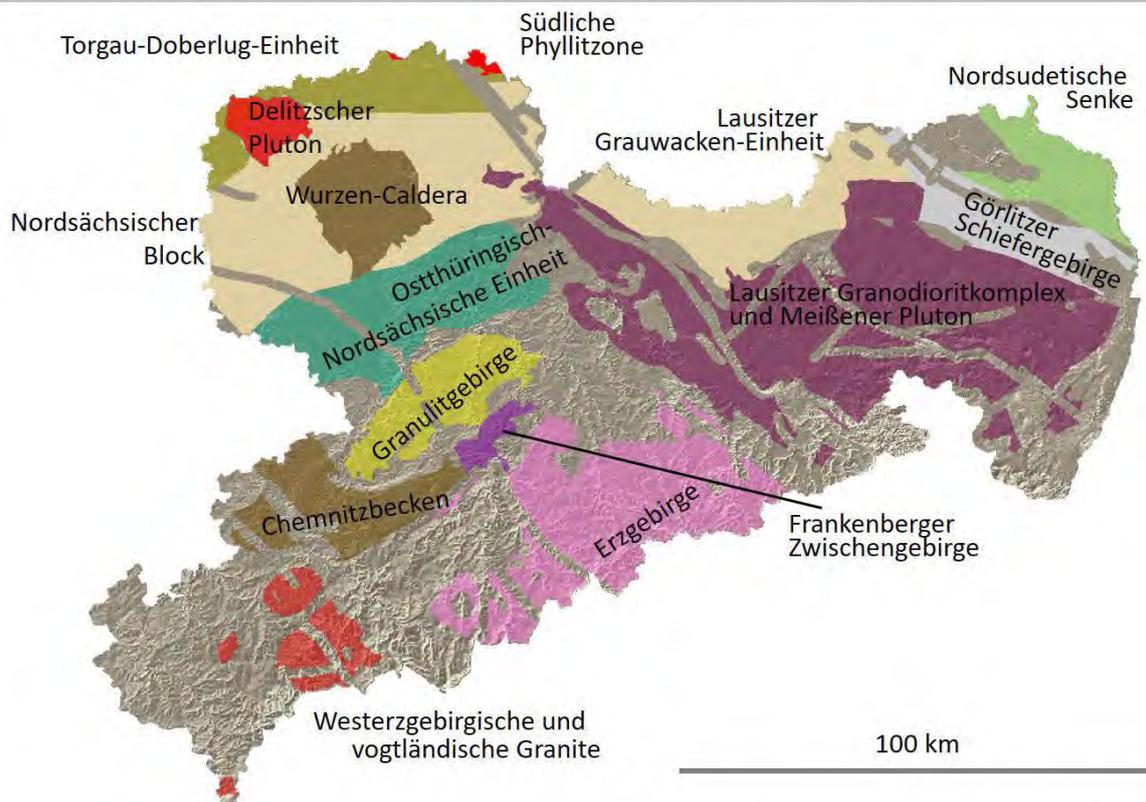


Abbildung 6: Regionalgeologische Einheiten. Die als Teilgebiete ausgewiesenen Regionen Sachsens sind entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu regionalgeologischen Einheiten unterschiedlich farbig dargestellt.

7 Prüfergebnisse zur Anwendung der Mindestanforderungen

7.1 Nordsudetische Senke (Teilgebiet 008_01TG_204_01IG_T_f_kro)

In der Nordsudetischen Senke, auch Nordsudetische Kreidemulde genannt, treten in Sachsen bis in Tiefen von ca. 2 000 m sedimentäre Gesteine des Känozoikums, Mesozoikums und des Perms auf. Diese sind nicht metamorph überprägt. Innerhalb dieser Abfolge steht Oberkreide nördlich des Lausitzer Hauptabbruches an, welche von der BGE (2020a) als mögliche Wirtsgesteinsformation ausgewiesen wurde. Der Begriff Oberkreide ist die chronostratigraphische Bezeichnung für eine Epoche, welche Gesteine mit einem Alter von 66-100 Millionen Jahren bezeichnet, unabhängig von ihrer Lithologie, also den auftretenden Gesteinstypen. Die Oberkreide wird untergliedert in sechs Stufen (Cenomanium, Turonium, Coniacium, Santonium, Campanium, Maastrichtium), welche ebenfalls chronologische Kategorien sind, die das Alter der Sedimente, jedoch nicht ihre Lithologie beschreiben. Deshalb ist das Vorgehen der BGE (2020a) kritisch zu sehen, stratigraphische Einheiten als Teilgebiete auszuweisen, welche normalerweise eine Vielfalt an Gesteinen enthalten.

Dieses methodische Vorgehen der BGE (2020a) resultiert daraus, dass der BGE nicht deutschlandweit Informationen über die Verbreitung der Wirtsgesteine vorlagen. Deshalb hat sie zum Ausweisen der Teilgebiete stratigraphische Einheiten verwendet, von denen bekannt ist, dass sie in bestimmten Regionen die Mindestanforderungen erfüllen. Die Verbreitung in Sachsen wurde anhand der 100-m-Mächtigkeitlinie der Karte „lithologisch-paläogeographische Karte der DDR, Cenoman bis Maastricht“ (Musstow, 1976) entnommen. Um die Tiefenlage der Oberkreide in Sachsen abzuschätzen, wurde auf die Isolinien der Oberkreide-Basis und der Tertiär-Basis des Southern Permian Basin Atlas (Doornenbal und Stevenson, 2010) zurückgegriffen.

Zur Prüfung, ob im ausgewiesenen Teilgebiet die Mindestanforderungen erfüllt sind, hat das LfULG die an die BGE gelieferten Bohrungsdaten herangezogen. Als Wirtsgesteine wurden die tondominierten Vertreter der kontinuierlichen Reihe Kalkstein-Mergel-Tonstein mit einem Tonmineralanteil von mehr als 50 % Tonstein, Tonmergelstein und mergeliger Tonstein klassifiziert.

Die kretazischen Einheiten der Nordsudetischen Senke wurden in einer Muldenstruktur abgelagert, sodass die Fazies der Sedimentgesteine sich vom Rand zum inneren der Struktur ändert. Im Norden Sachsens treten im Cenomanium, Turonium und Conacium am Nordschenkel der Kreidemulde Tonmergelsteine auf, welche die Mindestanforderungen erfüllen und bis zu 200 m Mächtigkeit erreichen (Bohrungen B1/2000 mit einer Endteufe von 1 586 m, B104/1963 mit einer Endteufe von 1 924 m, Abb. 7, 8).

Nach Süden und Osten gehen diese Gesteine in Mergel, kalkhaltige Schluffsteine und kalkhaltige Feinsandsteine über (Bohrung B100/1961 mit einer Endteufe von 1 434 m, B67/1959 mit einer Endteufe von 776 m, B1977/1966 mit einer Endteufe von 500 m, Abb. 7, 8). Nach der Definition von Füchtbauer (1959) entsprechen diese Gesteine nicht mehr der Tongesteinsdefinition der BGE (2020a), da sie weniger als 50 % Tonfraktion enthalten. Im Zentrum der Mulde treten demnach keine Wirtsgesteine im Sinne der Wirtsgesteinsdefinition der BGE (2020a) auf.

Ein sehr gut untersuchtes Bohrprofil der Oberkreide aus dem Südtteil der Nordsudetischen Senke liegt aus der Bohrung B101/1961 mit einer Endteufe von 1 345 m vor (Abb. 8). Musstow (1968) hat an den kretazischen Gesteinen Karbonatgehaltsbestimmungen durchgeführt. In der Bohrung B101/1961 hat er an Ton- und Kalkmergelsteinen des Turonium 30 - 60 % CaCO_3 gemessen. Diese Probe entspricht der Wirtsgesteinsdefinition der BGE. In der Bohrung B72 (nicht digital vorhanden) wurden an Kalkmergelsteinen des Mittelturonium 60 - 80 % CaCO_3 gemessen. Das ist kein Wirtsgestein nach BGE (2020a). An Tonmergelsteinen im Oberturonium wurden 30 - 50 % CaCO_3 gemessen. Diese Probe entspricht der Wirtsgesteinsdefinition der BGE. Die jüngeren Ablagerungen (Coniacium und Santonium) wurden von Musstow (1968) als sandige Schluffsteine und Sandsteine charakterisiert und sind keine Wirtsgesteine. Göthel und Tröger (2003) ergänzen hierzu die kalkigen Sandsteine im oberen Drittel der Bohrung B101/1961. Im Mittel- und Oberturon treten hier Tonmergelsteine (Wirtsgesteine) mit einer Mächtigkeit von > 400 m auf, welche die Mindestanforderungen der BGE (2020a) erfüllen.

Im Teilgebiet treten Gesteinseinheiten, welche die Wirtsgesteinsdefinition der BGE (2020a) erfüllen, nur am Rand der Nordsudetischen Senke auf. Im Inneren des Sedimentationsraumes wurden überwiegend karbonatische sowie gröber klastische Ablagerungen erbohrt. Deshalb ist nur die Ausweisung der Muldenränder als Teilgebiet plausibel (Abb. 7).

Wirtsgesteinsvorkommen in der Nordsudetischen Senke

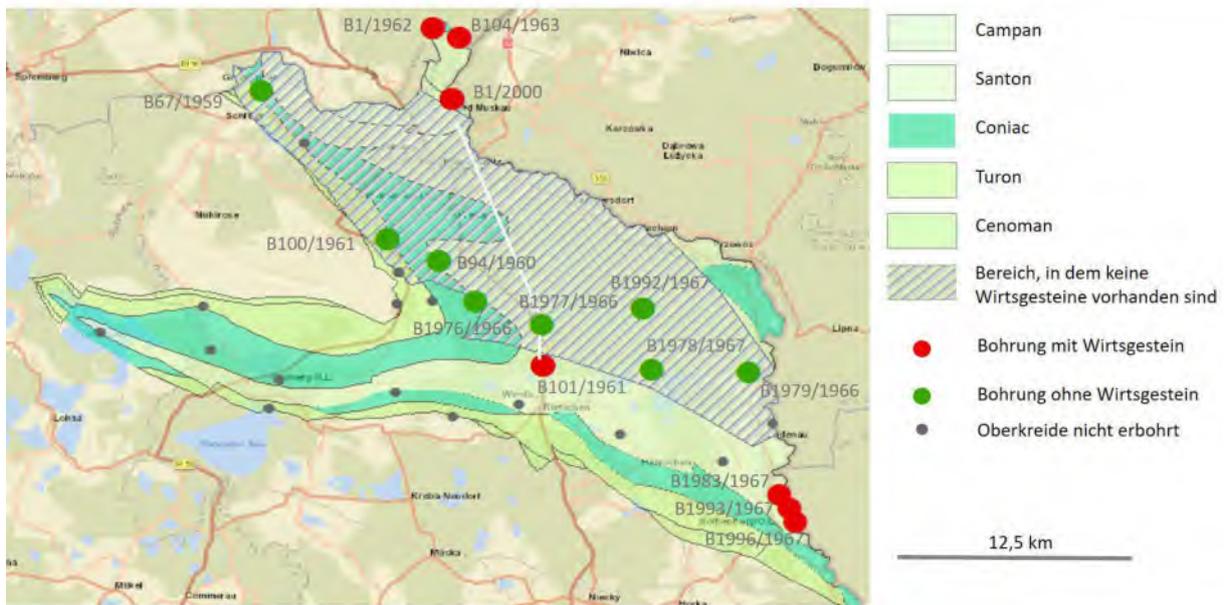


Abbildung 7: Ausschnitt aus der Geologischen Übersichtskarte 1: 400 000 (GK 400, 1995) im Bereich der Nordsudetischen Senke mit Sedimenten der Kreide. Zusätzlich eingetragen wurde das Vorkommen von Wirtsgestein in den Bohrungen. Die weiße Linie markiert den in Abb. 8 dargestellten Profilschnitt, die grau schattierte Fläche zeigt den Bereich des Beckeninneren, in dem keine Wirtsgesteine vorkommen, Hintergrundkarte von ESRI (2018).

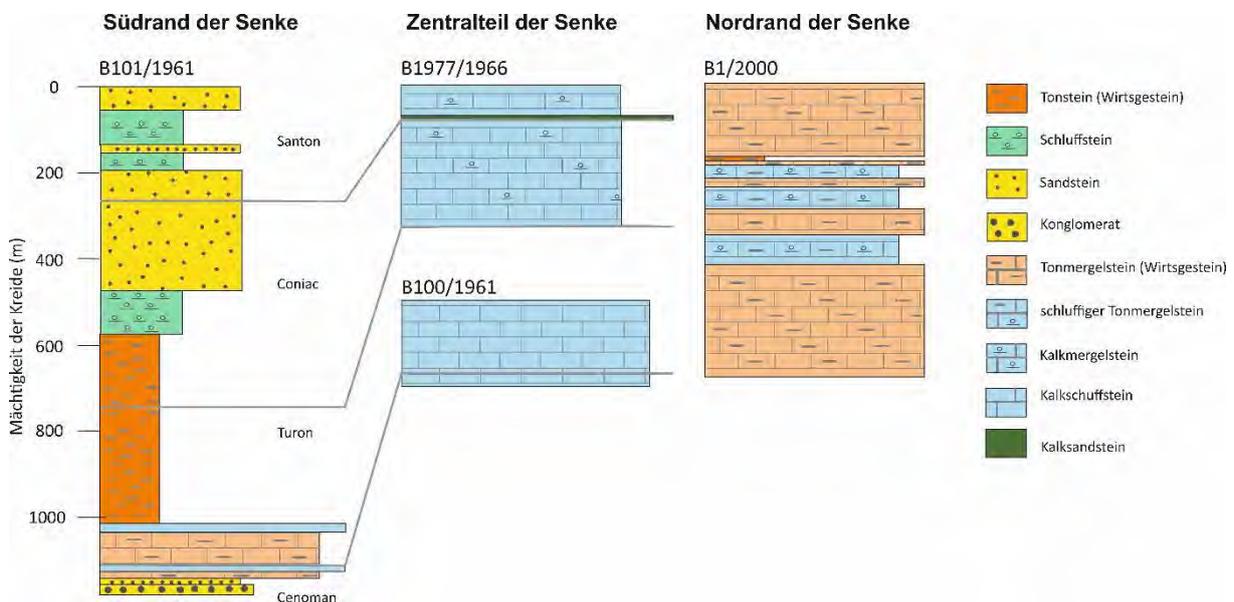


Abbildung 8: Ausschnitt der kretazischen Ablagerungen in Bohrprofilen aus der Nordsudetischen Senke von Süd nach Nord. Wirtsgesteine sind in rot und orange dargestellt. Eine mächtige Tonschicht tritt nur in der Bohrung 101/1961 auf. Im Zentrum der Senke sind die Ablagerungen karbonatisch, im Norden treten Tonmergelsteine auf (Musstov, 1968 für B101/1961; Sächsische Aufschlussdatenbank, 2020 für die anderen Bohrprofile) Die Lage der Bohrpunkte ist in Abb. 7 zu sehen.

7.2 Südliche Phyllitzone (Teilgebiet 011_00TG_200_00IG_K-g_SPZ)

Nach Bankwitz et al. (2001), Bachmann et al. (2008), und Bankwitz (2011) beinhaltet die Südliche Phyllitzone neoproterozoischen Schluffsteine der Rothstein-Formation mit einer erbohrten Mächtigkeit von 400 m und ordozivische Schluffsteine, sandige Schiefer, Quarzite, Vulkanite und Pyroklastite sowie Quarz-Sericit-Phyllite der Drehna-Gruppe mit einer geschätzten Mächtigkeit von ca. 1 000 m. Die Gesteine wurden während der variszischen Orogenese anchimetamorph bis grünschieferfaziell überprägt. Diese Gesteine stellen kein kristallines Wirtsgestein im Sinne der Wirtsgesteinsdefinition der BGE (2020a) dar.

Die südliche Phyllitzone wird nach Süden von der Herzberg-Störung begrenzt, an welche sich die saxothuringische Zone des Variszikums mit nicht metamorphen kambrischen Kalk-, Sand- und Schluffsteinen sowie Konglomeraten und Quarziten anschließt. Die Bohrungen bei Brehna B1478H/1985 mit einer Endteufe von 1 267 m und B1477H/1985 mit einer Endteufe von 1 224 m zeigen bis zur Bohrendteufe sedimentäre Einheiten des Kambriums mit eingeschalteten Vulkanitgängen aus dem Permokarbon und der Oberkreide. Diese werden von mindestens 100 m mächtigen karbonischen, mesozoischen und känozoischen Sedimenten überlagert (Bankwitz et al., 2001). Auch diese Gesteine sind keine Wirtsgesteine im Sinne der Wirtsgesteinsdefinition der BGE (2020a).

Da im Norden Sachsens ausschließlich kambrische Sedimente erbohrt sind, gibt es keine Hinweise, dass die südliche Phyllitzone bis nach Sachsen reicht. Die Grenzziehung der BGE ist weder aus Bohrungsdaten noch aus den Veröffentlichungen von Bankwitz et al. (2001) und Kopp et al. (2001) nachzuvollziehen. Deshalb ordnet das LfULG diese kambrischen Sedimente der Torgau-Doberlug-Einheit zu.

Im Teilgebiet 011_00TG_200_00IG_K_g_SPZ kommen die zwei Plutone von Pretzsch und Prettin vor, welche randlich bis nach Sachsen reichen. Diese Plutone erfüllen die Wirtsgesteinsdefinition der BGE (2020a). Der Ausweisung der Region als Teilgebiet kann im Bereich der Plutonite gefolgt werden. Eine Ausweisung der Sedimentite als Teilgebiet erscheint dagegen unplausibel.

7.3 Lausitzer Granodioritkomplex und Meißener Pluton (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)

Der gesamte südliche Teil der Lausitz wird vom Lausitzer Granodioritkomplex gebildet. Im nordwestlichen Teil der regionalen Einheit ist der Meißener Pluton zu finden, welcher aus verschiedenen Intrusivgesteinen wie Syenit, Monzodiorit und Granit besteht. Keine Bohrung in der Region durchteuft diese Gesteine, sodass davon ausgegangen werden muss, dass sie mindestens bis in die endlagerrelevante Tiefe von 1 500 m reichen.

Alle genannten Gesteine sind plutonische Gesteine und entsprechen der Definition der BGE (2020a) für kristallines Wirtsgestein. Der Ausweisung dieser regionalen Einheit als Teilgebiet kann deshalb gefolgt werden.

7.4 Erzgebirge (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)

Das Erzgebirge besteht überwiegend aus metamorphen Gesteinen verschiedener Metamorphosegrade. Besonders erwähnenswert sind die Gneiskuppeln, welche von Schiefermänteln umgeben werden, sodass sich in der regionalen Verbreitung ein Wechsel hochgradig und mittelgradig metamorpher Gesteine ergibt. Im Norden und Westen des Erzgebirges stehen niedriggradig metamorphe Gesteine wie z. B. Phyllite an. In die metamorphen Gesteine des Erzgebirges sind plutonische Gesteine intrudiert. Lokal stehen diese Plutonite an der Erdoberfläche an. Sie wurden aber auch dort in Bohrungen nachgewiesen, wo an der Erdoberfläche metamorphe Gesteine auftreten. Zum

Teil ist der Hinweis auf Plutonite unter den metamorphen Gesteinen indirekt durch das Auftreten kontaktmetamorpher Gesteine gegeben. Die Bohrungsdaten deuten darauf hin, dass Plutonite unterhalb der Metamorphite großräumig verbreitet sind.

Der Ausweisung dieser regionalen Einheit als Teilgebiet kann deshalb gefolgt werden. Lediglich in einem schmalen NW-streichenden Streifen werden niedriggradig metamorphe Phyllite angetroffen. In diesem Bereich gibt es auch keine Hinweise auf unterirdisch vorhandene Plutone. Damit entspricht dieser Streifen nicht der Wirtsgesteinsdefinition der BGE (2020a).

7.5 Frankenberger Zwischengebirge (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)

Nördlich des Erzgebirges befindet sich das Frankenberger Zwischengebirge, welches zum obersten Allochthon des Saxothuringikums gehört und aus potentiellen Wirtsgesteinen aufgebaut wird. In diesem Bereich liegen vier Bohrungen vor (B2309/1976 mit einer Endteufe von 404 m, B2310/1976 mit einer Endteufe von 691 m, B2305/1976 mit einer Endteufe von 750 m, B2304/1976 mit einer Endteufe von 339 m), welche den Zwischengebirgsgneis angetroffen haben. Die Mächtigkeit des angetroffenen Gneises schwankt von Bohrung zu Bohrung stark zwischen 220 m und 690 m. Auch die Tiefe des Tops der Einheit variiert stark von wenigen Metern unter Geländeoberfläche bis zu 315 m Tiefe. Die Basis der Einheit wurde in keinem Fall erbohrt.

Alle Bohrungen wurden in einem Umkreis von 3 km abgeteuft. Betrachtet man das unmittelbare Umfeld, fällt auf, dass der Zwischengebirgsgneis dort nicht mehr angetroffen wurde.

Stattdessen wird die Prasinit-Einheit (Meta-Diabas-Serie) in vergleichbaren Tiefen ca. 1 km weiter im NW angetroffen (Bohrungen B11/1968 mit einer Endteufe von 556 m, B2301/1975 mit einer Endteufe von 630 m, B2302/1976 mit einer Endteufe von 424 m, B2303/1975 mit einer Endteufe von 726 m, B2308/1975 mit einer Endteufe von 536 m). Aus den Originalschichtenverzeichnissen geht hervor, dass es sich um stark alterierte, zerklüftete Vulkanite handelt. Sie überlagern strukturell die Zwischengebirgsgneise, welche auf dem Schiefermantel des Granulitgebirges liegen. In den Bohrungen B2304/1975 mit einer Endteufe von 531 m und B2300/1975 mit einer Endteufe von 682 m wird unterhalb der Prasinit-Einheit der Schiefermantel erbohrt. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Zwischengebirgsgneise zwischen Schiefermantel und Prasinit-Einheit auskeilen.

Auch in den östlichen Bohrungen B7/1968 mit einer Endteufe von 362 m, B12/1968 mit einer Endteufe von 461 m, B6/1968 mit einer Endteufe von 510 m und B11/1968 mit einer Endteufe von 556 m gibt es keine weiteren Hinweise auf Gesteine, welche dem Frankenberger Zwischengebirge zugeordnet werden können. Stattdessen werden hier klastische Sedimente vorgefunden. Diese Beobachtungen weisen auf eine lokal begrenzte und diskontinuierliche räumliche Verbreitung des Zwischengebirgsgneises hin.

Der Ausweisung dieser regionalen Einheit als Teilgebiet kann gefolgt werden, es ist aber zu erwarten, dass sich die Gesteinseinheit als oberstes Allochthon nicht in große Tiefen erstreckt und dass ihre laterale Ausdehnung begrenzt ist.

7.6 Granulitgebirge (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)

Im Granulitgebirge dominieren hochmetamorphe Gesteine, die Granulite. Diese werden von einem Schiefermantel aus niedriggradig metamorphen Gesteinen umgeben. Bohrungsdaten zeigen, dass unterhalb des Schiefermantels ebenfalls Granulite anzutreffen sind. Seismische Daten deuten darauf hin, dass sich das Granulitgebirge bis in endlagerrelevante Tiefen von 1 500 m erstreckt.

Der Ausweisung dieser regionalen Einheit als Teilgebiet kann deshalb gefolgt werden.

7.7 Westerzgebirgische und vogtländische Granite (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)

Im Bereich des Westerzgebirges und Vogtlands treten überwiegend niedriggradig metamorphe Gesteine auf, in welche Plutonite intrudiert sind. Die Plutonite gehören zum kristallinen Wirtsgestein, die niedriggradigen Metamorphite nicht.

Der Ausweisung der Plutone als Teilgebiete kann gefolgt werden.

7.8 Nordwestsachsen (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)

7.8.1 Gliederung des nordwestsächsischen Grundgebirges

Der endlagerrelevante Bereich des Untergrundes in Nordwestsachsen besteht aus fünf regionalgeologischen Einheiten. Das saxothuringische Grundgebirge wird aufgebaut aus:

- der Torgau-Doberlug-Einheit,
- dem Nordsächsischen Block,
- der Ostthüringisch-Nordsächsischen Einheit.

Im Nordsächsischen Block ist die Wurzen-Caldera als permische Vulkan-Struktur mit einem Durchmesser von 30 km eingeschaltet. Diese wird aufgrund der hohen Mächtigkeit ihrer vulkanosedimentären Füllung als regionalgeologische Einheit ausgewiesen. Der Delitzscher Pluton ist in die Gesteine der Doberlug-Torgau-Einheit und des Nordsächsischen Blockes intrudiert und wird deshalb, als separate regionalgeologische Einheit ausgehalten.

Die Torgau-Doberlug-Einheit wird vom Nordsächsischen Block durch die Torgau-Finsterwalde-Störung getrennt. Die Existenz der Störung und ihre Interpretation als Überschiebung wurde aus Bohrungen abgeleitet, in denen Sedimente verfaltet auftreten (Stanek, 2016).

Der Nordsächsische Block wird im Süden von der Ostthüringisch-Nordsächsischen Einheit durch die Nordsächsische Überschiebungszone getrennt, welche beide Einheiten entlang mehrerer Einzelstörungen versetzt. Ihre Existenz ist aus Bohrungen durch das Auftreten von Kataklastiten (Stanek, 2016) sowie in wenigen Aufschlüssen (z.B. in der Nähe von Otterwisch) belegt. Außerdem wurde sie in den Berichten der Wismut GmbH (Kazakov et al., 1974; Olenin et al., 1979; Vinokurov et al., 1980; GK500, 1977) kartiert. Ordovizische Sedimente sind unmittelbar südlich des Plutons von Otterwisch aufgeschlossen, aber nicht kontaktmetamorph überprägt, was den Verlauf der Störungszone zwischen beiden Einheiten im Gelände belegt. Der Verlauf der Störungszone reicht somit weiter nach Süden, als in der GK 400 (1995) dargestellt, sodass der Pluton von Otterwisch noch der neoproterozoischen Einheit zugewiesen werden kann. Durch eine entsprechend dieser Daten korrigierte Grenzziehung in dieser Stellungnahme vergrößert sich der Bereich, in welchem kristallines Wirtsgestein erwartet werden kann, gegenüber der GK400 (1995).

Die Wurzen-Caldera wird von Abschiebungen (Röllig, 1969) innerhalb des Nordsächsischen Blocks begrenzt.

7.8.2 Torgau-Doberlug-Einheit

In der Torgau-Doberlug-Einheit treten kambrische Sedimente auf, welche aus Ton-, Silt- und Sandstein-Wechselfolgen mit Kalkstein und Dolomit oder aus Kalksteinen mit siliziklastischen Einschaltungen (Elicki, 1999) aufgebaut sind. Die Bohrungen bei Brehna B1478H/1985 mit einer Endteufe von 1267 m und B1477H/1985 mit einer Endteufe von 1224 m zeigen bis zur Bohrendteufe sedimentäre Einheiten des Kambriums mit eingeschalteten Vulkanitgängen aus dem Permokarbon und der Oberkreide. Vorkommen von kristallinem Wirtsgestein sind nicht bekannt.

B1257/1984 mit einer Endteufe von 353 m ein Profil, in dem der Granit des Leipzig-Eilenburger Massivs bei 353 m ansteht. Die neoproterozoisch-frühkambrischen Plutonite erfüllen die Wirtsgesteinsdefinition der BGE (2020a). Außerhalb dieser Plutonite treten Sedimentgesteine auf, welche kein kristallines Wirtsgestein darstellen.

7.8.4 Delitzscher Pluton

Im äußersten NW des Freistaats Sachsen erstreckt sich auf einer Fläche von ca. 104 km² der spätpaläozoische Delitzscher Intrusivkomplex, welcher aus Diorit, Monzodiorit und Granodiorit aufgebaut ist (Röllig et al., 1995; Hammer, 1996; Anthes und Reischmann, 2001; Förster et al., 2008). Diese Intrusion grenzt im SE an die jungproterozoischen Grauwacken und im NW an die kambrischen Sedimentschichten der unter 7.8.2 beschriebenen Region. Die Profile der Bohrungen BW89H/1979 mit einer Endteufe von 448 m und B1119/1982 mit einer Endteufe von 495 m verdeutlichen, dass der Granodiorit von jüngeren permokarbonen vulkanischen (Andesit, Dazit, Rhyolith) und aplitischen Gangsystemen durchzogen wurde. In den benannten Bohrungen treten diese Gangsysteme im Wechsel von wenigen Metern bis zehner Metern im Granodiorit auf. Darüber hinaus durchschlagen diese Gangsysteme die umlagernden neoproterozoischen und jungpaläozoischen Sedimentite (z.B. B1139/1982 mit einer Endteufe von 327 m). Das Vorhandensein von Vulkanitgängen im Delitzscher Intrusivkomplex wird durch die Bohrung B1144/1982 mit einer Endteufe von 488 m (Delitzsch) belegt. Der Ausweisung dieser Einheit als Teilgebiet kann gefolgt werden.

7.8.5 Ostturingisch-Nordsächsische Einheit

Die Ostturingisch-Nordsächsische Einheit wird aus altpaläozoischen Sedimenten aufgebaut, welche das Grundgebirge bilden. Kambroordovizische Abfolgen umfassen Grauwacken und Sandsteine der Collmberg-Formation sowie Quarzite und geringmächtige Tonsteine (Pietzsch, 1962), welche nördlich von Oschatz anstehen (Linnemann et al., 2007; 2018). Zahlreiche Bohrungen in diesem Bereich belegen die thüringische Ausbildung der ordovizischen Phycoden- (Tremadoc) und der Gräfenenthal-Gruppe (Arenig) wie in Linnemann et al. (2007) und Berger (2008) beschrieben. Zwischen Bad Lausick und Oschatz werden die kambroordovizischen Sedimente durch vulkanosedimentäre und sedimentäre Einheiten des permokarbonen Nordwestsächsischen Becken überdeckt (Berger, 2008). Die Bohrung B213/1972 Grimma Ost mit einer Endteufe 152,2 m belegt die Existenz einer gehobenen Scholle kambroordovizischer quarzitischer Sandsteine im permokarbonen Nordwestsächsischen Becken.

Das Silur tritt in der thüringischen Fazies (Untere Graptolithenschiefer-Formation, Ockerkalk-Formation und Obere Graptolithenschiefer-Formation) im Raum Borna-Frohburg und im Raum Oschatz-Riesa-Lommatzsch auf (Freyer et al., 2008). Die Untere und Obere Graptolithenschiefer-Formationen bestehen aus Kieselschiefern mit Einschaltungen von Schwarzschiefer, während die Ockerkalk-Formation aus dünn- bis dickbankigem Kalkstein mit Einschaltungen von Tonstein und Kalkknotenschiefern besteht (Freyer et al., 2008). Aufschlüsse gibt es in Kleinragewitz, Rechau und Altmörbitz zwischen Oschatz und Riesa (GK25 Blatt 5041 Langenleuba, 1879), sowie in Kralapp und Koltzschen zwischen Colditz und Rochlitz (GK25 Blatt 5042 Rochlitz/ Geithain, 1896; GK25 Blatt 4943 Geringswalde, 1901).

Devonische Sedimentgesteine sind im Bereich um Borna beschrieben. Das Devon ist in Nordwestsachsen in Tiefbohrungen im Nordwestsächsischen Becken („Lastauer Vorkommen“ zwischen Colditz und Bad Lausick), sowie im Bereich der Bornaer Senke bei Alt-Mörbitz und Kohren-Sahlis belegt. Hauptsächlich bestehen das Unter- und Mitteldevon aus Tentakulitenkalken und Tentakulitenschiefern, während das Oberdevon aus Schalstein und Tonschiefer aufgebaut ist. Seltener finden sich im Oberdevon Einschaltungen toniger Kalksteine und Grauwacken (Berger et al., 2008). Vorkommen von Konglomerat und Quarz-Keratophyr lassen sich lokal bei Koltzschen und Lastau nachweisen (Leiteritz, 1957).

Das Unterkarbon schließt die altpaläozoische Sedimentabfolge der saxothuringischen Zone im variszisch gefalteten Grundgebirge ab. Ein Unterkarbonprofil ist nordwestlich von Alt-Mörsitz im Wyhratal beschrieben (Graupner, 1929) und belegt eine Wechsellagerung aus Tonschiefer und Grauwacke zu rußschieferartigem schwarzem Tonschiefer und Konglomerat.

In dieser regionalgeologischen Einheit treten keine Gesteine auf, welche die Wirtsgesteinsdefinition der BGE (2020a) erfüllen.

7.8.6 Wurzen-Caldera

Mit einer Größe von ca. 30 x 25 km umfasst die permische Wurzen-Caldera einen mächtigen Intracaldera-Pyroklastit, den Wurzen-Ignimbrit, Pyroxenquarzporphyr, welcher durch subvulkanische Gangsysteme aus Granitporphyr, Andesit und Rhyolith durchdrungen wird (Röllig, 1969; Repstock et al., 2018).

Ein Pyroklastit ist nach der Definition der International Union of Geological Sciences (IUGS) ein vermittelndes Gestein zwischen Vulkanit und Sedimentit, welches bei einer explosiven Förderung entsteht (Schmid, 1981; Le Bas und Streckeisen, 1991). Bei einer solchen vulkanischen Eruption wird festes bis halbfestes Material aus hochfluiden, heißen Magmen in hoch erhitzten Gasen ausgeworfen und anschließend sedimentiert (Maucher, 1960). Ein Ignimbrit ist ein Pyroklastit, dessen Kristall- und Gesteinsfragmente miteinander verschmolzen sind.

Subvulkanische Gesteine und Ganggesteine bilden sich, wenn ein Magma nahe der Erdoberfläche auskristallisiert, ohne an diese auszutreten. Die Grundmasse dieser Gesteine ist meist durch Korngrößen von 1 – 3 mm charakterisiert (Vinx, 2015). Diese werden nach IUGS Nomenklatur mit der Vorsilbe „Mikro“ und dem plutonischen Gesteinsbegriff benannt (Le Maitre et al., 2002). In Le Maitre et al. (2002) wird auch der Begriff „porphyr“ erklärt als: **„A general term applied to any igneous rock that contains phenocrysts in a fine-grained groundmass. It is often applied to rocks that contain two generations of the same mineral.“** Damit gilt diese Bezeichnung auch für subvulkanische Gesteine. Die pyroklastischen Ablagerungen in Nordwestsachsen werden von zahlreichen solcher subvulkanischen Gesteine durchsetzt.

Die extrem mächtigen Ablagerungen großer explosiver Glutwolkeneruptionen in der Wurzen-Caldera können in verschiedenen Fazien auftreten, von vitrophyrisch (glasig) und einsprenglingsarm zu devitrifiziert und einsprenglingsreich (Röllig, 1969). In letzter Faziesausbildung führt die Devitrifizierung (Entglasung) zur Bildung von Mikroporen (Hailing et al., 2009; Zheng et al., 2018), die Wegsamkeiten für Fluide schaffen. Der häufige Wechsel von einer reduzierten grünlichen Alteration (Propylitisierung) zu einer oxidierten rötlichen Fazies (Hämatitisierung) belegt die Wegsamkeit von Fluiden im Gestein. Bohrungen dokumentieren eine Mächtigkeit der pyroklastischen Einheiten bis zu 725 m für den Wurzen-Ignimbrit (B1517/1982 mit einer Endteufe 806 m und B1516/1982 mit einer Endteufe von 792 m, Bohrung Großsteinberg 1/2019, nicht digital vorhanden). Es kann eine Mächtigkeit von mindestens 1 000 m abgeschätzt werden, da der typische Basisbereich solcher Ignimbrit-Ablagerungen im Profiltiefsten dieser Bohrungen nicht erbohrt wurde. Im Liegenden des Wurzen-Ignimbrits sind basische bis intermediäre Laven nachgewiesen (B164/1973, nicht digital vorhanden), deren Mächtigkeit bis zu 300 m beträgt (Rommel, 2017; Weise, 2018). Unterhalb der Vulkanite können Wechselfolgen von siliziklastischen Basissedimenten mit eingeschalteten Pyroklastiten und Sedimentiten von 130 m nachgewiesen werden (B176/73, nicht digital vorhanden). Solche Abfolgen können Mächtigkeiten von 250 m erreichen (Walter, 2006). Ein prognostisches Normalprofil, welches die Informationen aus den verschiedenen Bohrungen synthetisiert, lässt eine Gesamtmächtigkeit der vulkano-sedimentären Gesteine von 1 450 m erwarten (Abb. 10).

Die im Datenbericht Teil 1 von 4 „Mindestanforderungen gemäß §23 StandAG und der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien gemäß §24 StandAG“ (BGE, 2020c) erwähnten „Granite“ und „Syenite“ der Wurzen-Formation sind Granitporphyre und Syenitporphyre subvulkanischer Porphyrstöcke. Diese Granitporphyre und Syenitporphyre bauen ein großräumiges und verzweigtes Dyke-Sill-System auf (Repstock et al., 2018). Dyke-Systeme von wenigen zehner Metern Breite sind sehr gut in den Steinbrüchen Trebsen, Wolfsberg bei Lüptitz, Ölschütz und Westbruch bei Brandis aufgeschlossen (Röllig, 1969; Repstock et al., 2018). Subvulkanische Bildungen, welche Eruptionsspalten zugeordnet werden können, stellen etwas mächtigere sich nach der Tiefe verjüngende geologische Körper dar, welche einem syngenetischen Störungsmuster folgend tiefgründig alteriert sind. Der Aufstieg der subvulkanischen Ganggesteine ging einher mit dem co-genetischen Aufstieg trachydazitischer Magmen (magma mingling), welche „entmischte“ Gänge entstehen ließen (Gläßer, 1983). Sills der Subvulkanite sind z.B. im Haselbruch bei Ammelshain zu betrachten (Repstock et al., 2018). Auch die Bohrung B1516/82 in Leipzig-Althen mit einer Endteufe 792 m belegt, dass der subvulkanische (Grano-) Syenitporphyr ab einer Teufe von 352 m das umliegende pyroklastische Gestein (Wurzen-Ignimbrit) überlagert.

Die Ignimbrite, Vulkanite und Sedimente der Caldera-Füllung stellen kein kristallines Wirtsgestein entsprechend der Wirtsgesteinsdefinition der BGE (2020a) dar. Die in diese Caldera-Füllung eingedrungenen Granitporphyre oder Mikrogranite und Syenitporphyre oder Mikrosyenite sind subvulkanischen Gesteine sowie Ganggesteine. Entsprechend der Wirtsgesteinsdefinition der BGE (2020a) stellen sie Wirtsgestein dar. Aufgrund ihrer zu erwartenden begrenzten räumlichen Ausdehnung im endlagerrelevanten Teufenbereich erfüllen sie jedoch nicht die Mindestanforderungen. Deshalb kann der Ausweisung der regionalgeologischen Einheit der Wurzen-Caldera als Teilgebiet nicht gefolgt werden.

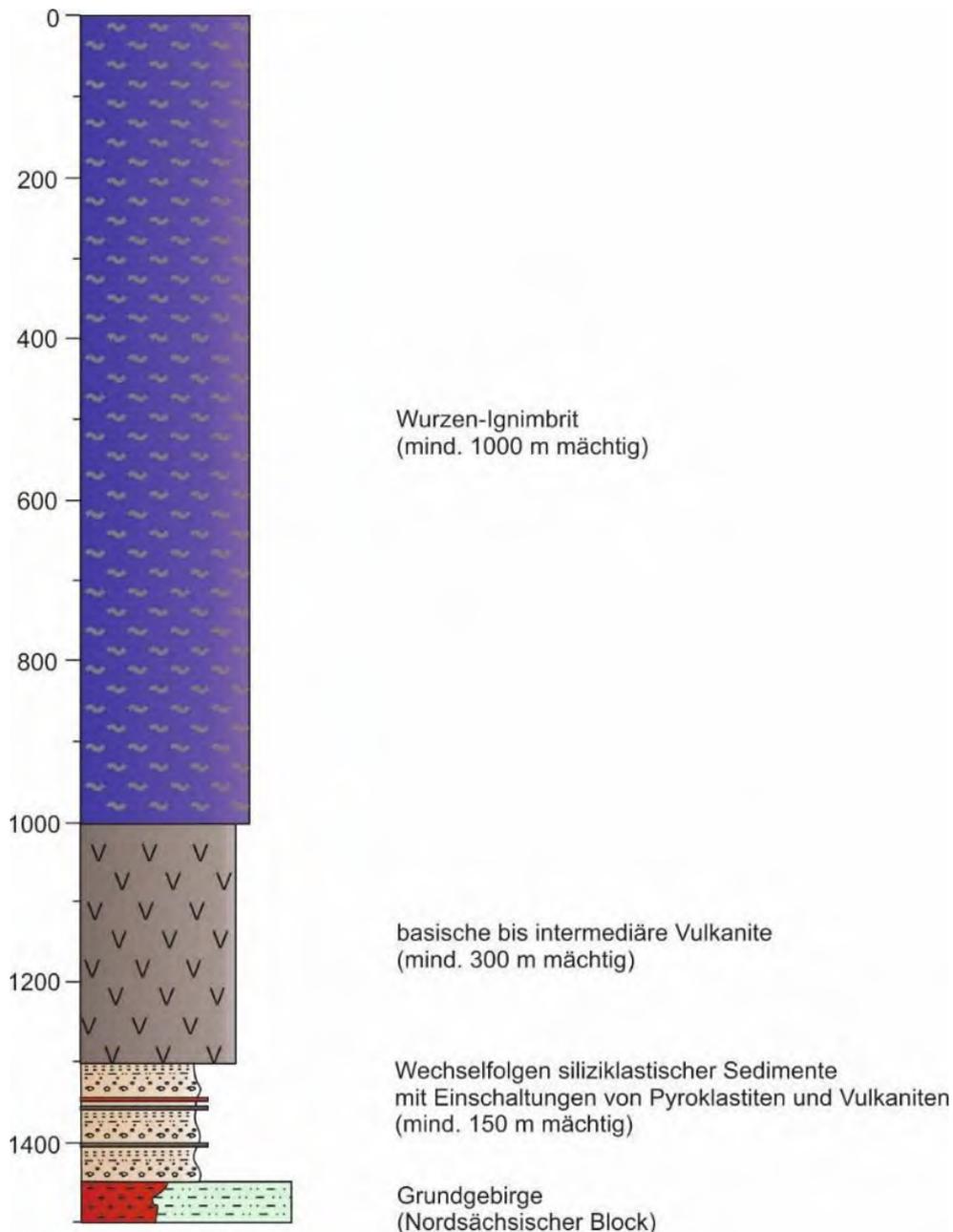


Abbildung 10: Prognostisches Normalprofil der Füllung der Wurzen-Caldera.

7.9 Görlitzer Schiefergebirge (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)

Das Görlitzer Schiefergebirge besteht aus stark deformierten sedimentären Einheiten des Kambriums, Ordoviziums, Silurs, Devons und Unterkarbons mit eingeschalteten Vulkaniten. Diese Gesteine wurden grünschieferfaziell metamorph überprägt. Belegt sind verschuppte Einheiten des Paläozoikums bis in eine Tiefe von über 800 m in der Bohrung B10/1961 mit einer Endteufe von 809 m (Abb. 11). Eine tektonische Interpretation des Görlitzer Schiefergebirges als Akkretionskeil vor dem Lausitzer Block (Göthel, 2001) legt nahe, dass die Einheiten des Görlitzer Schiefergebirges strukturell neben den Gesteinen der Lausitz liegen. Die Bohrungsdaten stimmen mit dieser Interpretation überein. Nördlich der Innerlausitzer Störung, welche die Grenze des Schiefergebirges zum Lausitzer Granodioritkomplex bildet, wurden keine Kristallingesteine erbohrt.

Im Bereich des Görlitzer Schiefergebirges kann weder kristallines Wirtsgestein nachgewiesen noch aufgrund des tektonischen Settings der Einheit erwartet werden. Die Ausweisung der Region als Teilgebiet ist nicht nachvollziehbar.

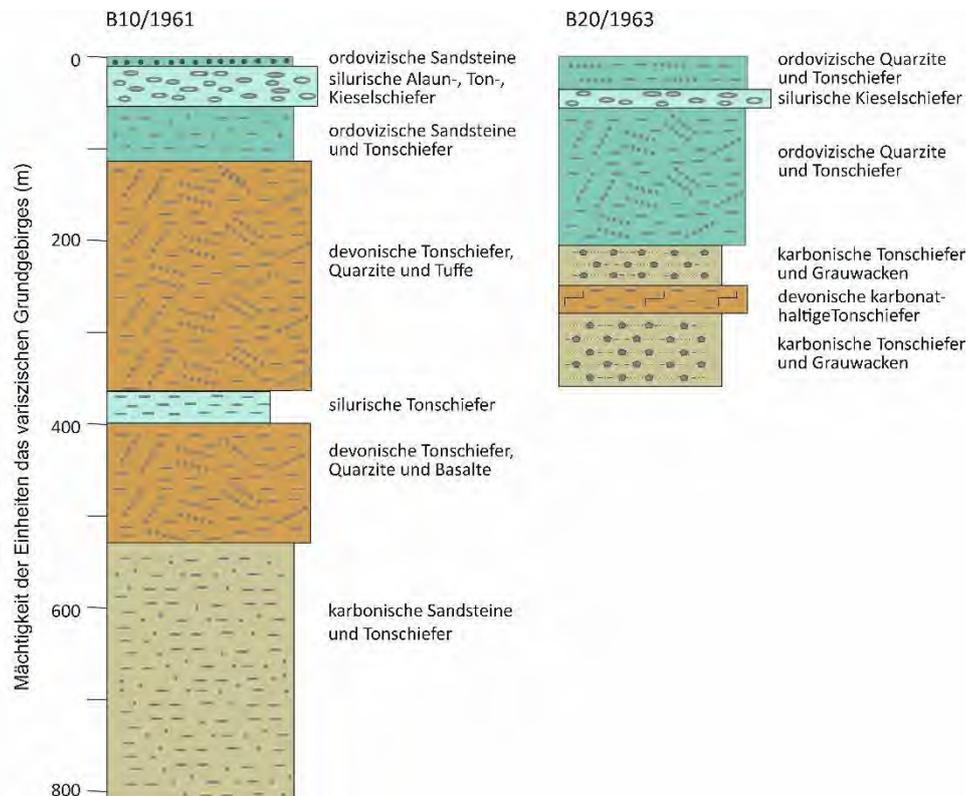


Abbildung 11: Bohrprofile aus dem Görlitzer Schiefergebirge, welche die verschuppte Lagerung paläozoischer Sedimente zeigen.

7.10 Lausitzer Grauwacken-Einheit (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)

In der nördlichen Lausitz, nördlich des Granodioritkomplexes, kommen überwiegend neoproterozoische Grauwacken vor. Die Grenze beider Einheiten bildet ein NE-SW verlaufenden Lineament, welches sich von Ottendorf-Okrilla über Kamenz nach Knappenrode erstreckt (GK100 LJK, 1991).

Die Lausitzer Grauwacken-Einheit nimmt ein Gebiet von ca. 40 x 50 km ein. Sie besteht aus Abfolgen relativ monotoner Flysch-Ablagerungen, die als Turbidite (Trübestrome) entlang eines aktiven Kontinentalrandes bzw. kontinentalen Inselbogens abgelagert wurden (Kemnitz und Budzinski, 1991; Linnemann et al., 2000). Die Ablagerung fand vermutlich innerhalb eines relativ kurzen Zeitintervalls in einem einheitlichen Sedimentationsbecken statt (Linnemann et al., 1997; Kemnitz und Budzinski, 1994). Nach Kemnitz und Budzinski (1994) und Kemnitz (1998) zeigen die Sedimente, welche zur Lausitz-Gruppe zusammengefasst werden, in allen bekannten Aufschlüssen den gleichen lithofaziellen Charakter und repräsentieren typischerweise Wechsellagerungen von fein- bis mittelkörniger Grauwacke (50 - 85 %), Schluff- und Tonsteinen (5 - 15 %), in die gelegentlich geröllführende Lagen (Schuttströme; < 5 - 10 %) sowie lokal Kalksilikatlagen (0 - 1 %) eingeschaltet sind. Der Geröllbestand, welcher Aufschluss über das Liefergebiet der Grauwacken gibt, setzt sich aus u. a. Quarziten, Grauwacken, Tonsteinen, Vulkaniten und Granodioriten zusammen (Lobst, 1996). Die Sedimentabfolge gilt generell als nicht-metamorph bis maximal anchimetamorph, wurde jedoch im Kontaktbereich zum Granodioritkomplex kontaktmetamorph thermisch überprägt. Nach der Wirtsgesteinsdefinition der BGE (2020a) sind diese Gesteine kein kristallines Wirtsgestein.

Die Grauwacken wurden schwach gefaltet und weisen oftmals einen weitspannigen, schwach vergenteten Faltenbau mit Großfaltenschenkeln von bis zu 500 m auf (Kemnitz und Budzinski, 1994). Die Gesamtmächtigkeit der Grauwackensequenz ist in Bohrungen nicht dokumentiert, wird in der Literatur jedoch einheitlich auf 2 - 3 km, lokal > 4 km geschätzt (Berger et al., 2008; Brause et al., 1997). Die Zuordnung der Lausitzer Grauwacke zu einem Teilgebiet im kristallinen Wirtsgestein kann nicht gefolgt werden, da es sich bei Grauwacken um klastische Sedimente handelt.

Es gibt darüber hinaus auch keine Bohrungsdaten, die belegen, dass Plutone in die Lausitzer Grauwacken-Einheit intrudierten. Die Ausweisung dieser Region als Teilgebiet ist deshalb unplausibel.

7.11 Chemnitzbecken (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO)

Im Westen Sachsens befindet sich zwischen dem Erzgebirge und dem Granulitgebirge das Chemnitzbecken. Es beinhaltet klastische Sedimente, Pyroklastite und Vulkanite des Oberkarbons und des Rotliegend. Die Ablagerungen des Rotliegend werden nach Südwesten kontinuierlich mächtiger, bis sie im Raum Zwickau eine Mächtigkeit von ca. 1 000 m erreichen. Das Oberkarbon ist im Raum Zwickau-Oelsnitz unter dem Rotliegend erbohrt und tritt dort steinkohleführend auf. Die Mächtigkeit schwankt von 50 m - 300 m. Nordöstlich des Beckens von Zwickau ist kein Oberkarbon erbohrt, alle Bohrungen enden im Rotliegend. Im nordöstlichen Teil des Chemnitzbeckens treten oberkarbonische Schichten der Hainichen-Formation auf. Sie stellen grobklastische, spät bis post-variszische Schüttungen dar, die 270 m - 900 m mächtig werden können. Diese Gesteine gehören nach der Definition der BGE (2020a) nicht zum kristallinen Wirtsgestein.

In Bohrungen des Steinkohlereviers Lugau/Oelsnitz können die jungpaläozoischen Sedimente bis in ca. 1 000 m Tiefe nachgewiesen werden. An ihrer Basis treten Tonschiefer und Phyllite auf (Abb. 12), welche als Äquivalente der ordovizischen Phycoden- bis Frauenbach-Gruppe eingestuft werden (Mingram, 1995). Diese Gesteine wurden variszisch deformiert und niedriggradig metamorphisiert. Sie repräsentieren das metamorphe Grundgebirge des Chemnitzbeckens, das mit der Erzgebirgsnordrandzone korreliert werden kann. Lithologisch handelt es sich stets um Phyllite oder phyllitähnliche Schiefer die keine potenziellen Wirtsgesteine darstellen. Die maximal erbohrte Mächtigkeit der Phyllite liegt bei 335 m (Bohrungen SI/1872 mit einer Endteufe von 1200 m, SIII/1897 mit einer Endteufe von 1167 m, SI/1871 mit einer Endteufe von 881 m). Auf der Datenbasis der Explorationskampagnen der SDAG Wismut mit Bohrungen von mehr als 1000 Meter Teufe (B1/1950 mit einer Endteufe von 1 252 m und B Sau/1947 mit einer Endteufe von 1 242 m), kann die Mächtigkeit der Phyllite als hoch angenommen werden. Die Basis der Phyllitserie wurde in keiner Bohrung angetroffen. Die Ergebnisse der Erkundungskampagnen zeigen, dass das metamorphe Grundgebirge vorherrschend aus Phylliten aufgebaut wird (Vinicenko et al., 1974). Diese Ergebnisse stimmen gut überein mit 3D-Modellierungen in der Region (Steinborn, 2008) und mit tiefenseismischen Kampagnen (DEKORP, 1999). Seichte Granitvorkommen sind im Chemnitzbecken nicht bekannt (Tischendorf et al., 1965).

Bis in endlagerrelevante Tiefen ist unter dem Chemnitzbecken nicht mit dem Auftreten von kristallinem Wirtsgestein zu rechnen. Seismische Erkundungen, welche in der Region durchgeführt wurden, weisen ebenfalls darauf hin, dass in endlagerrelevanten Tiefen kein kristallines Wirtsgestein zu erwarten ist (DEKORP, 1999). Der Ausweisung dieser regionalen Einheit als Teilgebiet kann deshalb nicht gefolgt werden.

Grundgebirge in Bohrungsdaten des Chemnitzbeckens

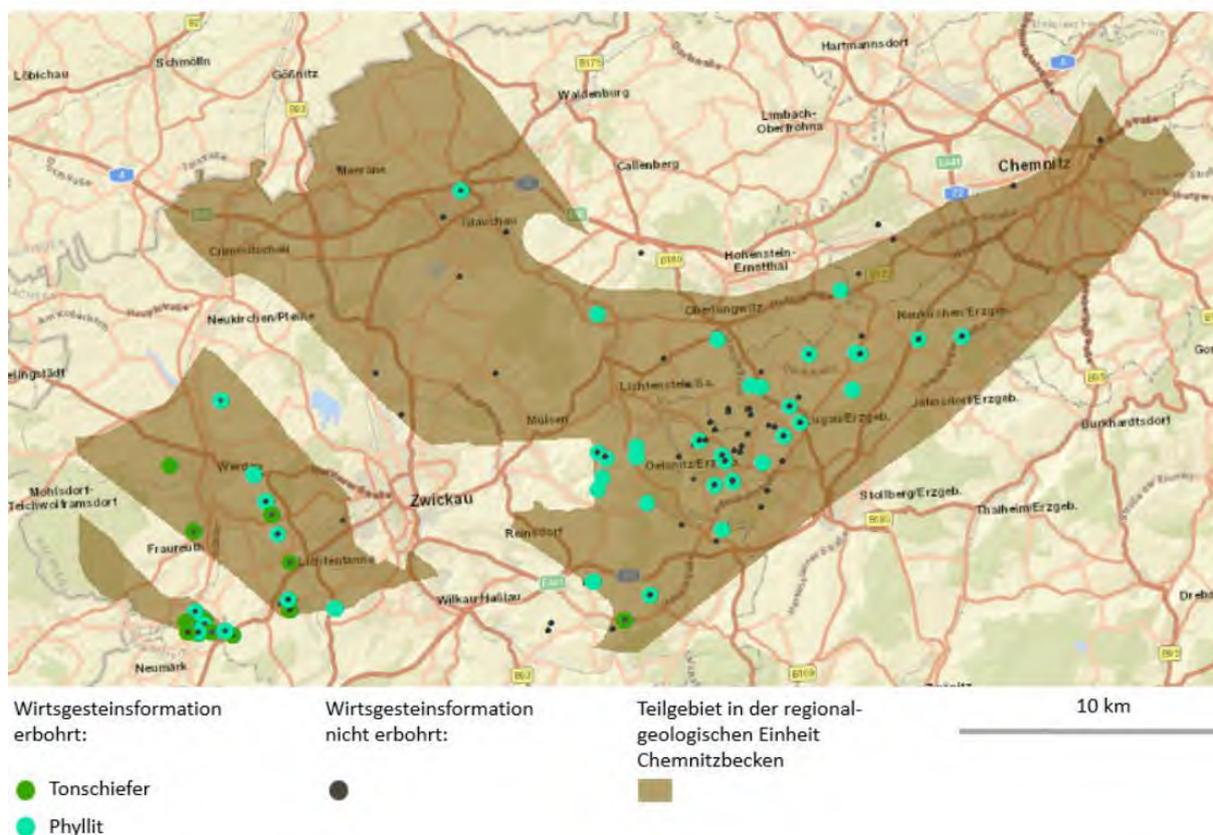


Abbildung 12: Nachweise der Wirtsgesteinsinformation „kristallines Wirtsgestein im Grundgebirge der saxothuringischen Zone“ innerhalb der regionalgeologischen Einheit Chemnitzbecken, Grundkarte: ESRI (2018).

8 Geowissenschaftliche Abwägungskriterien

8.1 Methodisches Vorgehen der BGE

Die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien diente der BGE dazu, die nach Anwendung der Ausschlusskriterien und der Mindestanforderungen identifizierten Gebiete **„hinsichtlich ihrer Eignung als Endlagerstandort vergleichend bewerten zu können“** und zu beurteilen **„in welchen Gebieten eine für die Sicherheit des Endlagers günstige geologische Gesamtsituation vorliegt“**. Gemäß § 24 Abs. 1 StandAG ergibt sich die günstige geologische Gesamtsituation **„nach einer sicherheitsgerichteten Abwägung der Ergebnisse zu allen Abwägungskriterien“** Als Bewertungsmaßstab dienen der BGE die in § 24 Abs. 3 bis 5 StandAG aufgeführten Kriterien, welche in den Anlagen 1 bis 11 zu § 24 StandAG beschrieben sind. Insgesamt wurden elf Kriterien mit deren dazugehörigen bewertungsrelevanten Eigenschaften, den Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren der Kriterien sowie die jeweiligen Wertungsgruppen geprüft. Für die Bewertung der elf Kriterien wurden die Indikatoren entweder direkt auf Basis der von den Bundes- und Landesbehörden zur Verfügung gestellten Daten bewertet oder aus geologischen Daten abgeleitet. Im Zuge der Ermittlung von Teilgebieten konnten alle Gebiete in Deutschland in der 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 StandAG).

Das methodische Vorgehen des komplexen Abwägungsverfahrens nach § 24 StandAG wird von der BGE ausführlich im Bericht „Teilgebiete und Anwendung geowissenschaftliche Abwägungskriterien

gemäß § 24 StandAG (Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete)“ dargestellt (BGE, 2020d). Im Folgenden soll lediglich auf die wesentlichen Aspekte eingegangen werden. Die BGE betont, dass die aufgeführte Methodik ausschließlich im Rahmen der Ermittlung von Teilgebieten genutzt wird.

Tabelle 2: Übersicht über die Abwägungskriterien und deren Bewertung für die drei sächsischen Teilgebiete (BGE, 2020f).

		009_00TG_194_00IG_K_g_SO	011_00TG_200_00IG_K-g_SPZ	008_01TG_204_01IG_T_f_kro
		Kristallines Wirtsgestein	Kristallines Wirtsgestein	Wirtsgestein Tongestein
1	Kriterium zur Bewertung des Transportes radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich	R günstig	R günstig	R günstig
2	Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper	D günstig	D günstig	D günstig
3	Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit	R günstig	R günstig	D günstig
4	Kriterium zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse	R günstig	R günstig	D günstig
5	Kriterium zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften	R günstig	R günstig	R nicht günstig
6	Kriterium zur Bewertung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten	R bedingt günstig	R bedingt günstig	R günstig
7	Kriterium zur Bewertung der Gasbildung	R günstig	R günstig	R günstig
8	Kriterium zur Bewertung der Temperaturverträglichkeit	R günstig	R günstig	R günstig
9	Kriterium zur Bewertung des Rückhaltevermögens im einschlusswirksamen Gebirgsbereich	R nicht günstig	R nicht günstig	R günstig
10	Kriterium zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse	R günstig	R günstig	R günstig
11	Kriterium zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge	D bedingt günstig	D bedingt günstig	D bedingt günstig

R = basierend auf Referenzdatensatz
D = basierend auf Daten

Entsprechend BGE (2020d) läuft der Bewertungsvorgang für jedes identifizierte Gebiet nach dem gleichen Schema mit Hilfe eines eigens für die Anwendung dieser Kriterien entwickelten Bewertungsmoduls ab. Bei diesem Modul handelt es sich um eine Datenbankanwendung mit graphischer Benutzeroberfläche, in welchem die Evaluierung für sämtliche bewertungsrelevanten Eigenschaften und Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren durchgeführt und gespeichert werden. Die

Bewertung von Kriterien sowie die anschließende Gesamtbeurteilung für die Ausweisung als Teilgebiet erfolgte verbalargumentativ innerhalb des Bewertungsmoduls. Für jedes Gebiet wurde eine Geosynthese erstellt, welche die Grundlage für die im Anschluss an die Ermittlung der Teilgebiete erstmals durchzuführenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen bildet (§ 5 EndlSiUntV, 2020).

Für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien sind detaillierte gebietsspezifische Informationen notwendig, die der BGE zum jetzigen Zeitpunkt des Standortauswahlverfahrens jedoch nicht vollständig vorlagen. Die BGE behalf sich hierbei mit Referenzdatensätzen, welche aus Literaturwerten zusammengestellt wurden. Diese werden im Bericht „Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG Grundlagen“ detailliert erläutert (BGE, 2020e). Die BGE geht hierbei von einer **„tendenziell günstigen Annahme, im oberen Bereich der physikalisch möglichen Bandbreite“**, aus. Des Weiteren wird z. B. bei kristallinem Wirtsgestein trotz oftmaliger Klüftigkeit davon ausgegangen, dass es für den Bau eines Endlagers ausreichend große, undurchlässige Bereiche gibt. Bei Tongesteinen gilt die Annahme, dass diese weder gefaltet noch gestört sind. Je nach Gesteinsart wurden zwischen sieben und neun der definierten Abwägungskriterien mit Referenzdaten, also nicht mit tatsächlich vorhandenen Daten, bewertet.

8.2 Bewertung der Abwägungskriterien durch die BGE

Die Ergebnisse der Bewertungen für die drei auf sächsischem Gebiet ausgewiesenen Teilgebiete sind tabellarisch in Anlage 1a BGE (2020f) dargestellt (Tabelle 2). Im Nachfolgenden wird eine kurze Zusammenfassung der wesentlichen Punkte gegeben.

8.2.1 009_00TG_194_00IG_K_g_SO kristallines Wirtsgestein im Grundgebirge der saxothuringischen Zone

Die **„geologische Gesamtsituation“** des gesamten Gebietes wird als **„günstig“** angesehen. Neun der elf Kriterien wurden nach dem Referenzdatensatz Kristallingestein bewertet, davon sieben Kriterien mit **„günstig“** und zwei Kriterien mit **„nicht günstig“**. Eine individuelle Bewertung erfolgte für die Kriterien 2 (Konfiguration) und 11 (Deckgebirge). Das **„Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper“** wurde als **„günstig“** eingeschätzt. Das **„Kriterium zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge“** wurde **„bedingt günstig“** bewertet. Diese Bewertung erfolgte aus der bedingt günstigen Bewertung des Indikators **„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 Fläche des identifizierten Gebietes erscheint jedoch ausreichend groß, um einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich in einem Teilbereich des Gebietes ohne beeinträchtigende strukturelle Komplikationen im Deckgebirge zu realisieren.“**

8.2.2 011_00TG_200_00IG_K-g_SPZ kristallines Wirtsgestein in der südlichen Phyllitzone

Dieses Teilgebiet wurde gleich bewertet wie das Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO kristallines Wirtsgestein im Grundgebirge der saxothuringischen Zone.

8.2.3 008_01TG_204_01IG_T_f_kro Tongestein der Nordsudetischen Senke, Oberkreide

Die **„geologische Gesamtsituation“** dieses Gebietes wurde als **„günstig“** eingeschätzt. Sieben der elf Kriterien wurden nach dem Referenzdatensatz Tongestein bewertet. Sechs Kriterien wurden als **„günstig“** und ein Kriterium als **„nicht günstig“** beurteilt. Eine individuelle Bewertung erfolgte für die Kriterien 2 (Konfiguration), 3 (Charakterisierbarkeit), 4 (langfristige Stabilität) und 11 (Deckgebirge). Das **„Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper“**, das **„Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit“** sowie das **„Kriterium zur Bewertung der langfristigen**

Stabilität der günstigen Verhältnisse“ wurden als „**günstig**“ angesehen. Das „**Kriterium zur Bewertung des Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge**“ wurde als „**bedingt günstig**“ eingeschätzt. Diese Bewertung ergibt sich aus der bedingt günstigen Bewertung des Indikators „**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 Fläche des identifizierten Gebietes erscheint jedoch ausreichend groß, um einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich in einem Teilbereich des Gebietes ohne beeinträchtigende strukturelle Komplikationen im Deckgebirge zu realisieren.**“

9 Prüfergebnisse zur Anwendung der Abwägungskriterien

Das von der BGE praktizierte methodische Vorgehen erscheint prinzipiell geeignet, um die in den Anlagen 1 bis 11 zu § 2 StandAG definierten Kriterien und Indikatoren zur Bewertung der einzelnen Teilgebiete anzuwenden. Ebenso wie die Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen werden auch die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im weiteren Verlauf des Standortauswahlverfahrens wiederholt vom Vorhabenträger angewendet. Voraussetzung für eine sicherheitsrelevante Abwägung sowohl zwischen verschiedenen Indikatoren als auch zwischen unterschiedlichen geologischen Situationen sind reale qualitative und quantitative geologische Daten. Diese liegen der BGE zum jetzigen Zeitpunkt für viele Gebiete jedoch nicht vor, sodass sich die BGE bei nicht hinreichender Datenlage auf Referenzdatensätze stützt. Es fällt auf, dass die wissenschaftliche Qualität dieser Referenzdatensätze sehr inhomogen ist und sich die BGE oftmals auf allgemeingültige Literatur, u. a. geowissenschaftliche Grundlagenwerke (z. B. Okrusch und Matthes, 2009; Bahlburg und Breitzkreuz, 2017) beruft. Die vom LfULG gelieferten Daten wurden mitunter nicht bei der Bewertung einzelner Kriterien berücksichtigt. Es wäre beispielsweise möglich gewesen, für das „**Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper**“ gebietskonkrete Informationen zur Gesteinsfazies aus den gelieferten Karten- und Bohrungsdaten zu erhalten. Die im Rahmen der Datenlieferung für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (09/2019) von der BGE angeforderten Daten zu geomechanischen Kennwerten, hydrochemischen Eigenschaften der Tiefenwässer etc. wurden für das „**Kriterium zur Bewertung der günstigen gebirgsmechanischen Eigenschaften**“ sowie das „**Kriterium zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse**“ ebenfalls nicht miteinbezogen. Hier liegt jedoch die Vermutung nahe, dass die Quantität der gelieferten Kennwerte zum jetzigen Zeitpunkt nicht ausreichend ist, um große Gebiete hinreichend zu charakterisieren. Die Verwendung von Referenzdatensätzen erscheint demnach für diesen ersten Verfahrensschritt praktikabel und unumgänglich zu sein. Jedoch birgt dieser Ansatz auch Risiken von Fehleinschätzungen:

- Referenzwerte werden flächendeckend auf sehr große Gebiete angewendet, die sich teilweise über mehrere Bundesländer erstrecken und sich aus mehreren regionalgeologischen Einheiten verschiedenster Gesteinstypen mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften zusammensetzen. Dadurch werden Abwägungskriterien nicht separat betrachtet, sondern „homogenisiert“, was der Vielfalt der auftretenden Gesteinstypen im saxothuringischen Grundgebirge (unterschiedliche Plutonite und Metamorphite verschiedener p-T-Bereiche) nicht gerecht wird. Ein Vergleich zwischen einzelnen Gebieten ist so nicht mehr möglich, was sich in der identischen Bewertung der Teilgebiete „011_00TG_200_00IG_K-g_SPZ kristallines Wirtsgestein in der südlichen Phyllitzzone“ und „009_00TG_194_00IG_K_g_SO kristallines Wirtsgestein im Grundgebirge der saxothuringischen Zone“ widerspiegelt.
- Die BGE geht bei ihren Referenzdatensätzen von günstigen Bedingungen („Idealgestein“) aus, was zu einer Überschätzung von Gebieten führen kann. Die Anwendung der Abwägungskriterien hat im bisherigen Stadium der Standortsuche nicht dazu geführt, Bereiche innerhalb eines riesigen Gebietes aufzufinden, welche tatsächlich günstig oder ungünstig sind.

- Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die BGE darum bemüht ist, die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien objektiv und vergleichbar anzuwenden sowie die Ergebnisse nachvollziehbar zu dokumentieren und zu veröffentlichen.
- Wo die schlechte Datenlage die Anwendung der Abwägungskriterien verhinderte, wurden auszuschließende Bereiche unter- und nicht überschätzt, um das Risiko eines zu frühen Ausschlusses potenziell geeigneter Standorte zu minimieren. Dadurch kommt es jedoch zur Ausweisung riesiger Teilgebiete, was aufgrund der geltenden Sicherheitsvorschriften nach § 21 StandAG negative wirtschaftliche Folgen für die betroffenen Regionen mit sich bringt. Ziel sollte es deshalb sein, die Teilgebiete in regionalgeologische Einheiten zu untergliedern, um ihrem heterogenen Aufbau gerecht zu werden.

10 Synopsis der Prüfungsergebnisse

Im Zwischenbericht Teilgebiete der BGE (2020a) wurden 62 % der Fläche Sachsens in drei Teilgebieten ausgewiesen.

Im Lausitzer Granodioritkomplex und Meißener Pluton, Delitzscher Pluton, Erzgebirge, Granulitgebirge und Frankenger Zwischengebirge sind großflächig Kristallingesteine verbreitet, die der Wirtsgesteinsdefinition der BGE (2020a) entsprechen. Außerdem sind kleinräumigere Plutone, welche die Definition des kristallinen Wirtsgesteins ebenfalls erfüllen, im Vogtland, im Nordsächsischen Block und in der südlichen Phyllitzone anzutreffen. Weite Teile der südlichen Phyllitzone und des Nordsächsischen Blocks und außerdem die regionalgeologischen Einheiten Görlitzer Schiefergebirge, Lausitzer Grauwacken-Einheit, Doberlug-Torgau-Einheit, Ostthüringisch-Nordsächsische Einheit und Chemnitzbecken erfüllen die Wirtsgesteinsdefinition nicht (Abb. 13).

In der Nordsudetischen Senke erfüllen die Tongesteine und Tonmergelgesteine an den Rändern des Sedimentationsraumes die Wirtsgesteinsdefinition. Im Beckeninneren treten jedoch karbonatische und gröber klastische Gesteine auf, welche die Wirtsgesteinsdefinition der BGE (2020a) nicht erfüllen.

Außerdem wurde das Ausschlusskriterium „aktive Störungszonen“ unvollständig angewendet, sodass noch die Plutone innerhalb der tektonischen Großstruktur Vogtland, die über aktiven Störungen liegen, auszuschließen sind. Weiterhin wurden einige Segmente aktiver Störungen nicht ausgeschlossen. Darüber hinaus erscheint es notwendig, das Ausschlusskriterium „aktiver Vulkanismus“ auf Grundlage des wissenschaftsbasierten Arbeitens nach aktuellem Stand der Forschung zu überarbeiten.

Als Abwägungskriterien wurden einheitliche Literaturwerte für alle Lithologien innerhalb des variszischen Grundgebirges verwendet. Eine Unterscheidung zwischen günstigen und weniger günstigen Regionen war somit anhand der Abwägungskriterien nicht möglich. Analog wurde mit den Abwägungskriterien im Teilgebiet der Nordsudetischen Senke verfahren. Auch hier wurden Gesteine verschiedener Lithologie mit den gleichen Literaturwerten belegt, sodass keine Abwägung möglich war.

Synopsis der Prüfung des Zwischenberichts Teilgebiete

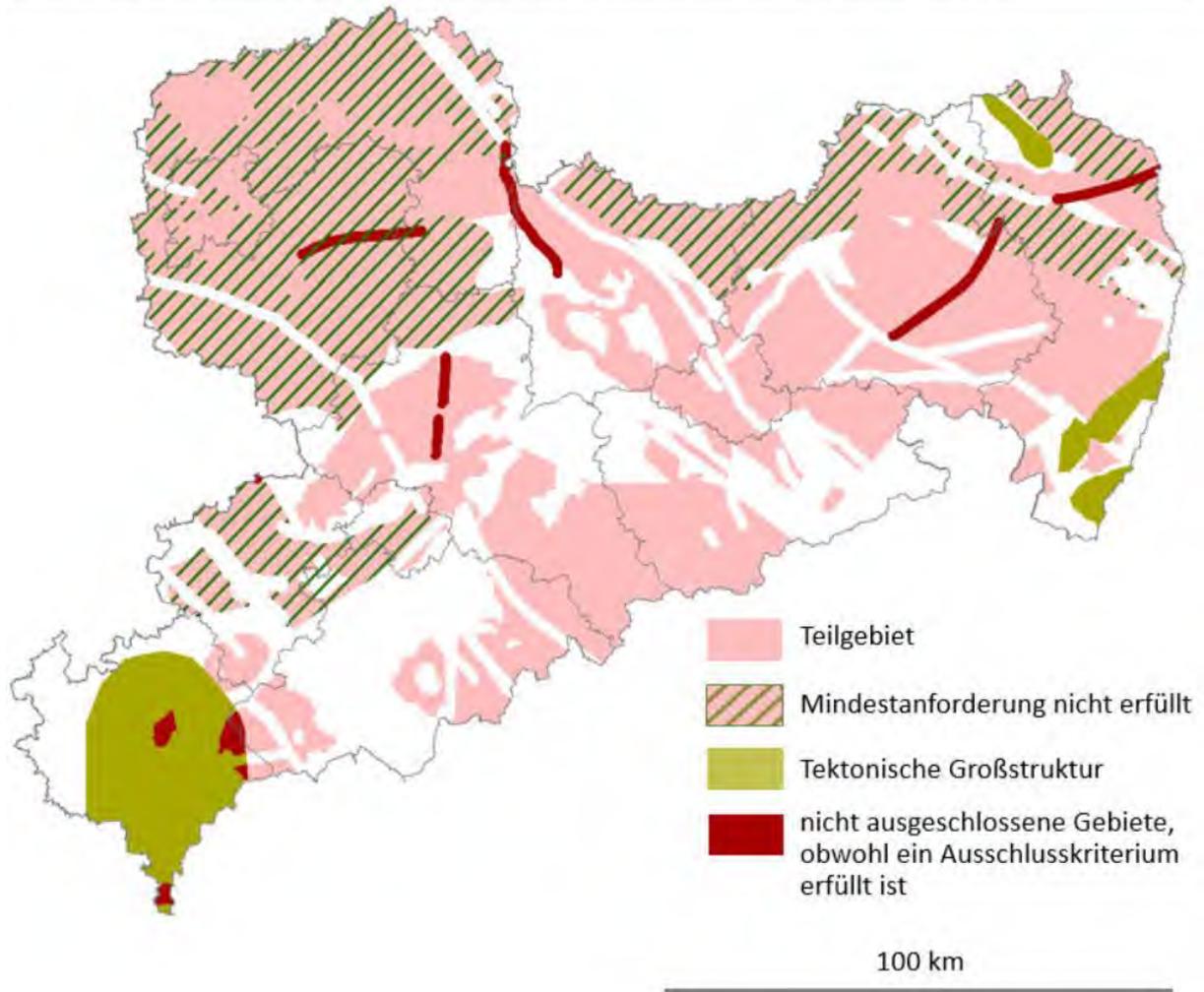


Abbildung 13: Darstellung des Prüfergebnisses. Teilgebiete (BGE, 2020a) in Sachsen (rosa); Gebiete, in denen keine Wirtsgesteine bekannt sind (grün schraffiert) und Gebiete, die trotz eines gültigen Ausschlusskriteriums nicht ausgeschlossen wurden (rot).

Tabelle 3: Flächen der Teilgebiete und unplausiblerweise als Teilgebiete ausgewiesener Regionen.

Teilgebiet	Fläche (km ²)	unplausibel ausgewiesen	auszuschließen (km ²)	Rest (km ²)
011_00TG_200_00IG_ K-g_SPZ Südliche Phyllitzone	121,7			
		Phyllit/Sedimente	99,3	22,4
008_01TG_204_01IG_T_f_kro Nordsudetische Senke	453,2			
		Hohe Karbonatgehalte	238,0	215,2
009_00TG_194_00IG_ K_g_SO Saxothuringisches Grundgebirge	10 951,0			
		tektonische Großstruktur	653,5	
		aktive Tektonik	279,9	
		Görlitzer Schiefergebirge	455,7	
		Chemnitzbecken	553,7	
		Lausitzer Grauwacken- Einheit	817,0	
		Phyllit	12,3	
		Wurzen-Caldera	516,9	
		Westthüringische- Nordsächsische Einheit	1 012,6	
		Torgau-Doberlug-Einheit	409,7	
		Sedimente im Nordsächsischen Block	1 106,9	4 927,6
Summe	11 525,9		6 155,5	5 370,4

Von den im Zwischenbericht in Sachsen als Teilgebiete ausgewiesenen 11 526 km² sind nach detaillierter fachlicher Prüfung ca. 6 155 km² als nicht plausibel einzustufen (Tabelle 3). Die in Sachsen von Teilgebieten betroffene Fläche würde sich durch Korrektur der fehlerhaft ausgewiesenen Bereiche von ca. 62 % auf 29 % der Landesfläche reduzieren.

11 Quellen

Anthes, G., Reischmann, T. (2001): Timing of granitoid magmatism in the eastern mid-German crystalline rise. *Journal of Geodynamics* 31/2, 119-143.

Bachmann, G.H., Ehling, B.-C., Eichner, R., Schwab, M. (2008): *Geologie von Sachsen-Anhalt*, E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 689 S.

Bahlburg, H., Breitzkreuz, C. (2017): *Grundlagen der Geologie*. Springer Berlin Heidelberg, 5. Auflage.

Bankwitz, P. (2011): Drehna Gruppe.

https://litholex.bgr.de/pages/MainApp.aspx?_sys_params=Nr8PDn_4fNCQfZiUX8sxJK3spxt12jQmruYjIjvboR3Og3uFnHk4pUNow8tF-U27mILVWGcb1oBSOMunY3_tu7_GAHwc32zA, angesehen am 12.12.2020.

Bankwitz, P., Bankwitz, E., Kopp, J., Buschmann, B., Stratigraphische Kommission Deutschlands (2001): Südliche Phyllitzzone im Abschnitt Bitterfeld-Doeborn. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 234, 197-204.

Berger, H.-J. (2008): Ordovizium. In: Pälchen, W., Walter, H. (Hrsg.). *Geologie von Sachsen - Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte*. E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 91-101.

Berger, H.-J., Brause, H., Kurze, M., Freyer, G., Kramer, W. (2008): Devon. In: Pälchen, W., Walter, H. (Hrsg.). *Geologie von Sachsen - Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte*. E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 116-143.

BGE (2020a): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH,

https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete/Zwischenbericht_Teilgebiete_barrierefrei.pdf, angesehen am 12.12.2020.

BGE (2020b): Anwendung Ausschlusskriterien gemäß § 22 StandAG (Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete). Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete/Anwendung_Ausschlusskriterien_gemaess_22_StandAG_nicht_barrierefrei.pdf, angesehen am 12.12.2020.

BGE (2020c): Datenbericht Teil 1 von 4 - Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG (Untersetzende Unterlage des Zwischenberichts Teilgebiete). Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete/Datenbericht_Teil_1_von_4_MA_und_geoWK_nicht_barrierefrei.pdf, angesehen am 12.12.2020.

BGE (2020d): Teilgebiete und Anwendung geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG (Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete). Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH,

https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete/Teilgebiete_und_Anwendung_geoWK_nicht_barrierefrei.pdf (bge.de), angesehen am 12.12.2020.

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

[https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Methodensteckbriefe_fuer_Forum/20200506_2_Endfassung_Referenzdatensätze_zur_Anwendung_der_geowissenschaftlichen_Abwägungskriterien_im_Rahmen_von_§_13_StandAG_\(bge.de\)](https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Methodensteckbriefe_fuer_Forum/20200506_2_Endfassung_Referenzdatensätze_zur_Anwendung_der_geowissenschaftlichen_Abwägungskriterien_im_Rahmen_von_§_13_StandAG_(bge.de)), angesehen am 12.12.2020.

BGE (2020f): Anlage 1A (zum Fachbericht Teilgebiete und Anwendung Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG), Ergebnisse der Bewertung: Teil A (Teilgebiete). Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete/Anlage_1A_zum_Fachbericht_Teilgebiete_und_Anwendung_geoWK_nicht_barrierefrei.pdf, angesehen am 18.01.2020.

BGE (2020g): Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG. Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete/Anwendung_Mindestanforderungen_gemaess_23_StandAG_nicht_barrierefrei.pdf, angesehen am 18.01.2020.

Brause H., Elicki E., Kemnitz H. (1997): Lausitzer Masse. In: Hoth, Berger, Mundt (red.): Stratigraphie von Deutschland II Ordo-vizium, Kambrium, Vendium, Riphäikum. Teil I: Thüringen, Sachsen, Ostbayern, Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 200: 299–334.

DEKORP and Orogenic Processes Working Group (1999): Structure of the Saxonian Granulites: Geological and geophysical constraints on the exhumation of high-pressure/high-temperature rocks in the mid-European Variscan belt. *Tectonics* 18/5, 756-773.

Doornenbal, H., Stevenson, A. (Hrsg.) (2010): Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area: A complete overview of the geological development from Precambrian to Holocene, hydrocarbons exploration and exploitation. Houten: EAGE Publications.

Elicki, O. (1999): Beitrag zur Lithofazies und zur Lithostratigraphie im Unterkambrium von Doberlug-Torgau. Freiburger Forschungsheft C 481, 107-119.

EndSiUntV (2020): Verordnung über Anforderungen an die Durchführung der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen im Standortauswahlverfahren für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung - EndSiUntV).

Eskola, P. (1915): On the relations between the chemical and mineralogical composition in the metamorphic rocks of the Orijarvi region. In: Suomen geologinen komissioni, Suomen geologinen toimikunta & Geologinen tutkimuslaitos (Hrsg.): Bulletin de la Commission Géologique de la Finlande, Ausgaben 39-44, 1-277. Bulletin de la Commission Géologique de la Finlande 40, Geologinen tutkimuslaitos.

ESRI (2018): ArcMap 10.5.1 Software, Hintergrundkarte.

Förster, H.-J., Tischendorf, W., Pälchen, W., Benek, R., Seltmann, R., Kramer, W. (2008): Spätvariszischer Magmatismus. In: Pälchen, W., Walter, H. (Hrsg.). Geologie von Sachsen – Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 257-296.

Freyer, G., Berger, H.-J., Leonhardt, D. (2008): Spätvariszischer Magmatismus. In: Pälchen, W., Walter, H. (Hrsg.). Geologie von Sachsen – Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 101-116.

Füchtbauer, H. (1959): Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine. *Erdöl Kohle* 12/8, 605-613.

- GK100 LJK (1991): Geologische Karte 1 : 100 000 Lausitz-Jizera-Karkonosze, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- GK25 Blatt 5041 Langenleuba (1879): Geologische Spezialkarte des Königreichs Sachsen 1 : 25 000 Blatt Langenleuba, Sächsisches Finanzministerium.
- GK25 Blatt 5042 Rochlitz-Geithain (1896): Geologische Spezialkarte des Königreichs Sachsen 1 : 25 000 Blatt Rochlitz-Geithain, Sächsisches Finanzministerium.
- GK25 Blatt 4943 Geringswalde (1901): Geologische Spezialkarte des Königreichs Sachsen 1 : 25 000 Blatt Geringswalde-Ringethal, Sächsisches Finanzministerium.
- GK50 LKT (2016): Lithofazieskarte Tertiär des Freistaates Sachsen 1 : 50 000, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- GK400 (1995): Geologische Übersichtskarte des Freistaates Sachsen 1 : 400 000, Karte ohne känozoische Überdeckung, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Bereich Boden und Geologie.
- GK500 (1977): Geologische Karte 1 : 500 000 der Deutschen Demokratischen Republik, Wismut GmbH (unveröffentlicht, russisch).
- Gläßer, W. (1983): Beitrag zur Petrologie und Vulkanologie der andesitoiden Vulkanite Nordwestsachsens. *Hall. Jahrb. Geowiss. Gotha* 8, 1-30.
- Göthel, M. (2001): Das autochthone und allochthone Paläozoikum des „Görlitzer Schiefergebirges“ (Mitteleuropäische Varisziden, Deutschland). *Z. geol. Wiss.* 29/1-2, 55-73.
- Göthel, M., Tröger, K.-A. (2003): Zur Oberkreide-Entwicklung der Nordsudetischen Kreidemulde, westlicher Teil (Lausitz, Deutschland). *Z. geol. Wiss.* 30: 369 – 383.
- Graupner, A. (1929): Das phyllitische Kerngebiet des ostthüringer Hauptsattels. *Beiträge zur Geologie Thüringens*, 82-144.
- Hailing, Z., Wie, H., Cheng, W., Yongjun, D., Jungshun, Q., Yong, X., Jie, L. (2009): Micropores from devitrification in volcanic rocks and their contribution to reservoirs. *Oil & Gas Geology* 30 /1, 47-52.
- Hammer, J. (1996): Geochemie und Petrogenese der cadomischen und spätvariszischen Granitoide der Lausitz. *Freiberger Forsch.-Heft C* 463, 1-107.
- Hošek, J., Valenta, J., Rapprich, V., Hroch, T., Turjaková, V., Tábořík, P., Pokorný, P. (2019): Nově identifikované pleistocenní maary v západních Čechách. *Zprávy o geologických výzkumech* 52, 63-70.
- Hrubcová, P., Geissler, W. H., Bräuer, K., Vavryčuk, V., Tomek, Č., Kämpf, H. (2017): Active Magmatic Underplating in Western Eger Rift, Central Europe. *Tectonics*, 36/12, 2846-2862.
- Kazakov, I. S., Miňajlov, V. V., Schenke, G., Laškov, B. P., Levčenko, A. S. (1974): Bericht über die geologischen Sucharbeiten auf dem Territorium Grimma-Oschatz, durchgeführt in den Jahren 1968-1974. SDAG Wismut, ZGB, Wismut GmbH, Geologisches Archiv, Inv.-Nr. 54259 (unveröffentlicht, russisch).
- Kemnitz, H., (1998): Some remarks on the Neoproterozoic Lusatian greywackes, Germany, and their mafic intercalations. *Acta Universitatis Carolinae. Geologica* 42/3-4, 443-446.
- Kemnitz, H., Budzinski, G. (1994): Die Grauwacken der Lausitz und ihre cadomische Prägung. *Abh. Staatl. Mus. Mineral. Geol. Dresden* 40, 37-98.

- Kemnitz, H., Budzinski, G. (1991): Beitrag zur Lithostratigraphie und Genese der Lausitzer Grauwacken. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften* 19/4, 449-457.
- Kopp, J., Bankwitz, P., Koehler, R., anonymus (2001): Die Mitteldeutsche Kristallinzone zwischen Saale und Neiße; Teil I; Geologisches Erscheinungsbild und Magmatismus. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften*, 29/1-2, 33-54.
- Korn, M., Funke, S., Wendt, S. (2008): Seismicity and seismotectonics of West Saxony, Germany – New insights from recent seismicity observed with the saxonian seismic network. *Stud. Geophys. Geod.* 52, 479-492.
- Kupetz, M., Schubert, G., Seifert, A., Wolf, L. (1989): Quartärbasis, pleistozäne Rinnen und Beispiele glazitektonischer Lagerungsstörungen im Niederlausitzer Braunkohlengebiet. *Geoprofil*, 1, 2-17.
- Le Bas, M.J., Streckeisen, A.J. (1991): The IUGS systematics of igneous rocks. *Journal of the Geological Society London* 148, 825-833.
- Leiteritz, H. (1957): Oberdevonkonglomerate am Nordwestrand des sächsischen Granulitgebirges. *Abhandlungen der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Klasse für Chemie, Geologie und Biologie* 5, 95 S.
- Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, G., Bellini, A., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., LaMeyre, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Soerensen, H., Woolley, A.R. (2002): *Igneous rocks, a classification and glossary of terms*, Cambridge University Press, 252 S.
- Linnemann, U., Pidal, A.P., Hofmann, M., Drost, K., Quesada, C., Gerdes, A., Marko, L., Gärtner, A., Zieger, J., Ulrich, J., Krause, R., Vickers-Rich, P., Horak, J. (2018): A ~565 Ma old glaciation of the Ediacarian of peri-Gondwana West Africa. *International Journal of Earth Sciences* 107, 885-911.
- Linnemann, U., Gerdes, A., Drost, K., Buschmann, B. (2007): The continuum between Cadomian orogenesis and opening of the Rheic Ocean: Constraints from LA-ICPMS U-Pb-zircon dating and analysis of plate-tectonic setting (Saxo-Thuringian zone, northeastern Bohemian Massif, Germany). In: Linnemann, U., Nance, R.D., Kraft, P., Zulauf, G. (Hrsg.). *The evolution of the Rheic Ocean: From Avalonia-Cadomian active margin to Alleghenian-Variscan Collision*. *Special Papers Geological Society of America* 423, 61-96.
- Linnemann, U., Gehmlich, M., Tichomirowa, M., Buschmann, B., Nasdala, L., Jonas, P., Lützner, H., Bombach, K. (2000): From Cadomian subduction to Early Permian rifting: the evolution of Saxo-Thuringia at the margin of Gondwana in the light of single zircon geochronology and basin development (Central European Variscides, Germany). In: Franke, W., Haak, V., Oncken, O., Tanner, D. (Hrsg.). *Orogenic Processes: Quantification and Modelling in the Variscan Belt*. *Geological Society London Spec. Publ.* 179, 131-153.
- Linnemann, U., Gehmlich, M., Tichomirowa, M. (1997): Peri-Gondwanan terranes of the Saxo-Thuringian Zone (Central European Variscides, Germany). *Terra Nostra* 11, 73-77.
- Lobst, R. (1996): Zum Geröllbestand des Konglomerat-Einschlusses im Granodiorit von Kindisch. *Veröffentlichungen des Museums der Westlausitz* 19, 19-25.
- Maptiler (2020): <https://www.maptiler.com/>, angesehen am 15.01.2020.
- Maucher, A. (1960): Der permische Vulkanismus in Südtirol und das Problem der Ignimbrite. *Geologische Rundschau* 49 /2, 487-497.

- Mingram, B. (1995): Geochemische Signaturen der Metasedimente des erzgebirgischen Krustenstapels. Dissertation, Scientific Technical Report STR 9604 Gießen, 123 S.
- Müller, F., Kroner, U., Buske, S., Hlousek, F. (in prep.): Geologische Anwendungen und Risiken im Tieferen Untergrund von Sachsen (ARTUS) - Teil 1: Nachweis und Analyse ausgewählter tektonischer Bruchstrukturen im Granulitgebirge und ihre potentielle neotektonische Gefährdung. Schriftenreihe des LfULG.
- Musstov, R. (1968): Beitrag zur Stratigraphie und Paläogeographie der Oberkreide und des Albs in Ostbrandenburg und der östlichen Niederlausitz. Geol. Beih. 6, 1-71.
- Musstow, R. (1976): Oberkreide: Cenoman bis Maastricht. 1:500000. Berlin: Zentrales Geologisches Institut. Lithologisch-paläogeographische Karte der DDR.
- Okrusch, M., Matthes, S. (2009): Mineralogie : eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde. Springer Berlin Heidelberg, 8. Auflage.
- Olenin, V. V., Kladov, V. A., Tumarov, H. I., Schenke, G., Laškov, B. P. (1979): Geologischer Bau und Perspektiven der Uranführung der Nordsächsischen Vulkanotektonischen Senke. SDAG Wismut, ZGB, Wismut GmbH, Inv.-Nr. U-4500 (unveröffentlicht, russisch).
- Pietzsch, K. (1962): Geologie von Sachsen. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin, 870 S.
- Rappsilber, I., Domigall, D., Buchholz, P., Flores, H., Funke, S., Korn, M., Lerbs, N., Sonnabend, L., Wendt, S., Hänel, F., Hellwig, O., Burghardt, T., van Laaten, M., Schönwald, D., Wegler, U., Krentz, O., Witthauer, B., Martin, J., Pustal, I., (2020): Erdbebenbeobachtung in Mitteldeutschland Dreijahresbericht 2016 – 2018. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- Repstock A., Breitzkreuz C., Lapp M., Schulz B. (2018): Voluminous and crystal-rich igneous rocks of the Permian Wurzen Volcanic System, northwest Saxony, Germany: Physical volcanology and geochemical characterization. International Journal of Earth Science 107, 1485-1513.
- Röllig, G. (1969): Beiträge zur Petrogenese und Vulkanotektonik der Pyroxenquarzporphyre Nordwestsachsens. unveröff. Dissertation Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 164 S.
- Röllig, G., Bräuer, H., Viehweg, M., Gruner, B., Karbadin, B., Wünsch, K., Haase, G. (1995). Alterstellung und petrogenetische Charakteristik der Plutonite im Gebiet des Zentralteils der Mitteldeutschen Schwelle. Z. angew. Geol. 36, 208-212.
- Rommel, A. 2017: Lithostratigraphie, vulkanosedimentäre Faziesanalyse und Paläogeographie der unterpermischen Oschatz-Formation in Nordsachsen. Masterarbeit, TU Bergakademie Freiberg, unveröffentlicht, 113 S.
- Sächsische Aufschlussdatenbank (2020): Digitale Sammlung von aufschluss- und Bohrungsdaten des Freistaates Sachsen, unveröffentlicht.
- Sächsische Hohlraumkarte (2017): Karte „Gebiete mit unterirdischen Hohlräumen im Maßstab 1 : 25 000, Sächsisches Oberbergamt.
- Sächsische Störungsdatenbank (2020): digitale Sammlung neubewerteter Störungen im Freistaat Sachsen, unveröffentlicht.
- Schmid, R. (1981): Descriptive Nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments - Recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. Geologische Rundschau 70/2, 794-799.

Seismologie in Mitteldeutschland (2020):

<https://antares.thueringen.de/cadenza/pages/selector/index.xhtml?jsessionId=B3F6BEEAB419BACF43EAF3E4FF2A3EBF>, angesehen am 15.01.2021.

StandAG (2017): Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle, Standortauswahlgesetz, StandAG

StandAG Auslegungshilfe (2018): Auslegungshilfe für die unbestimmten Rechtsbegriffe in den Ausnahmetatbeständen des § 21 Absatz 2 Satz 1 Nr. 1 - 5 StandAG

Stanek, K. (2016): Kenntnisstandsanalyse zum tektonischen Bau von Sachsen. Bericht zum Projekt, ARTUS-Tektonik, 7S., 4 Anlagen (unveröffentlicht).

Stanek, K., Dominguez-Gonzalez, L., Adreani, L., Bräutigam, B. (2016): Tektonische und geomorphologische 3D-Modellierung der tertiären Einheiten der sächsischen Lausitz. Schriftenreihe des LfULG, 19/2016.

Steinborn, H. (2008): 3D-Modellierung der strukturellen Entwicklung der Vorerzgebirgssenke im Raum der Altbergbaugebiete Zwickau und Lugau, Oelsnitz. Univ. Freiberg (Sachsen), 138 S.

Tischendorf, G., Wasternack, J., Bolduan, H., Bein, E. (1965): Zur Lage der Granitoberfläche im Erzgebirge und Vogtland mit Bemerkungen über ihre Bedeutung für die Verteilung der endogenen Lagerstätten. Zeitschrift für Angewandte Geologie 11/8, 410–423.

Vinichenko, P. V., Schuppan, W., Serov, B.S. (1974): Bericht über die Ergebnisse der Sucharbeiten im Erzgebirgsbecken 1973-1974. SDAG Wismut, ZGB, Wismut GmbH, Geologisches Archiv, Inv.-Nr. 54296 (unveröffentlicht)

Vinokurov, S. F., Reichardt, C., Wildner, G., Sevkunov, I. I., Tulenev, V. M. (1980): Ergebnisse der geologischen Sucharbeiten im Gebiet Pegau-Meuselwitz 1979. SDAG Wismut, ZGB, Wismut GmbH, Geologisches Archiv, Inv.-Nr. 54430 (unveröffentlicht, russisch).

Vinx, R. (2015): Gesteinsbestimmung im Gelände, Springer Berlin Heidelberg, 4. Auflage.

Wagner, G.A., Gögen, K., Jonckheere, R., Kämpf, H., Wagner, I., Woda, C. (2002): Dating of the Quaternary volcanoes (Koorní Hurka (Kammerbühl) und Zelezná Hurka (Eisenbühl), Czech Republic, by TL, ESR, alpha-recoil and fission track chronometry. Zeitschrift für geologische Wissenschaften 30/3, 191-200.

Walter, H. (2006). Das Rotliegend der Nordwestsächsischen Senke. Veröff. Museum Naturkunde Chemnitz 29, 157-176.

Weise, C. 2018: Untersuchungen des Rotliegend-Vulkanismus im Raum Altenburg. Masterarbeit, TU Bergakademie Freiberg, unveröffentlicht, 95 S.

Zheng, H., Sun, X., Wang, J., Zhu, D., Zhang, X. (2018): Devitrification pores and their contribution to volcanic reservoirs: A case study in the Hailar basin, NE China. Marine and Petroleum Geology 98, 718-732.

Anlage 1: Übersicht repräsentativer Bohrungen ausgewählter regionalgeologischer Einheiten

mit * gekennzeichnete Bohrungen kommen nur in Abbildungen vor

Regionale Einheit	Teil	Name	Endteufe (m)	Identnr. (Sächs. Aufschlussdatenbank)	AufID (BGE)
Nordsudetische Senke	Norden	B1/1962*	500	5479275,205717575,00B....1....962	790
		B1/2000	1586	5480338,305713425,95B....1....000	568
		B104/1963	1924	5480731,505717039,20B..104....963	567
	Mitte	B67/1959	776	5470010,355713929,36B..67....959	555
		B100/1961	1434	5476807,005705283,00B..100....961	666
		B94/1960*	421	5479601,405704015,30B...94....960	676
		B96/1961*	1363	5479256,605701684,80B...96....961	675
		B1976/1966*	510	5480338,305713425,95B.1976....966	568
		B1979/1966*	440	5496386,005697428,90B.1979....966	683
		B/1978/1967*	433	5491107,805697652,5B.1978....967	682
		B1977/1966	500	5485206,305700260,90B.1977....966	678
		Süden	B101/1961	1345	5485284,005697901,00B..101....961
	B1993/1967		439	5498591,305689519,70B.1993....967	734
	B1996/1967		527	5498891,405688720,00B.1996....967	736
	B1983/1967		425	5498060,905690327,10B.1983....1967	733
B1992/1967	325		5490667,805701161,40B.1992....967	680	
südliche Phyllitzzone		B1477H/1985	1224	4519970,705711600,70B.1477H...985	338
		B1478H/1985	1267	4519180,405709489,60B.1478H...985	341
Frankenberger Zwischengebirge	Gneis	B2309/1976	404	363830,375644758,69B.2309....976	1062
		B2310/1976	691	364027,725644941,67B.2310....976	1063
		B2305/1976	750	363404,745644835,44B.2305....976	1058
		B2304/1976	339	363253,495644698,71B.2304....976	1056
	Prasinit mit Gneis	B11/1968	556	364415,795645613,88B....11....968	1067
		B2301/1975	630	363021,175645200,76B.2301....975	1053
		B2302/1976	424	363162,895645346,62B.2302....976	1055
	Prasinit ohne Gneis	B2303/1975	726	363300,315645492,78B.2303....975	1059
		B2308/1975	536	362855,135645595,45B.2308....975	1051
		B2304/1975	531	362918,885646355,40B.2304....975	1052
	paläozoische Sedimente	B2300/1975	682	362543,855646092,20B.2300....975	1050
		B7/1968	362	364480,375644708,31B....7....698	1068
		B12/1969	461	364314,005645093,59B...12....969	1067
		B6/1968	510	364349,375645447,18B....6....968	1065
			B11/1968	556	364415,795645613,88B...11....968
NW-Sachsen	Torgau-Doberlug Einheit	B1478H/1985	1267	4519180,405709489,60B.1478H...985	341
		B1477H/1985	1224	4519970,705711600,70B.1477H...985	339
	Nordsächsischer Block	B1519A/1983	606	4546765,305700650,30B1519A....983	642
		BW86/1979	562	4529222,405704698,00BW..86....979	633
		B1139/1982	327	4532756,205705948,90B.1139....982	619
	Granit	B1257/1984	353	4543289,905709475,30B.1257....984	523
	Delitzsch Granit	BW89H/1979	448	4533049,005709805,20BW..89H...979	433

Regionale Einheit	Teil	Name	Endteufe (m)	Identnr. (Sächs. Aufschlussdatenbank)	AufID (BGE)
		B1119/1982	495	4527854,305712495,40B.1119....982	460
		B1144/1982	488	4532953,805709446,20B.1144....982	476
	Ostthüringisch-Nordsächsische E.	B213/1972	152,2	4556936,005679807,00B..213.....972	-
	Wurzen-Caldera	B1517/1982	806	4536400,005690241,50B.1517....982	687
		B1516/1982	792	4538794,805693123,90B.1516....982	686
Görlitzer Schiefergebirge		B10/1961	809	5457159,505688267,50B....10....961	693
		B20/1963*	467	5455940,005699379,50B....20....963	651
Chemnitzbecken		SI/1872	1200	336217,555622907,89S....I....872	2000
		SIII/1897	1167	335894,135622779,91S..III....871	1994
		SI/1871	881	337512,345621030,06S....I....871	2003
		B1/1950	1252	4545217,665622260,56B....1950	1937
		B Sau/1947	1242	4543896,005621778,00B..Sau....947	

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche
Räume | Hamburger Chaussee 25 | 24220 Flintbek

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
(BGE)
- Standortauswahl -
Eschenstraße 55
31224 Peine

vorab per email

Geologischer Dienst

Ihr Zeichen:
Ihre Nachricht vom:
Mein Zeichen: LLUR 6
Meine Nachricht vom: /


@llur.landsh.de
Telefon: 04347/704
Telefax: 04347/704

29.01.2021

Zwischenbericht Teilgebiete der BGE Stellungnahme des Geologischen Dienstes Schleswig-Holstein

Sehr geehrte Damen und Herren,

am 28.09.2020 wurde der Zwischenbericht „Teilgebiete“ veröffentlicht. Der Bericht und die untersetzenden Unterlagen wurden vom Geologischen Dienst (GD) des Landes Schleswig-Holstein einer ersten Plausibilitätsprüfung unterzogen. Hierbei wurde gleichzeitig ein Abgleich mit den gelieferten geologischen Daten und der einschlägigen Fachliteratur vorgenommen. Die Ergebnisse der Prüfung fasse ich in der vorliegenden Stellungnahme zusammen. Vorangestellt nehme ich zu den methodischen Ansätzen Stellung. Im Weiteren folgen Ausführungen zu den einzelnen Kriteriengruppen (Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und Abwägungskriterien), wobei letztere nach Wirtsgesteinen (Salz und Tonstein) differenziert betrachtet werden.

Ich behalte mir vor, zusätzliche Erkenntnisse, die sich im Zuge der anstehenden Fachdiskussionen ergeben, in weiteren Stellungnahmen zu adressieren.

Methodisches Vorgehen:

Zur Ausweisung von Gebieten, in denen potenzielles Wirtsgestein in einer Mächtigkeit von mindestens 100 m in einer Tiefe zwischen 300 m und 1500 m seitens der BGE angenommen wird („identifizierte Gebiete“), wurden die Verbreitungsgrenzen ausgewählter erdgeschichtlicher Formationen aus den 3D-Strukturmodellen des GD übernommen. Inwieweit diese Formationen, die Mindestkriterien tatsächlich erfüllen, lässt sich aus dem Modell nicht ableiten. Den Formationen wird daher seitens der BGE die Erfüllung der Mindestkriterien auf der Grundlage von Literaturdaten und einzelnen Referenzbohrungen pauschal zugeschrieben.

Dieses Vorgehen ist aus Sicht des GD für einen ersten Schritt zur Identifizierung von Gebieten mit Wirtsgesteinspotenzial methodisch nicht zu beanstanden. Es führt jedoch zu

Telefon: 04347 704-0 / Telefax: 04347 704-502 / Internet: www.llur.schleswig-holstein.de
E-Mail: poststelle-flintbek@llur.landsh.de / Erreichbarkeit: Buslinie: 501, 502, Haltestelle „Konrad-Zuse-Ring“
Kein Zugang für elektronisch signierte oder verschlüsselte Dokumente

einer starken Vereinfachung und letztlich zu einer sehr großen Kulisse „identifizierter Gebiete“, die im folgenden Arbeitsschritt mit Hilfe der sehr viel komplexeren Kriteriengruppe der Abwägungskriterien zu bewerten ist.

Bei der Anwendung der Abwägungskriterien wurden seitens der BGE ebenfalls vereinfachende Ansätze angewendet. So wurde bei der Mehrzahl der Kriterien auf Referenzdatensätze zurückgegriffen. Nur für wenige Kriterien wurden gebietsspezifische Daten verwendet. Die Verwendung von Referenzdatensätzen führt dazu, dass die identifizierten Gebiete hinsichtlich der überwiegenden Zahl der Kriterien gleich bewertet werden. Die in diesem Arbeitsschritt angestrebte Abwägung zwischen den einzelnen Gebieten und letztlich auch die Entscheidung, ob die Gebiete im Verfahren verbleiben, beruht daher nur auf den wenigen Kriterien.

Seitens des GD kann nicht prognostiziert werden, ob der Abwägungsprozess bei einer Berücksichtigung gebietsspezifischer Daten für eine größere Anzahl oder für alle Kriterien zu gleichen Ergebnissen geführt hätte. Die hierzu von der BGE vorlegten Methodenpapiere gehen auf diese Problematik nicht ein. Aus Sicht des GD sind hier konkretere Ausführungen erforderlich, die die Robustheit der Methodik belegen.

Die Einzelergebnisse der Abwägungskriterien für ein Teilgebiet werden nicht nach einer festen Bewertungsmatrix zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst, sondern verbalargumentativ gewichtet. Dieses Vorgehen wird nicht grundsätzlich in Frage gestellt, zumal das Gesetz keine Vorgaben enthält und auch die ehemalige Endlagerkommission hierzu keine Vorschläge vorgelegt hatte. Jedoch sind die Maßstäbe, die dieser zusammenfassenden Bewertung zugrunde liegen, nicht ausreichend transparent, so dass eine Vergleichbarkeit zwischen den Teilgebieten erschwert wird. Der GD hält es für erforderlich, dass bestimmte Gewichtungsründe wie zum Beispiel die Angabe „geringe Tiefe eines Salzstocktops“ quantifiziert werden und die verwendeten Wertespanssen für „gering“ in Meter unter Gelände ausgedrückt werden.

Anwendung der Ausschlusskriterien:

- Aktive Störungen:

Gemäß § 22 StandAG ist ein Gebiet nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn „aktive“ Störungzonen vorhanden sind, die das Endlagersystem und seine Barrieren beeinträchtigen können. Aktive Störungzonen sind definiert als Verwerfungen, an denen im Zeitraum Unteres Oligozän (Rupel) bis heute - das heißt innerhalb der letzten 34 Millionen Jahre - Bewegungen stattfanden.

Der im „Datenbericht Teil 4 MA und geoWK“ dargestellten Gesamtdatensatz der Störungslinien lässt erkennen, dass für Schleswig-Holstein hauptsächlich die Ausarbeitungen des Geotektonischen Atlas von NW-Deutschland (GTA) herangezogen wurden (Baldschuhn et al. 2001, bzw. das GTA-3D Modell: Rosenbaum et al. 2012). Es ist anzumerken, dass einige im GTA enthaltene Störungslinien fehlen (z.B. im Dachbereich der Strukturen Sterup und Büsum). Andererseits sind Störungslinien dargestellt, die den im Bericht angegebenen Quellen nicht zugeordnet werden können. Manche Literaturquellen scheinen nicht verwendet worden zu sein (z.B. Brückner-Röhling et al. 2002). Zur Erleichterung der Prüfung wäre eine Kennzeichnung der Störungslinien nach der Literaturquelle wünschenswert.

Bei der Klassifizierung der Störungen als „aktiv“ wurden die Störungslinien selektiert, die die Schichten des Unteren Oligozän (Rupel) bis Miozän versetzen. Diese Herangehensweise der BGE lässt sich nur in Gebieten durchführen, in denen Schichten dieser erdgeschichtlichen Zeitspanne vorhanden sind. Die Beschränkung der Klassifizierung zunächst auf diese Gebiete ist in einem ersten Schritt nicht zu beanstanden. Es ist jedoch festzuhalten, dass auch außerhalb des Verbreitungsgebietes oligozäner bis miozäner Schichten Störungen klassifiziert werden müssen, um ein vollständiges Bild „aktiver“ Störungen zu erhalten.

Es wird nicht deutlich, ob und wenn ja wo die im Bericht „Anwendung Ausschlusskriterien gemäß §22 StandAG“ beschriebene Überbrückung von kurzen Unterbrechungen der Störungslinien vorgenommen wurde. Nach Einschätzung des GD wurde dies nicht nach einheitlichen Kriterien durchgeführt und kann daher nicht nachvollzogen werden. Die im Bericht beschriebene Verbindung von Störungslinien wäre in einigen konkreten Fällen aus Sicht des GD fachlich vertretbar und sinnvoll (z.B. Gudow, Heide-Hemmingstedt, Siek-Sülfeld).

Anwendung der Mindestanforderungen:

Die Anwendung der Mindestanforderung führt im Ergebnis zu der Kulisse der sogenannten „identifizierten Gebiete“. In SH ergeben sich aus diesem Schritt große Bereiche mit den Wirtsgesteinsformationen Tongestein und Salz im endlagerrelevanten Tiefenbereich, der von der BGE zwischen 300 m und 1500 m festgelegt wurde.

Dabei wurde die Mindesttiefe von 300 m seitens der BGE pauschal angesetzt. Eine Vergrößerung der Mindesttiefe in Gebieten, in denen im Nachweiszeitraum von 1 Millionen Jahre mit eiszeitlich bedingter intensiver Erosion zu rechnen ist, erfolgte nicht. Aus Sicht des GD hätte die Anforderung an die minimale Tiefenlage für SH auf der Grundlage von Prognosen zukünftiger Eiszeiten differenzierter betrachtet werden müssen.

- Tonstein/Tongestein:

In Schleswig-Holstein wurden seitens der BGE Tongesteine des Unterjura, der Unterkreide sowie die Tonfolgen des Alttertiärs (genauer: Oberes Paläozän und Unteres Eozän) als potenzielle Wirtsgesteine identifiziert. Die Verbreitungsgebiete dieser ausgewählten Formationen sind in ihrer Abgrenzung plausibel und nachvollziehbar.

Lithologisch handelt es sich bei der Unterkreide im Bereich Schwarzenbek und Gudow (Gebiete 202_02IG_T_f_kru) jedoch überwiegend um Mergel- bis Mergelsteine, Tonmergelsteine und stellenweise mergelige Sandsteine. Tonsteinlagen können vereinzelt auftreten, besitzen jedoch nur eine geringe Mächtigkeit von wenigen Metern. Insofern ist hier nicht von der Erfüllung der Mindestkriterien auszugehen.

Die Bewertung der Tonfolgen des Alttertiärs als potenzielles Wirtsgestein wird kritisch gesehen, da es sich nicht um Tonstein sondern - auch in den endlagerrelevanten Tiefen - überwiegend um plastische oder nur teilverfestigte Tone handelt.

Die BGE legt die Wirtsgesteinsdefinition hier sehr weit aus. Sie verweist darauf, dass im Standortauswahlgesetz neben dem Begriff „Tonstein“ auch der umfassendere Begriff „Tongestein“ verwendet wird. Die Einbeziehung der tertiären Tonfolgen führt im norddeutschen Raum zur Ausweisung eines bundeslandübergreifenden, sehr großen identifizierten Gebietes (053_00IG_T_f_tpg), das auch im Rahmen der Abwägung nicht verkleinert und als Teilgebiet im Verfahren verbleibt (s. auch unter Abwägungskriterien).

- Salz in stratiformer Lagerung:

Nach der Begriffsbestimmung der BGE für das Wirtsgestein Steinsalz (BGE 2020a), werden „konkordant (d. h. flach, im Verbund) abgelagerte Steinsalzsichten innerhalb einer salinaren Abfolge als stratiforme Steinsalzformation“ bezeichnet.

In Schleswig-Holstein finden sich stratiforme Salze in den Formationen des Zechsteins, des Röt („Rötsalinar“) und des Mittleren Keupers („Keupersalinar“). Innerhalb dieser Formationen werden von der BGE „identifizierte Gebiete“ ausgewiesen, die die Mindestanforderungen erfüllen. Die Gebiete bestehen aus mehreren Einzelflächen. Die Ausweisung dieser Gebiete kann vom GD nicht für alle Einzelflächen nachvollzogen werden:

Rötsalinar (Gebiet 191_02IG_S_f_so):

Im Bereich der südlichen Einzelflächen bei Mölln und Gudow liegt das Top des Unteren Rötsalinars zu tief, so dass innerhalb des endlagerrelevanten Betrachtungsbereichs bis 1500 m Tiefe eine Salzmächtigkeit von 100 m nur sehr lokal erreicht wird. Nach Norden hin nimmt die Mächtigkeit des Salinars ab. Aus den Schichtenverzeichnissen von Referenzbohrungen in der Region kann eine erforderliche Mindestmächtigkeit des Rötsalinars von 100 m oder größer nicht abgeleitet werden. Insofern kann ein Großteil der Einzelflächen des „identifizierten Gebietes“ nicht bestätigt werden,

Keupersalinar (Gebiete 189_01IG_S_f_km und 189_01IG_S_f_km):

Ein Abgleich dieser Gebiete mit dem von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in zwei Studien (1998 und 2014) dargestellten Verbreitungsbereich des Keupersalinars zeigt, dass die Einzelflächen dieser Gebiete mit der Bezeichnung Bredgrund, Schleimündung, Gabelsflach/ Kieler Bucht sowie Plön und Segeberg außerhalb dieser Grenzen liegen. Es ist daher davon auszugehen, dass die Ablagerungen des Mittleren Keupers in diesen Bereichen meist als Ton- bis Tonmergelstein, Anhydrit und Gips in Wechsellagerung ausgebildet sind. Auch Referenzbohrungen im Nahbereich dieser Einzelflächen lassen nicht auf nennenswerte Salzmächtigkeiten innerhalb der Keuperfolge schließen. Insofern können die aufgeführten Einzelflächen der „identifizierten Gebiete“ nicht bestätigt werden.

Abwägungskriterien:

Mit Hilfe der Abwägungskriterien wurden seitens der BGE aus der Kulissee der „identifizierten Gebiete“ Gebiete mit „günstigen Eigenschaften“ ermittelt. Diese werden im Ergebnis als Teilgebiete ausgewiesen und verbleiben im Verfahren.

- Salz in steiler Lagerung:

Gemäß Begriffsdefinition der BGE (2020a) werden Salzstrukturen, bei denen die Deckgebirgsschichten infolge eines zunehmenden Salzaufstiegs durchbrochen wurden, als „Steinsalz in steiler Lagerung“ bezeichnet. Durch den Salzaufstieg (Halokinese) ist die ursprüngliche Lagerung der salinaren Abfolgen stark verändert. Dies kann vor allem bei Strukturen, an deren Aufbau neben dem endlagerrelevanten Steinsalz der Zechsteinformation auch Schichten der Rotliegendformation beteiligt sind (sogenannte Doppelsalinare), zu einem komplizierten internen Aufbau führen.

Für die Anwendung des Abwägungskriteriums „räumliche Charakterisierbarkeit“ wurde für Salz in steiler Lagerung seitens der BGE der interne Aufbau der Salzstrukturen berücksichtigt. Hierzu wurde auf die Ergebnisse des Projektes „INSPEE-DS“ der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) zurückgegriffen. Den Doppelsalinaren wird hierin je nach prognostiziertem Anteil und Lage der Zechsteinsalze ein Internbautyp 1, 2 oder 3 zugewiesen (vgl. Fleig & Röhling, 2019). Die BGE nimmt in ihrem Bericht zwar auf das Projekt Bezug, jedoch wird der Differenzierungsgrad der Typenklassifizierung für die Bewertung nicht übernommen. Stattdessen wird bei Auftreten von verschiedenen Internbautypen in einzelnen Abschnitten eines „identifizierten Gebietes“ dem gesamten Gebiet der günstigste Typ zugewiesen und das Gebiet im Abwägungsprozess entsprechend günstig bewertet. Dies erfolgte gemäß Bericht (BGE 2020b) „zur Vermeidung einer potentiellen Unterschätzung“.

Da es sich bei den Ergebnissen des BGR Projektes um eine aktuelle wissenschaftliche Expertise handelt, bei der alle vorhandenen Daten einbezogen wurden, kann nicht nachvollzogen werden, warum die Ergebnisse nicht vollständig übernommen wurden.

- Tongestein:

Die Anwendung der Abwägungskriterien hat in Hinblick auf das Verbreitungsgebiet tertiärer Tongesteine keine Eingrenzung der großen, zuvor identifizierten Gebietskulissee (053_00IG_T_f_tpg) erbracht. Dies ist insbesondere der Verwendung von Referenzdatensätzen für Tonsteine bei der Mehrzahl der Abwägungskriterien geschuldet. Die Verwendung von Referenzdatensätzen wird nicht grundsätzlich beanstandet, jedoch hätten für die tertiären Tone gesonderte Referenzdatensätze abgeleitet werden müssen, die sich von denen der verfestigten Tonsteine älterer Formationen unterscheiden.

Die tonigen Folgen des Tertiärs unterscheiden sich in Schleswig-Holstein sowohl sedimentologisch als auch hinsichtlich des Verfestigungsgrades von den Tonsteinen

älter er erdgeschichtlicher Formationen. Durch die im Tertiär noch andauernde Halokinese kam es an den Flanken der Salzstrukturen stellenweise zur Erosion der Deckschichten, was in den Tonfolgen der randlichen Tröge zu unterschiedlich mächtigen siltig/ sandigen Zwischenlagen geführt hat. Weiterhin ist besonders das Untereozän 1 durch Tuffitlagen gekennzeichnet.

Eine nicht abgeschlossene Durchsicht der Schichtenbeschreibungen belegt, dass mindestens bis in Teufen von 600 bis 700 m keine diagenetische Verfestigung der tertiären Tone angenommen werden kann. In vielen Landesteilen werden Tone – auch des Alttertiärs – noch in größeren Tiefen als 700 m als plastisch, weich oder mild/mäßig fest beschrieben. Dies hätte sich in der Abwägung als „ungünstig“ niederschlagen müssen.

Für Rückfragen stehe ich gerne zur Verfügung.

Mit freundlichem Gruß



Anlage: Literatur

Anlage zum Schreiben vom 29.01.2021

Literatur

Baldschuhn, R., Binot, F., Frisch, U. & Kockel, F. (2001): Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor – Strukturen, Strukturentwicklung, Paläogeographie. – Geol. Jb., A 153, Hannover (BGR).

BGE 2020a: Begriffsbestimmung Wirtsgestein Steinsalz, Stand 11.06.2020.

BGE 2020a: Begriffsbestimmung Wirtsgestein Tonstein/ Tongestein, Stand 11.06.2020

BGE 2020b: Arbeitshilfe zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG. Stand 03.09.2020

Brückner-Röhling, S., Espig, M., Fischer, M., Fleig, S., Forsbach, H., Kockel, F., Krull, P., Stiewe, H. & Wirth, H. (2002): Standsicherheitsnachweise Nachbetriebsphase: Seismische Gefährdung - Teil 1: Strukturgeologie, BGR-Bericht, Stuttgart: Schweizerbart.

Frisch, U. & Kockel, F. (1998): Quantifizierung altkimmerischer Bewegungen in Nordwestdeutschland, Teil 2: Tektonik und Epirogenese im Keuper. – Unveröff. Bericht BGR, Archiv-Nr. 115 250: 1-38, 35 Anl., 1 Tab.; Hannover.

Fleig, S. & Röhling, S. (2019): InSpEE-DS: Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung erneuerbarer Energien in Doppelsalinaren und flachlagernden Salzen. [Online]: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Zugriff am: 20.01.2021. https://www.robeha.de/DE/Gemeinsames/Nachrichten/Veranstaltungen/2019/Hauskolloquium_2019_2020/Bilder/2019-11-26_01_g.html;jsessionid=091F6F48EB9FA03D1B87771E42BCD3FA.2_cid321?nn=1545784

Reinhold, K., Hammer, J. & Pusch, M. (2014): Verbreitung, Zusammensetzung und geologische Lagerungsverhältnisse flach lagernder Steinsalzfolgen in Deutschland, Zwischenbericht BGR, Archiv-Nr. 9Y2013030000: 1-111, Hannover.

Rosenbaum, S., Hese, F., Liebsch-Dörschner, T., Offermann, P., Rheinländer, J., Thomsen, C. (2012): Geologische Modelle der Deck- und Speichergesteine Schleswig-Holsteins. Schlussbericht des Teilvorhabens M6 im Rahmen des Verbundprojektes CO₂-MoPa Modellierung und Parametrisierung von CO₂-Speicherung in tiefen, salinen Speichergesteinen für Dimensionierungs- und Risikoanalysen; Vorhaben: Dimensionierung und Risikoanalysen bei der CO₂-Speicherung - Sonderprogramm GEOTECHNOLOGIEN; 107 S., LLUR SH, Flintbek, Technische Informationsbibliothek Hannover.

Anlage zum Schreiben vom 22.01.2021
5070-81-3442/3-16-5692/2021

Validierung des Zwischenberichts „Teilgebiete“ für Thüringen

1. Zwischenbericht der Validierung

Das Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN) hat entsprechend der Beauftragung eine erste Durchsicht des Zwischenberichts Teilgebiete der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) vom 28.09.2020 vorgenommen. Die sich daraus ergebenden Anmerkungen finden sich nachfolgend. Sie beziehen sich insbesondere auf Fragen der Anwendung der Kriterien nach §§ 22 und 23 StandAG auf die vom TLUBN an die BGE übermittelten Daten.

Die hier getroffenen Ersteinschätzungen des TLUBN erheben dabei keinesfalls Anspruch auf eine vollständige Prüfung des Zwischenberichts Teilgebiete, da sich das TLUBN in der jetzigen Phase noch im Studium des Berichts und seiner umfangreichen untersetzenden Unterlagen befindet.

Ausschlusskriterium „aktive Störungszonen – atektonische Vorgänge“

Warum werden aktuelle Informationen zu Subrosionssenken bzw. Subrosionserscheinungen nicht stärker berücksichtigt?

Durch Subrosionsprozesse werden auslaugungsfähige Gesteine im Untergrund gelöst. Diese Prozesse können einen endlagerrelevanten Bereich aktiv schädigen und die geologische Barrierefunktion des Wirtsgesteins negativ beeinflussen oder passiv auf den endlagerrelevanten Bereich einwirken, indem sie Zutrittsmöglichkeiten für untersättigte Lösungen schaffen. Subrosion wird daher als atektonischer Vorgang verstanden, der nach § 22 Abs. 2 Nr. 2 S. 3 StandAG wie aktive Störungszonen zum Ausschluss von Gebieten führen kann.

Das TLUBN hat zur Anwendung des Kriteriums Daten aus geologischen Karten, Archivberichten sowie einen Auszug digital erfasster Subrosionsobjekte und Hohlformen in Thüringen mit Stand vom 12.06.2018 übermittelt.

Nach Auswertung der übermittelten Daten und methodischen Anwendung weist die BGE lediglich eine einzige punktuelle Subrosionserscheinung aus 12.228 digital erfassten Subrosionsobjekten und Hohlformen in Thüringen aus (BGE 2020a, S. 59). Die in geologischen Karten und Archivberichten erfassten Subrosionssenken in Südwest-Thüringen werden von der BGE bei der Anwendung der Ausschlusskriterien nicht berücksichtigt.

Der Methodik der BGE zur Auswertung der durch das TLUBN gelieferten Daten ist aus den folgenden Gründen in Frage zu stellen:

1. Ausschließlich Subrosionserscheinungen zu betrachten, deren Ursprung in endlagerrelevanten Tiefen von 300 m bis 1.500 m unter der Geländeoberfläche nachgewiesen sind, führt dazu, dass die Subrosion ausreichend mächtiger und z. T. in endlagerrelevanten Tiefen liegender Steinsalze oberhalb 300 m nicht zum Ausschluss führt. Findet der Zutritt von untersättigten Lösungen aufgrund der Schädigung des Deckgebirges weiterhin statt, können Steinsalze auch in endlagerrelevanten Tiefen bis hin zur vollständigen Ablauung gelöst werden.
2. Flächenhaft auftretende Subrosionserscheinungen sind in Südwest-Thüringen in der Geologischen Übersichtskarte von Thüringen erfasst (TLUG 2002). Insbesondere aufgrund des aktiven Bergbaus, mehrerer schwerer Subrosionsereignisse (z. B. Erdfall Tiefenort) sowie umfangreicher Erfassungsarbeiten in dieser Region liegen fundierte Kenntnisse zum Thema Subrosion vor. Die der BGE zur Verfügung gestellten Informationen aus geologischen Karten und Berichten aus Wissenschaft und Industrie (TLUG 2002; Jungmann & Beer 2004, Anlage 1) sind nicht zum Ausschluss von Flächen aufgrund von Subrosionserscheinungen im „Salzhangbereich“ verwendet worden. Infolgedessen beinhaltet das Teilgebiet 078_03TG_197_03IG_S_f_z großflächige Bereiche, die seit Jahrzehnten als Subrosionssenken bekannt sind (z. B. Oberzella-Subrosionssenke) und die für die Endlagerung von radioaktiven Abfällen nicht geeignet sind (s. Abb. 1).
3. Der Datenbestand der 12.228 digital erfassten Subrosionsobjekte und Hohlformen in Thüringen ist mit Ausnahme eines Objekts von der BGE aussortiert worden, da in den meisten Fällen der Entstehungshorizont und die Entstehungstiefe nicht im Datenbestand dokumentiert ist. Durch den Vergleich mit Informationen aus geologischen Karten kann allerdings mit einfachen räumlichen Abfragen auf den Entstehungshorizont geschlossen werden. So kommen beispielweise in Gebieten mit oberflächlich anstehendem Mittlerem Buntsandstein nur Gesteine des Zechsteins im Untergrund als auslaugungsfähige Gesteine in Betracht, deren Tiefenlage in den Mindestanforderungen durch die BGE bestimmt wurde. Eine Verknüpfung geologischer Informationen aus unterschiedlichen Daten, die zu einem weitreichenderen Ausschluss führen würde, hat durch die BGE nicht stattgefunden.

Die Ausschlussgebiete nach Anwendung des Kriteriums aktive Störungszonen – atektonische Vorgänge sind nach Einschätzung des TLUBN als zu geringflächig ermittelt worden. Infolgedessen ist das durch die BGE ermittelte Teilgebiet 078_03TG_197_03IG_S_f_z (Steinsalz in stratiformer Lagerung - Werra-Fulda-Becken) deutlich zu groß ausgefallen.

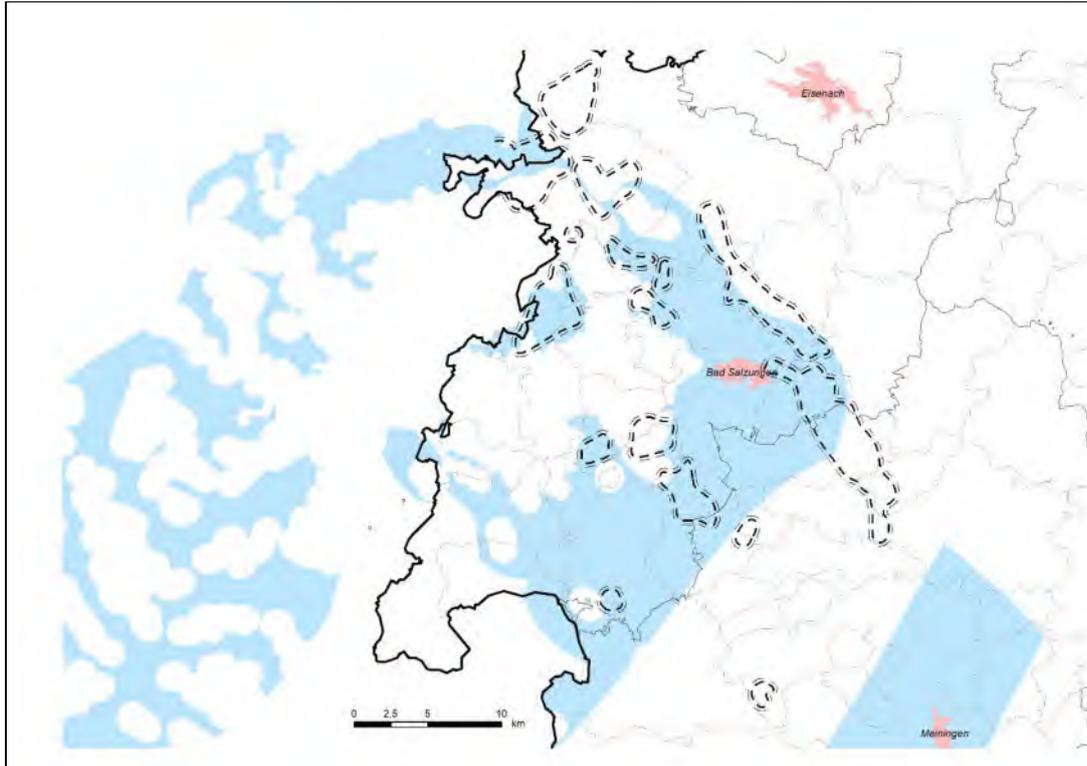


Abb. 1: In der Geologischen Übersichtskarte von Thüringen dargestellte Subrosionssenken (doppelt gestrichelt) im Vergleich zur Lage des Teilgebiets 078_03TG_197_03IG_S_f_z (hellblau) (Erstellung TLUBN).

Ausschlusskriterium „aktive Störungszonen – tektonische Störungszonen“

Warum wurde für die vom TLUBN ausgewiesenen aktiven Störungszonen ein senkrechtes Einfallen angenommen?

Gemäß § 22 Absatz 2 Nr. 2 StandAG sind Gebiete nicht als Endlagerstandort geeignet, wenn in den Gebirgsbereichen, die als Endlagerbereich in Betracht kommen, einschließlich eines abdeckenden Sicherheitsabstands, geologisch aktive Störungszonen vorhanden sind, die das Endlagersystem und seine Barrieren beeinträchtigen können.

Nach der Anwendungsmethodik der BGE ergeben sich die hierdurch ausgeschlossenen Gebiete aus einem Sicherheitsabstand von 1000 m um Störungszonen, die als aktiv eingestuft werden. Bei unbekanntem Einfallen wird der Sicherheitsabstand vertikal in die Tiefe projiziert, bei bekanntem Einfallen parallel zur geneigten Störungsfläche.

Für alle vom TLUBN als nachweislich aktiv eingestufte Störungszonen wurde von der BGE ein Sicherheitsabstand von 1000 m vertikal in die Tiefe projiziert (BGE 2020a, S. 55).

Zusätzlich zu den umfangreichen Informationen aus geologischen Kartenwerken zum Verlauf von Störungszonen an der Erdoberfläche hat das TLUBN der BGE am 08.05.2018 auch Informationen zum Tiefenverlauf von 59 Störungsflächen im Untergrund übermittelt, die aus dem Geologischen 3D-Übersichtsmodell des Thüringer Beckens stammen (TLUG 2014). Die Modellflächen geben zumeist den Verlauf von Störungszonen wieder, die als nachweislich aktiv eingestuft worden sind.

Diese wesentlichen Informationen zum Einfallen der Störungszonen sind bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums und der Ermittlung ausgeschlossener Gebiete nicht von der BGE berücksichtigt worden.

Bei korrekter Anwendung ergibt sich für die in Thüringen ausgewiesenen Teilgebiete nach Ansicht des TLUBN eine Verschiebung der Teilgebietsgrenzen an der Grenze zu Ausschlussgebieten aktiver Störungszonen (s. Abb. 2), die in Abhängigkeit von der Tiefe und des Einfallens der Störungszone mehrere Hundert Meter betragen kann.

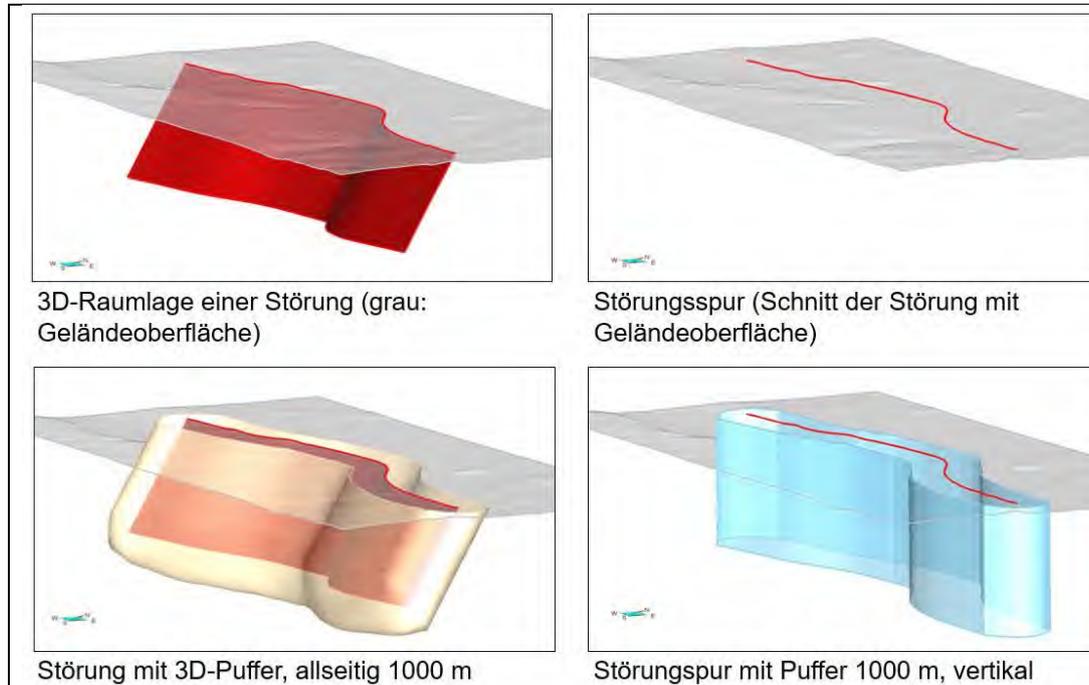


Abb. 2: Bestimmung des Sicherheitsabstandes um aktive Störungszonen unter Berücksichtigung des Tiefenverlaufs der Störung (links) bzw. durch vertikale Projektion der Störungsspur an der Geländeoberfläche (rechts) (Erstellung TLUBN).

Ausschlusskriterium „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbau-licher Tätigkeit – Bohrungen“

Warum sind durch Bohrungen ausgeschlossene Gebiete nicht in den Teilgebieten dargestellt?

Bohrungen beeinflussen das sie umgebende Gebirge. Vor allem gebirgsmechanische Eigenschaften werden im unterschiedlichen Maß negativ beeinflusst. Nach der Methodik der BGE wird in der erstmaligen Anwendung dieses Kriteriums um jeden Bohransatzpunkt und Bohrungsverlauf im Untergrund ein Sicherheitsabstand von 25 m zur Ermittlung von Ausschlussflächen angewendet. Der Sicherheitsabstand soll die Lageungenauigkeit und den Einwirkungsbereich der Bohrung auf das umgebende Gebirge berücksichtigen.

Durch das Ausschlusskriterium ermittelte Flächen sind sowohl in den Teilgebietskarten der interaktiven Web-Anwendung der BGE als auch und in den zum Download bereitgestellten Shape-Dateien der ermittelten Teilgebiete nicht berücksichtigt (s. Abb. 3).

Der BGE zufolge können die ermittelten ausgeschlossenen Flächen um Bohrungen aufgrund des gewählten Maßstabsbereichs in der interaktiven Web-Anwendung nur überdimensioniert dargestellt werden. Diese Argumentation ist insoweit nachvollziehbar.

Bei den zur Verfügung gestellten Shape-Dateien handelt es sich um maßstabsfreie Vektordaten, so dass die Ausschlussflächen hier von der BGE eingearbeitet werden können.

Die derzeit ausgewiesenen Flächen der Teilgebiete sind daher nach Anwendung des Ausschlusskriteriums „Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit – Bohrungen“ aus Sicht des TLUBN zu groß berechnet.

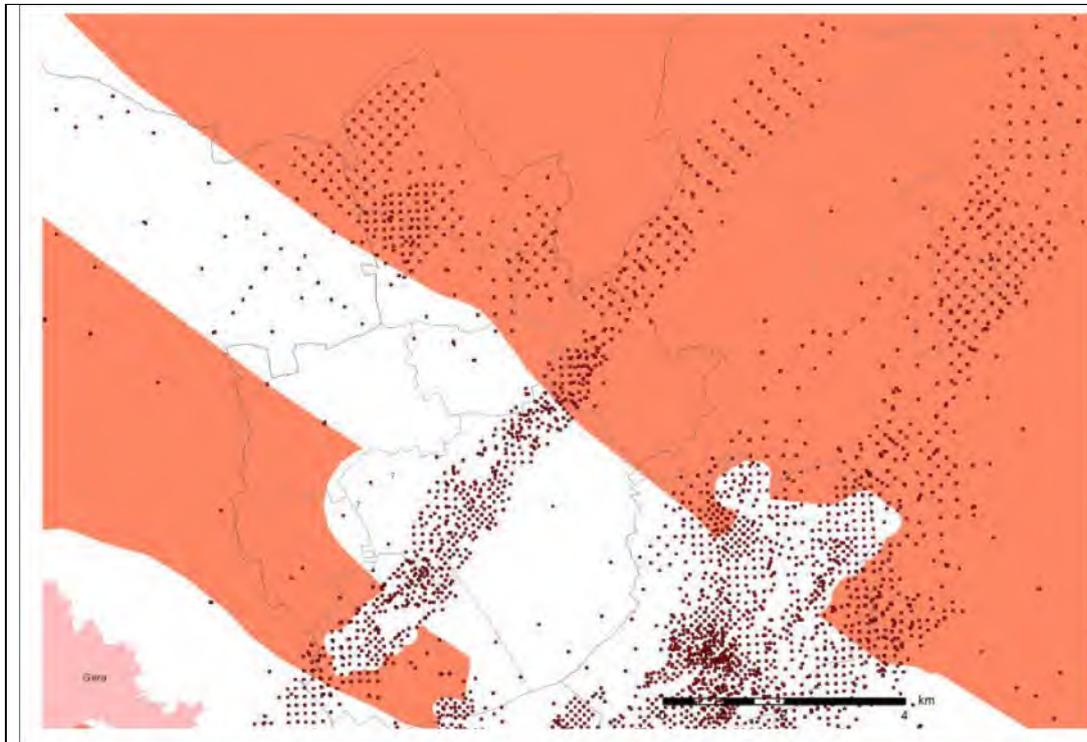


Abb. 3: Ausschnitt des Teilgebietes 009_00TG_194_00IG_K_g_SO (hellrot) im Raum Gera und Lage der an die BGE übermittelten Bohrungen (rot) mit Einflüssen ≥ 300 m (Erstellung TLUBN).

Mindestanforderung – „Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG)“

Warum werden in den Teilgebieten mit Steinsalzen in stratiformer Lagerung die Mächtigkeiten einzelner Steinsalzformationen zu einer Gesamtmächtigkeit summiert?

Die BGE nimmt zur Anwendung der Mindestanforderung „Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ das Geologische 3D-Übersichtsmodell des Thüringer Beckens als Grundlage (BGE 2020b, S. 199). In diesem Übersichtsmodell ist die Tiefenlage der Basis- und Topfläche des Zechsteins modelliert worden. Der Zechstein enthält innerhalb der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation Steinsalze in stratiformer Lagerung, umfasst jedoch weit aus mehr Gesteine, die nicht als Wirtsgesteine zu betrachten sind.

Zur weiteren Eingrenzung werden von der BGE thematische Karten, z. B. paläogeographische Karten und Mächtigkeitskarten herangezogen, in denen die Verbreitung und/oder Mächtigkeit der Steinsalze dargestellt ist. Im Anschluss dienen Informationen aus Bohrungen überwiegend als Beleg für die Erfüllung der Mindestanforderung (BGE 2020a, S. 102). In einem weiteren Prozess der Eingrenzung werden die einzelnen Mächtigkeiten der Steinsalze der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation zu einer Gesamtmächtigkeit summiert (BGE 2020c, S. 194).

Die im Untergrund Thüringens verbreitete Gesteinsabfolge des Zechsteins setzt sich aus sehr unterschiedlichen Gesteinen zusammen (s. Abb. 4).

Steinsalze innerhalb der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation des Zechsteins werden von klastischen, karbonatischen und sulfatischen Gesteinen mit Mächtigkeiten getrennt, die jeweils mehrere Zehner Meter mächtig werden können. Diese Gesteine reagieren im Gegensatz zum potentiellen Wirtsgestein Steinsalz auf Spannungsänderungen im Gebirge mit bruchtektonischer Verformung, sind häufig stark geklüftet und können kohlenwasserstoffhaltige Lösungen, Metamorphoselösungen und Formationswässer führen (Herbert & Schwandt 2000, S. 14 ff).

In Thüringen sind innerhalb der Salzgesteine der Werra-Formation in Südthüringen (s. Abb. 5) und im oberen Bereich der Salzgesteine der Staßfurt-Formation in Nordthüringen zudem Kalisalze entwickelt. Diese Abfolgen sind aufgrund ihrer mineralogischen Zusammensetzung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle ebenfalls nicht geeignet.

Nach Einschätzung des TLUBN ist daher das Summieren von Mächtigkeiten mehrerer Steinsalzhorizonte innerhalb des Zechsteins zu einer Gesamtmächtigkeit nicht zulässig. Die Mächtigkeiten der ausgebildeten Steinsalze der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation müssen einzeln ermittelt werden, da andernfalls wirtsgesteinsfremde Gesteine in die Berechnungen eingehen und die Mächtigkeiten zu stark überschätzt werden.

Die Teilgebiete mit Steinsalzen in stratiformer Lagerung fallen daher nach Auffassung des TLUBN aufgrund des Summierens von Mächtigkeiten mehrerer Steinsalzformationen des Zechsteins deutlich zu groß aus.

Zechstein (z)	<p>Fulda-Formation (zFu) vorrangig Tonstein mit Lagen von Feinsand Mächtigkeit: bis zu 40 m</p>
	<p>Friesland-Formation (zFr) vorrangig Tonstein mit Lagen von Feinsand Mächtigkeit: bis zu 10 m</p>
	<p>Ohre-Formation (zO) vorrangig Tonstein mit Lagen von Anhydrit Mächtigkeit: bis zu 5 m</p>
	<p>Aller-Formation (zA) vorrangig Tonstein und Steinsalz, wenige Lagen von Anhydrit Mächtigkeit: bis zu 50 m</p>
	<p>Leine-Formation (zL) Steinsalz, Karbonat- und Sulfatgestein; untergeordnet Tonstein, Mächtigkeit: bis zu 150 m</p>
	<p>Staßfurt-Formation (zS) – endlagerrelevant vorrangig Steinsalz, Mächtigkeit >100 m möglich; untergeordnet Kalisalz, Tonstein, Karbonat- und Sulfatgestein, Gesamtmächtigkeit: bis zu 500 m</p>
	<p>Werra-Formation (zW) – endlagerrelevant vorrangig Steinsalz, Mächtigkeit >100 m möglich; untergeordnet Kalisalz, Tonstein, Karbonat- und Sulfatgestein, Gesamtmächtigkeit: bis zu 400 m</p>

Abb. 4: Vereinfachte stratigraphische Gliederung der Zechstein-Gesteine in Thüringen (Erstellung TLUBN).

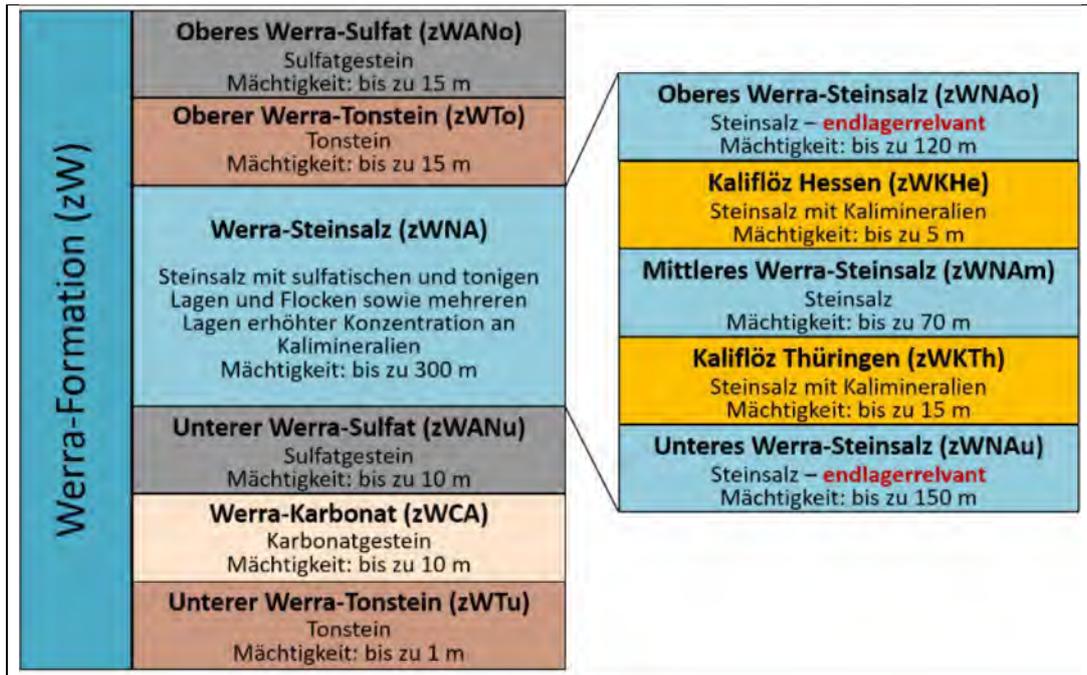


Abb. 5: Vereinfachte stratigraphische Gliederung der Werra-Formation in Südthüringen (Erstellung TLUBN).

Mindestanforderung – „Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG)“

Warum werden bei der Ermittlung der Teilgebiete mit Steinsalzen in stratiformer Lagerung Bohrungen mit einer (auch summierten) Steinsalzmächtigkeit von weniger als 100 m nicht berücksichtigt?

Die BGE nutzt zur weiteren Eingrenzung von identifizierten Gebieten u. a. Bohrungsdaten, die der BGE am 30.06.2018 durch das TLUBN zur Verfügung gestellt wurden. Anhand der Schichtdaten werden die einzelnen Mächtigkeiten der Steinsalze der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation innerhalb des Zechsteins zu einer Gesamtmächtigkeit summiert (dazu s. o.). Bohrungen, die in der Summe weniger als 100 m Steinsalze aufweisen, werden von der BGE zur Eingrenzung der Teilgebiete nicht weiterverwendet (BGE 2020c, S. 195).

Das TLUBN hat der BGE im Zuge der Datenübermittlung vom 30.06.2018 zur Anwendung der Mindestanforderungen und im fachlichen Austausch seine grundsätzliche Auffassung mitgeteilt, dass insbesondere die übermittelten Bohrdaten die „härtesten“ Daten sind, auf deren Grundlage z. B. Mächtigkeitsberechnungen von Wirtsgesteinen erfolgen sollten. Bohrungen, die nach Auswertung der BGE eine (auch summierte) Steinsalzmächtigkeit von weniger als 100 m aufweisen und sich innerhalb der identifizierten Gebiete befinden, müssen daher nach Ansicht des TLUBN zur weiteren Eingrenzung und Anpassung der Teilgebietsgrenzen zwingend herangezogen werden, da es sich hierbei um wichtige Belegpunkte handelt.

Aufgrund der unvollständigen Nutzung der Bohrdaten fallen die Teilgebiete mit Steinsalzen in stratiformer Lagerung nach Auffassung des TLUBN als deutlich zu groß aus.

Mindestanforderung – „Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“

Warum werden niedriggradige metamorphe Gesteine des Saxothuringikums teilweise zu Kristallingesteinen gerechnet?

Die BGE zählt hochgradig regionalmetamorphe Gesteine und Plutonite zu den kristallinen Wirtsgesteinen, die günstige Eigenschaften für die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen grundsätzlich erwarten lassen (BGE 2020a, S. 43), und ermittelt ein Teilgebiet für kristallines Wirtsgestein im Saxothuringikum des variszischen Gebirges (009_00TG_194_00IG_K_g_SO). In Thüringen tritt das Saxothuringikum weiträumig im Thüringer Schiefergebirge zu Tage und ist unter jüngerer Bedeckung im Untergrund des östlichen Thüringer Beckens verbreitet. Nordwestlich der Linie Saalfeld - Neustadt an der Orla - Weida wird das in Thüringen unter jüngerer Bedeckung verbreitete Saxothuringikum von der BGE zum Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO mit kristallinem Wirtsgestein gerechnet.

Das Saxothuringikum wird in Thüringen überwiegend aus klastischen Sedimentgesteinen und Vulkaniten mit gering metamorpher Überprägung (z. B. Schiefer, Phyllite, Meta-Sandsteine) aufgebaut. Im Thüringer Schiefergebirge sind diese an der Oberfläche anstehenden Gesteine korrekterweise von der BGE nicht zu den kristallinen Wirtsgesteinen gerechnet worden und liegen daher nicht im Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO.

Nordwestlich setzt sich das Saxothuringikum in ähnlicher lithologischer Ausbildung unter jüngerer Bedeckung fort. Informationen zur Verbreitung des Saxothuringikums im tieferen Untergrund wurden der BGE, insbesondere mit der Karte „Geologischer Bau des tieferen Untergrundes in Thüringen“ (TLUG 2015) übermittelt (s. Abb. 6), die im Vergleich zu der durch die BGE verwendeten Karte von Reinhold (2005) einen deutlich erhöhten Detailgrad aufweist.

Bohrungsdaten des TLUBN, welche der BGE in der Datenlieferung vom 30.06.2018 übermittelt wurden, belegen, dass das Saxothuringikum nordwestlich des Thüringer Schiefergebirges fast ausschließlich aus gering metamorphen Gesteinen aufgebaut ist. Im Teilgebiet Saxothuringikum liegen nach Auswertung des TLUBN 153 Bohrungen, in denen Grundgebirge erbohrt wurde. Dabei wurde lediglich in zwei Bohrungen kristallines Wirtsgestein angetroffen (s. Abb. 7).

Das TLUBN ist daher der Ansicht, dass das Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO in seinen Ausmaßen deutlich zu groß ausgefallen ist.

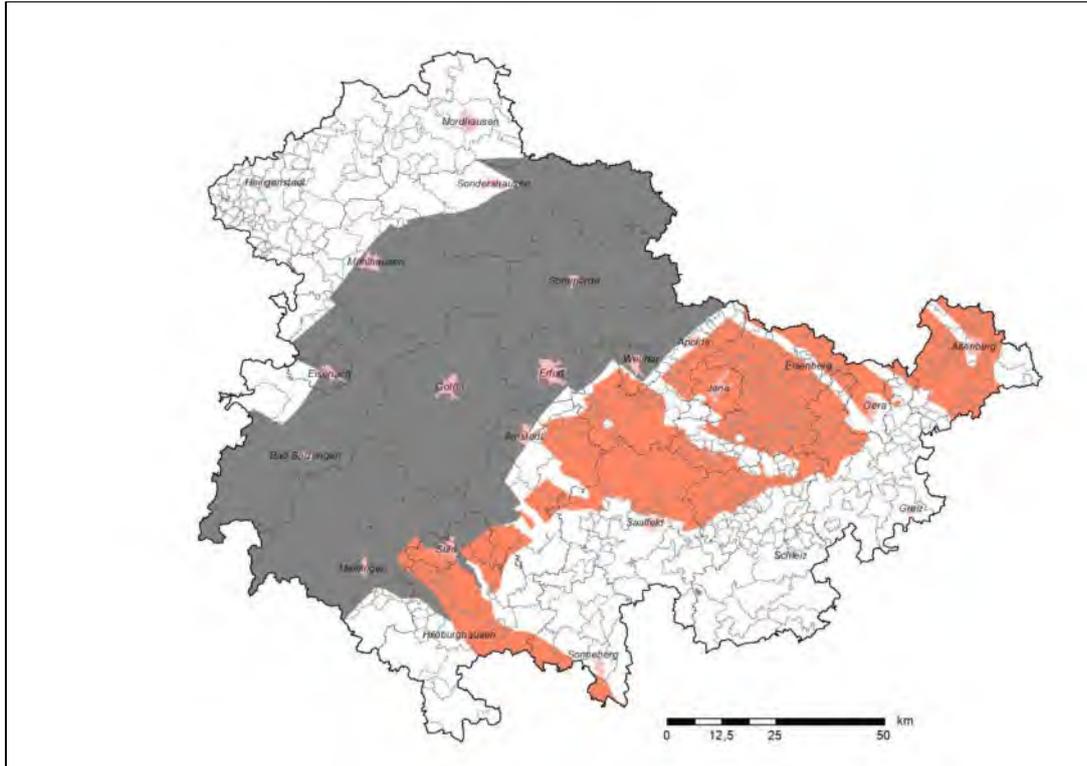


Abb. 6: Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO (hellrot) und Verbreitung kristalliner Wirtsgesteine nach der Karte des tieferen Untergrundes in Thüringen (grau) (Erstellung TLUBN).

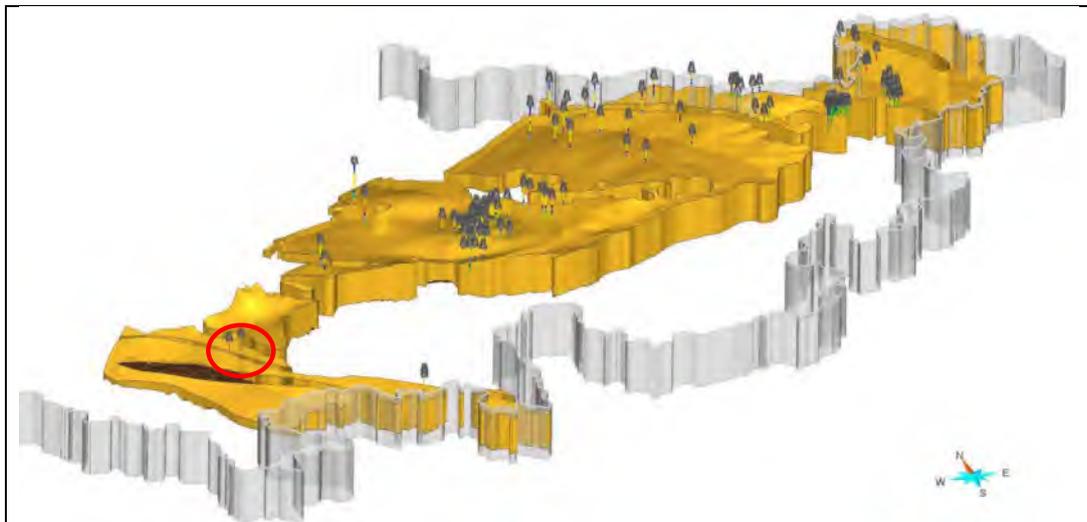


Abb. 7: Dreidimensionale Darstellung des Teilgebiets 009_00TG_194_00IG_K_g_SO mit allen Bohrungen, die das Grundgebirge erreichen. Nur zwei der 153 Bohrungen erbohren geeignetes kristallines Wirtsgestein (rot markiert) (Erstellung TLUBN).

Literaturzitate

- BGE (2020a): Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
- BGE (2020b): Anwendung Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG – Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
- BGE (2020c): Datenbericht Teil 2 von 4, Mindestanforderungen gemäß § 23 StandAG und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien gemäß § 24 Stand AG – Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
- Herbert, H. J. & Schwandt, A. (2007): Salzlösungszuflüsse im Salzbergbau Mitteldeutschlands. GRS226. Köln: Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH. ISBN 9783939355007
- Jungmann O., & Beer, W. (2004): Neukartierung des Salzhanges im thüringischen Werra-Kaligebiet anhand reflexionsseismischer Tiefenprofile und Tiefenbohrungen. Kassel: K+S Aktiengesellschaft
- Reinhold, K. (2005): Tiefenlage der Kristallin-Oberfläche in Deutschland – Abschlussbericht. F + E Endlagerung. Berlin: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
- Standortauswahlgesetz – StandAG (2017): Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 247 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist
- TLUG (2002): Geologische Übersichtskarte von Thüringen, 1:200.000. Jena: TLUG.
- TLUG (2014): Geologisches 3DModell „Thüringer Becken“ (WMS Dienst). [Online-Ressource]: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Zugriff am: 16-12-2020. <http://nibis.lbeg.de/cardoMap3/?th=1411>
- TLUG (2015): Geologischer Bau des tieferen Untergrundes in Thüringen – Geologische Flächeneinheiten. <http://www.tlug-jena.de/kartendienste/>