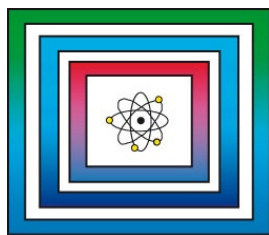


Standortauswahl

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 Aggregation 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 ortsspezifischen 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 Tongesteinsformationen 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 (Rhenoherynykum, 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).

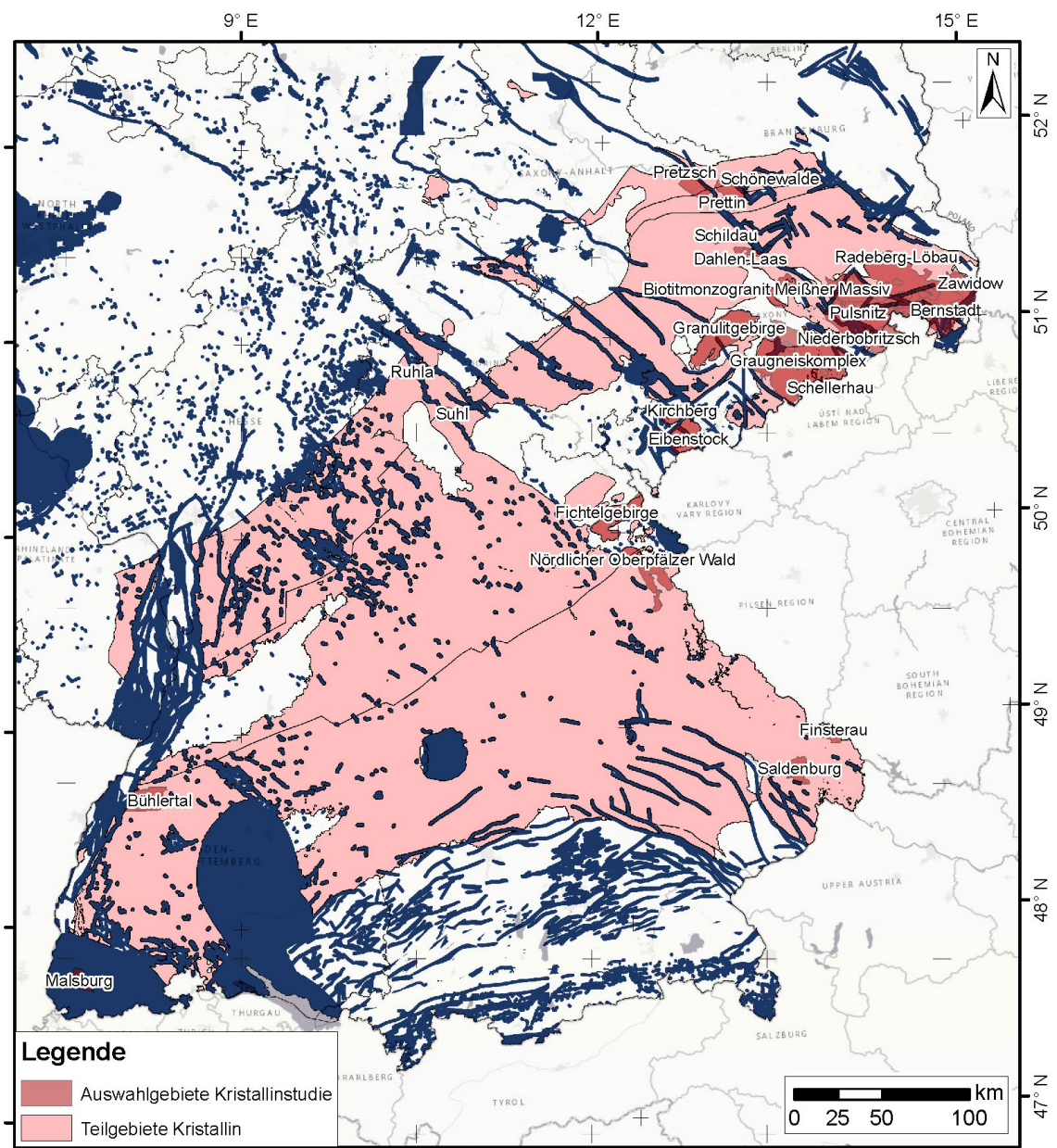


Abb. 1: Teilgebiete mit kristallinen Wirtsgesteinen (rosa) und Ausschlussgebiete (dunkelblau) nach BGE (2020g und 2020h) sowie Auswahlgebiete aus der Kristallinstudie (rot) nach Bräuer et al. (1994).

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 Hocheifel 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 umfänglicher 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 (Baldschuhn 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 präexistenten 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 Sockelstörungen im näheren Umfeld. Über Kartenserien werden basierend auf der Analyse seismischer Daten, Bohrungen und bestehender Kartenwerke Aktivitäten für Deckgebirgsstrukturen und liegende Sockelstörungen 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 Störungszonen 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 Störungszonen 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 skalenabhängig 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 Hebungsbeiträgen 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 Versatzbeiträge 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 Störungslineamenten 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. Naheliegender 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 Störungszone 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 Solifluktionerscheinungen 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 Störungselemente 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 Umriss 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 kristalinem Wirtsgestein: *„Im Rahmen der Anwendung der Mindestanforderungen zur Ermittlung von Teilgebieten gemäß § 13 StandAG erfolgt innerhalb von Gebieten mit kristalinem 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 Porenwasserdrucks 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_jmOPT 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. Beispielhaft 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.

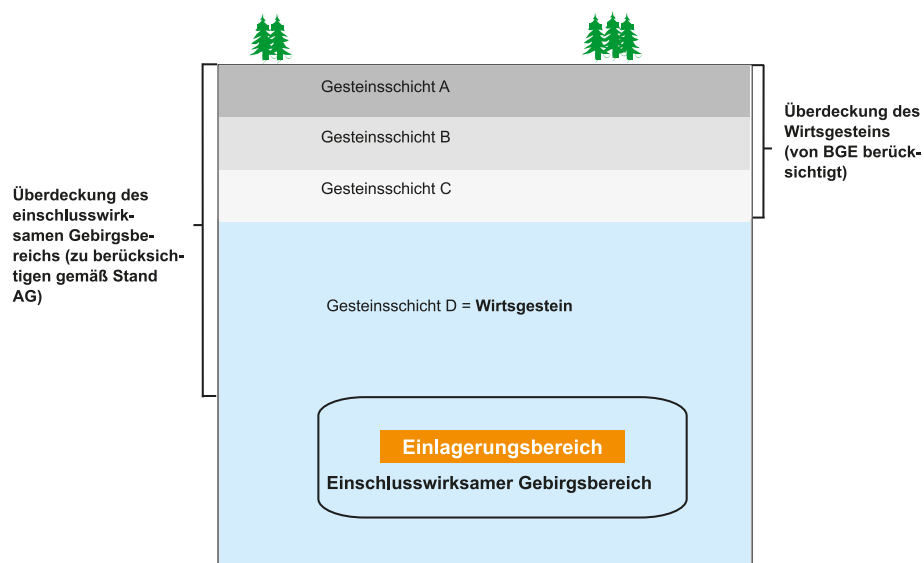


Abb. 2: Abbildung zur Verdeutlichung des Unterschieds zwischen der „Überdeckung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“ und der „Überdeckung des Wirtgesteins“.

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 Gebirgsbereich“ (§ 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 fehlenden 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 Aggregation 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 Aggregation 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 Aggregation 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 Aggregation 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.- GMIT, 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 vulkansicher 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 Mächtigkeitkarten 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
¹⁴ C	Kohlenstoff-14
2D	zweidimensional
³ H	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