

Gutachten

„Rahmenvereinbarung über Sachverständigenleistungen im Rahmen der Akteneinsichtnahme nach § 35 Geologiedatengesetz“.

Hier: Sichtung der Unterlagen zur Methodenentwicklung für die repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) gem. § 14 Abs. 1 i.V.m. § 27 StandAG, des Zwischenberichts Teilgebiete und seiner untersetzenden Unterlagen (nach Bedarf), Akteneinsicht bei der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) für nicht frei zugängliche Unterlagen sowie Begleitung der öffentlichen Vorstellung und Konsultation der Methodenentwicklung zur Beantwortung konkreter Fragestellungen für das Gebiet zur Methodenentwicklung (GzM) „Saxothuringikum“ (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO) im Wirtsgestein „Kristallin“

Auftraggeber: Nationales Begleitgremium Geschäftsstelle Buchholzweg 8 13627 Berlin

Vergabestelle: Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau

Auftragsdatum: 26. Januar 2022

Autor: Prof. Dr. Jan Behrmann

Wittmoldt, den 5. Juli 2022

(Prof. Dr. Jan Behrmann)

1. Inhaltsverzeichnis

Seite

Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis	2
2. Vorbemerkung	2
3. Aufgabenstellung	4
4. Kriterien bei der Auswahl des Teilgebiets zur Methodenentwicklung	6
5. Festlegung der Untersuchungsräume (UR) durch die BGE	8
6. Geologische Aspekte der Methodik der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU).....	12
7. rvSU und Geowissenschaftliche Abwägungskriterien	19
8. Anteil von Referenzdaten bei der Erstellung der Geosynthesen.....	22
9. Bewertung der öffentlichen Vorstellung der Gesamtmethodik	25
10. Versuch einer vorläufigen Gesamtbewertung der vorgestellten Methodik für Teilgebiete im Kristallingestein	29
11. Handlungsempfehlungen	30
12. Zusammenfassung.....	32
13. Summary	33
14. Zitierte Literatur.....	34

2. Vorbemerkung

Die im Sommer 2021 durch Pressemitteilungen (BGE 2021a, 2021b) bekanntgegebenen vier Gebiete zur Methodenentwicklung sind Teilgebiete im Sinne des Zwischenberichts Teilgebiete (BGE 2020a). Die Auswahl geschah im Lichte der nachträglich kommunizierten Erkenntnis durch die BGE, dass es für die Beschreibung und Bewertung jedes der Wirtsgesteine (Kristallin, Tonstein, Salz in flacher Lagerung, Salz in steiler Lagerung) spezifischer Kombinationen von Methoden bedarf, eine Geosynthese und die Elemente der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchung (im Folgenden rvSU) durchzuführen. Es soll dabei eine generelle, systematische Herangehensweise zur Durchführung der rvSU entwickelt werden. Ein erster, wichtiger Arbeitsschritt ist die Darstellung eines Untersuchungsraumes in einer Geosynthese, deren Natur in §5 der Endlagersicherheits-

untersuchungsverordnung (EndlSiUntV) erklärt ist. Eine Geosynthese dokumentiert und interpretiert alle geowissenschaftlichen Informationen zu einem Untersuchungsraum.

Auf der Grundlage der im Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020a) vorgenommenen Einteilung entschied sich die BGE für die Methodenentwicklung für das Teilgebiet „Saxothuringikum“ (009_00TG_194_00IG_K_g_SO). Diese Auswahl und die nachgelieferte Begründung dafür wurde vom Verfasser der hier vorliegenden Stellungnahme im Rahmen einer gutachterlichen Stellungnahme im Spätherbst 2021 (Behrmann, 2021) analysiert und bewertet, mit dem Ergebnis, dass eine generell nachvollziehbare und richtige Wahl getroffen worden war.

Der Verfasser konnte im Rahmen der Beauftragung einen Einblick in den Arbeitsstand zur Methodenentwicklung im November 2021 nehmen. Danach ist kein direkter Kontakt zu den Bearbeitern in der BGE möglich gewesen, bis am 23.2.2022 das mittlerweile in veränderter Form veröffentlichte Konzept zur Durchführung der rvSU (BGE 2022a) mit der begleitenden Methodenbeschreibung im Anhang (BGE 2022b) in einer Vorabversion eingesehen werden konnte. An einem Termin am 28.3.2022 war es dem Verfasser unmittelbar vor der öffentlichen Vorstellung von Konzept und Methodenbeschreibung online möglich, Bearbeitern der BGE zu dieser Vorabversion der Dokumente Fragen zu stellen.

Sodann hat der Verfasser die öffentliche Präsentation (online) des Arbeitsstandes zur Methodenentwicklung vom 28.3. bis zum 1.4.2022 verfolgt. Gleiches gilt für die darauffolgende Onlinekonsultation, die am 31.5.2022 geschlossen wurde (<https://www.forum-bge.de/thread-39.html>). In der Folge war ein zweiter Besuch der BGE in Peine in Form eines Präsenztermins zur Diskussion anstehender Fragen am 19.5.2022 möglich.

In die vom Verfasser durchgeführte und hier vorgelegte Analyse der Entwicklung des Arbeitsstandes zur Methodenentwicklung flossen zusätzlich noch die Ergebnisse des Forums Endlager am 20. und 21.5.2022 (BASE, 2022; <https://www.endlagersuche-infoplattform.de/webs/Endlagersuche/DE/Beteiligung/Buergerbeteiligung/konzeption/fachforum/fachforum.html>), auf dem der Arbeitsstand bei der Methodenentwicklung für die rvSU aus dem Blickwinkel der Öffentlichkeit, der Zivilgesellschaft, der Wissenschaft und institutioneller Beteiligter diskutiert wurde.

Die Tage der Standortauswahl 2022 (<https://standorttage2022.de>) schließlich erlaubten Einblicke in den jüngsten Arbeitsstand bei der Methodenentwicklung, der in die hier vorgelegte Stellungnahme einfließen kann.

3. Aufgabenstellung

Die für die hier vorgelegte Stellungnahme vom Auftraggeber formulierte Aufgabenstellung ist gegliedert in fünf Themen, in deren Rahmen zum Teil sehr explizite Fragen gestellt werden. Sie betreffen ganz überwiegend den Prozess der Methodenentwicklung in seinem Ablauf von der Benennung der Gebiete zur Methodenentwicklung im Sommer 2021 bis zum Abschluss der Tage der Standortauswahl, also dem 10.6.2022. Weil die Methodenentwicklung gegenwärtig nicht abgeschlossen ist und der lange Betrachtungszeitraum eine Reihe von sich fortentwickelnden Arbeitsständen umfasst (siehe oben), soll an dieser Stelle zunächst eine etwas detailliertere Betrachtung der Aufgabenstellung erfolgen. Wenn die Fragestellungen explizit auf den Weg Bezug nehmen, auf dem die BGE zum gegenwärtigen Arbeitsstand gelangt ist, wird die Frage der Nachvollziehbarkeit des Prozesses immer wieder zu stellen sein.

Die hier vorliegende Stellungnahme bezieht sich in ihren Aussagen zu den fünf Themen ausschließlich auf das Kristallin als Wirtsgestein, auch wenn einzelne Sachverhalte bei der Betrachtung der anderen Wirtsgesteinstypen sehr ähnliche oder sogar identische Relevanz besitzen.

Das erste Thema betrifft die Festlegung der Untersuchungsräume durch die BGE, beziehungsweise die Aufteilung der Teilgebiete in verschiedene Untersuchungsräume: Anhand welcher Kriterien und Überlegungen ist die BGE zu diesen Definitionen und Aufteilungen gekommen?

Die wichtigsten Fragen in diesem Zusammenhang sind:

- Erfolgte die Aufteilung zum Beispiel nach Gesteinstypen oder struktureologischen Kriterien? Hierbei liegt das Hauptaugenmerk auf der Frage, ob Mindestanforderungen erfüllt sind oder nicht.
- Ist das gewählte Vorgehen nachvollziehbar und zielführend?
- Wie gewährleistet die BGE einen transparent nachvollziehbaren Vergleich der Untersuchungsräume in verschiedenen Wirtsgesteinen?

Das zweite Thema behandelt Geologische Aspekte der Methodik der rvSU und das Vorgehen der BGE bei der Methodenentwicklung. Konkret:

- Wie wird gegebenenfalls die Verwendung von Referenzprofilen und Referenzdaten aus angrenzenden UR durchgeführt und begründet? Wird damit eine Regelung für Gebiete mit geringer/keiner Datendichte etabliert bzw. kann es sein, dass es am Ende UR gibt, die nur mit Referenzdaten beschrieben werden?
- Wird auf Analogstudien zurückgegriffen und wenn ja, in welchem Umfang?
- Wo liegen Unsicherheiten bei der Methodenentwicklung und wie geht die BGE im weiteren Verfahren damit um?
- Wie ist die Interaktion der einzelnen Module der rvSU und welche Auswirkungen ergeben sich dadurch bei der Methodenentwicklung? Sind Rücksprünge möglich?
- Wie plant die BGE die Umsetzung der rvSU nach Abschluss der Methodenentwicklung?
- Wird dies vollständig in Eigenleistung oder durch externe Dienstleister erbracht?

Drittens geht es um den Zusammenhang von Geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK) und der rvSU. Bei der Methodenentwicklung für die rvSU gibt es Schnittmengen mit und Abhängigkeiten von den geoWK. So wird zum Beispiel bei den rvSU die Relevanz der geoWK für jeden Untersuchungsraum festgelegt. Die wichtigen Fragen bei diesem Thema sind:

- Wie stellt die BGE die Transparenz und Nachvollziehbarkeit dieses Prozesses sicher, so dass nicht der Eindruck entstehen kann, die Relevanz von geoWK würde am Ende subjektiv festgelegt?
- Wie vereinbart die BGE somit eine aus geowissenschaftlicher Sicht erforderliche Gesamtbetrachtung mit dem im StandAG und den Sicherheitsverordnungen vorgeschriebenem schrittweisen Vorgehen?
- Haben die Ergebnisse der rvSU Rückkoppelungen auf die Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen? Wenn ja, wie sollen diese umgesetzt werden?

Viertens sollen Anteil und Rolle von Referenzdaten bei der Erstellung der Geosynthesen der Untersuchungsräume einer Erörterung unterzogen werden. Die Betonung liegt auf den folgenden Fragen.

- Ist absehbar, wie groß der Anteil von Referenzdaten bei den Geosynthesen sein wird?
- Wie ist die Aussage der BGE zu verstehen, man wolle die Referenzdaten von „bestmöglich“ zu „realistischer Einschätzung“ hin weiterentwickeln? Wie erfolgt diese Weiterentwicklung?

- Hat die BGE alle Daten vorliegen um die Methodik zu entwickeln?

Schließlich soll in der hier vorliegenden Stellungnahme ein Bericht vorgelegt werden zur Begleitung und Bewertung der öffentlichen Vorstellung der Gesamtmethodik ("Betrifft: Standortauswahl" zur Methodenentwicklung) am 29. März 2022, 18:00 - 20:00 Uhr, der öffentlichen Vorstellung der Methodenentwicklung für das Wirtsgestein Kristallin (Saxothuringikum) am 31. März 2022, 18:00 -20:00 Uhr, der anschließenden Online-Konsultation der BGE zur Methodenentwicklung der rvSU, sowie der Diskussion der auf den Tagen der Standortauswahl (8. bis 10. Juni 2022) vorgestellten Arbeitsstände und Ergebnisse. Insbesondere wird eine Einschätzung gegeben, ob das zur Diskussion gestellte den internen Ergebnissen der BGE (Stand März 2022) entspricht, und wie die Ergebnisse der öffentlichen Konsultationen auf die Arbeit der BGE rückwirken könnte.

4. Kriterien bei der Auswahl des Teilgebiets zur Methodenentwicklung

Das Teilgebiet „Saxothuringikum“ (009_00TG_194_00IG_K_g_SO) hat mit 32655 km² eine sehr große Ausdehnung und umfasst Teile der Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Bayern und Baden-Württemberg. Namensgebend ist die Saxothuringische Zone im Sinne von Kossmat (1927). Sie bildet eine der großen Baueinheiten des Variszischen Gebirges in Europa (z.B. Franke et al., 1993; Martinez Catalan et al., 2020). Die Gesteinsausbildung ist äußerst vielgestaltig und reicht von nicht metamorphen Sedimenten des Erdaltertums über metamorphe Schiefer und Gneise aller Umwandlungsstadien bis hin zu Magmatiten, vor allem Graniten und Granodioriten, aber auch oberflächennah intrudierten Gesteinen und Subvulkaniten.

Diese große Diversität und die augenfälligen, regionalen Unterschiede in der geologischen Entwicklung im Teilgebiet machen es vor allem für die Erprobung der Einteilung in Untersuchungsräume und Teiluntersuchungsräume nach petrographischen, strukturgeologischen und tektonischen Kriterien geeignet (siehe Abb. 87- 89 in BGE 2022b). Die kristallinen Wirtsgesteine sind von mehreren Gebirgsbildungen mit Deformation und Gesteinsumwandlung bei hohen Drucken und Temperaturen geprägt, nämlich vor etwa 580 bis 540 Millionen Jahren, vor 485 bis 460 Millionen Jahren und dann erneut vor 340 bis 280 Millionen Jahren (z.B. Kroner et al., 2007). Meist granitischer Magmatismus begleitete und folgte auf alle diese Gebirgsbildungen. Gegen Ende der Geschichte dieser Gebirgsbildungen kam es örtlich zur Ausbildung von Scherzonen (z.B. Berger et al., 2011, Hofmann et al.,

2009). Diese machen regionale und lokale Unterschiede für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK) wahrscheinlich.

Diese Scherzonen wurden teils in der Kreidezeit und der Tertiärzeit reaktiviert. Teils kam es aber auch zu großmaßstäblichen Bewegungen an neu gebildeten Verwerfungen, zum Beispiel im Bereich der Fränkischen Linie in Nordostbayern (z.B. Bayerisches Geologisches Landesamt 1996a, 1996b; Schaarschmidt et. al., 2016). Reaktivierte und neugebildete Störungen komplizieren das geologische Bild erheblich und haben – weil sie Zonen erhöhter Durchlässigkeit für Fluide darstellen können, ebenfalls Auswirkungen auf die Anwendung der geoWK.

Die ursprüngliche Definition des Teilgebietes aufgrund tektonostratigraphischer Kriterien (BGE 2020a) hat ergeben, dass ein großer Teil des Teilgebiets bis wenigstens 1300 Meter Tiefe von Gesteinen charakterisiert ist, die der im vergangenen Jahr gegebenen Definition „Kristallines Wirtsgestein“ im Sinne der BGE (2021e) nicht entsprechen. Die Eignung der im Teilgebiet in den durch den Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020a) beschriebenen Tiefenlagen unter Grund ist im Verlauf der weiteren Bearbeitung noch einmal genau zu überprüfen, da es vor allem im westlichen Vorland der Fränkischen Linie bis hinein nach Unterfranken geeignete Wirtsgesteine sehr großflächig in Tiefenlagen unter Grund von weniger als 1300 m nicht vorkommen (siehe De Wall et al., 2019; Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2020. Hier besteht im Prozess der Anwendung der Arbeitsschritte der rvSU (BGE 2022a, Abb. 2) die Gelegenheit, diese von der Gesteinsausbildung her ungeeigneten Bereiche mit einer Bewertung in Kategorie D zu versehen und damit nach Prüfung im Lichte der vorhandenen und verfügbaren Daten von der weiteren Bearbeitung auszuschließen.

In der Methodenbeschreibung zur Durchführung der rvSU (BGE 2022b) ist weiterhin dokumentiert, wie Erkenntnisfortschritte den Zuschnitt eines Teilgebietes verändern können. Die erneute Anwendung des Ausschlusskriteriums „Vulkanische Aktivität“ am Beispiel der Region Vogtland-Oberpfalz auf der Basis der Ergebnisse einer neuen Studie (Schreiber & Jentzsch, 2021) führte zu einer Ausweitung der betroffenen Fläche (BGE 2022b, Abb. 84, p. 290 ff.) auf einen Sicherheitsaum von 25 km um vulkanische Eruptionszentren, da eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit vulkanischer Aktivität vor allem im Bereich vier bekannter Maare für die nächste eine Million Jahre angenommen wird.

Wie bereits früher vom Verfasser an anderer Stelle dargestellt (Behrmann, 2021) ist die Dichte verfügbarer Daten aus dem Bergbau, aus Rohstofferkundungen, aber auch aus Bohrungen in einigen Bereichen sehr hoch, während in anderen Bereichen nur wenige Daten

vorliegen. Bei der Dichte der Bohrungen, deren veröffentlichte und unveröffentlichte Daten im Datenraum der BGE vorhanden sind, wird zum Beispiel eine erhebliche Heterogenität offenbar. Die tatsächliche Zugänglichkeit dieser Daten, bzw. das Vorhandensein im Datenraum der BGE wird an anderer Stelle erörtert (siehe unten). Die Dokumentation der geologischen Oberflächenbefunde in den amtlichen und frei verfügbaren Geologischen Karten ist im gesamten Teilgebiet etwa gleich gut einzuschätzen. Die Verfügbarkeit von Bohrungsdaten ist im Kristallin für die Geosynthesen von entscheidender Wichtigkeit, denn sie sind häufig das einzige verfügbare Mittel, den geologischen Oberflächenbefund in die Tiefe zu extrapolieren (z.B. BGE 2022b, Abb. 67; Abb. 150). Bohrungen mit einer Bohrstrecke von wenigstens 1000 m werden vom Verfasser als besonders relevant angesehen, da zur Herstellung von Geosynthesen räumliche Rekonstruktionen des Untergrundes von mehrfacher Größe einschlusswirksamer Gebirgsbereiche notwendig sind. Ein Gleiches gilt für die vorhandenen bzw. in entsprechenden Abfragen angeforderten geophysikalischen Daten. Daten aus geomagnetischen und gravimetrischen Vermessungskampagnen sind für einzelne Ausschnitte des Teilgebiets vorhanden oder angefordert, erlauben aber in aller Regel nur Interpretationen des Aufbaus des Untergrundes mit relativ geringer Auflösung. Interpretationen reflexionsseismischer Daten sind öffentlich zugänglich (z.B. Meissner & Bortfeld, 1990; DEKORP Research Group B, 1994). Da die tiefreichende Reflexionsseismik nur in wenigen Profillinien gemessen wurde, ergibt sich allerdings auch hier ein Bild sehr heterogener Datenverfügbarkeit.

5. Festlegung der Untersuchungsräume (UR) durch die BGE

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Festlegung der Untersuchungsräume durch die BGE, beziehungsweise die Aufteilung der Teilgebiete in verschiedene Untersuchungsräume. Zwar kann ein ganzes Teilgebiet ein Untersuchungsraum sein. Dies ist jedoch ein praktikables Vorgehen nur bei kleinen, räumlich begrenzten, und strukturell sowie von der stofflichen Zusammensetzung her annähernd homogenen Teilgebieten, wie zum Beispiel Steinsalz in steiler Lagerung. Das Teilgebiet „Saxothuringikum“ ist demgegenüber von der räumlichen Ausdehnung her sehr groß, enthält eine große Spannbreite verschiedener Gesteine, zeigt große räumliche Unterschiede im Grad der tektonischen Überprägung und sollte nach der Meinung des Verfassers in mehrere Untersuchungsräume aufgeteilt werden, wenn dies nach den gesetzlichen Grundlagen zur Standortauswahl zulässig ist.

Das veröffentlichte Konzept zur Durchführung der rvSU gemäß der Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndlSiUntv) erklärt die Prinzipien bei der Ausweisung von

Untersuchungsräumen (BGE 2022a, p. 31f). Untersuchungsräume bezeichnen „diejenigen räumlichen Bereiche, die zur Bewertung als möglicher Endlagerstandort vorgesehen sind“ (§ 3 Abs. 1 EndlSiUntV) und stellen die Grundlage der weiteren Arbeitsschritte der rvSU dar. Nach § 3 EndlSiUntV muss in jedem nach § 13 StandAG ermittelten Teilgebiet mindestens ein Untersuchungsraum ausgewiesen werden. Die Untersuchungsräume zusammen müssen alle Teilgebiete räumlich vollständig abdecken. Gemäß § 3 EndlSiUntV ist pro Untersuchungsraum nur eine rvSU durchzuführen und ein vorläufiges Sicherheitskonzept zu beschreiben. In einem Flussdiagramm (BGE 2022b, Abb.8) ist die Ausweisung von Untersuchungsräumen im Gesamtkontext der rvSU dargestellt.

Für kristallines Wirtsgestein (sowie das Wirtsgestein Tongestein und Steinsalz in stratiformer Lagerung) werden die ausgewiesenen Untersuchungsräume anschließend weiter in sogenannte Teiluntersuchungsräume untergliedert, die dann im Zuge der Durchführung der rvSU nach den Vorgaben der EndlSiUntV separat analysiert werden (BGE 2022b, Abb. 8).

Teiluntersuchungsräume werden dadurch begründet, dass die im Rahmen der rvSU getroffenen Bewertungen besser nachvollziehbar sind, wenn sie sich auf Gebiete mit möglichst einheitlichen geowissenschaftlichen Charakteristika beziehen. Für kristalline Wirtsgesteine bedeutet dies, dass Teiluntersuchungsräume vor allem durch mehr oder weniger einheitliche Lithologie und Petrographie, durch gleiche oder ähnliche geologische Entwicklung und durch ähnlichen Gebirgsbau und tektonische Überprägung charakterisiert werden können. Der Vorteil ist, dass die für die Geosynthese verfügbare Datengrundlage kleinräumig zugeordnet und daraus abgeleitete Bewertungen nachvollziehbar werden (BGE 2022b, p. 294).

Zumindest im Falle der drei großen und in ihrem geologischen Aufbau sehr heterogenen Teilgebiete Saxothuringikum, Moldanubikum und Mitteldeutsche Kristallinzone wird eine Bewertung und die Übertragbarkeit von Informationen im Rahmen der rvSU durch die Einteilung in Teiluntersuchungsräume überhaupt erst praktikabel. Beispiele hierfür finden sich in der Methodenbeschreibung zur Durchführung der rvSU (BGE 2022b, pp. 302 ff.)

Das Verfahren im kristallinen Wirtsgestein komplizierend müssen bei mehreren vorläufigen Sicherheitskonzepten (vgl. § 6 EndlSiUntV) je ein Untersuchungsraum ausgewiesen werden, wobei für jeden Untersuchungsraum jeweils nur eine rvSU durchzuführen ist. Nach Aussage der BGE (BGE 2022b, p. 87) würde die Notwendigkeit zur Ausweisung weiterer Untersuchungsräume, die ein Sicherheitskonzept zu Grunde legen, bei dem der sichere Einschluss wesentlich durch geotechnische und technische Barrieren gewährleistet wird (vgl.

§ 4 Abs. 3 Nr. 2 EndlSiAnfV), im Rahmen der rvSU geprüft. Beim gegenwärtigen Arbeitsstand läuft dies wohl auf ein Verfahren hinaus, in dem die rvSU je nach Sicherheitskonzept parallel oder konsekutiv durchgeführt wird.

Anhand welcher Kriterien und Überlegungen ist die BGE nun zu diesen Definitionen und Aufteilungen gekommen?

Beim Besuch des Verfassers zum Studium nicht veröffentlichter und frei zugänglicher Daten im Datenraum der BGE in Peine im November 2021 konnte ein Einblick in einen frühen Arbeitsstand genommen werden. Die Vorstellung war, dass die Unterteilung in Teiluntersuchungsräume innerhalb großer Untersuchungsräume aus mehreren Etappen bestehen könnte. In einer ersten Etappe ist eine unmittelbare Eingrenzung anhand methodischer Weiterentwicklungen möglich. Beim gegenwärtigen Stand des Verfahrens kann dies durch eine Erhöhung des Detaillierungsgrades in der Bearbeitungsmethode bei den Mindestanforderungen geschehen. Weiterhin können die Gebiete beschrieben werden, die tektonisch stark gestört sind und deswegen als Endlagerstandort ungeeignet sind. Für eine zweite Etappe wurde vorgeschlagen, Eingrenzungen anhand sicherheitsgerichteter Vergleiche vorzunehmen. Dabei kommt es zur Aufteilung von Untersuchungsräumen in mehrere Vergleichsräume (die Teiluntersuchungsräume) und der vergleichenden Bewertung anhand transparenter Kriterienkataloge und Bewertungssysteme, die während der Methodenentwicklung mitentwickelt werden müssen. Das Ergebnis kann die Identifikation vielversprechender Gebiete innerhalb eines Untersuchungsraums sein. Diese werden dann als Teiluntersuchungsräume bei rvSU detaillierter betrachtet und bewertet. Die Teiluntersuchungsräume erfahren dann eine weitere Erhöhung des Detaillierungsgrades bei der geowissenschaftlichen Beschreibung und damit eine detailliert ausgearbeitete Grundlage für die Bewertung in den viel später im Arbeitsprozess der Methodenentwicklung geschaffenen Kategorien A bis D (BGE 2022a, Abb. 2).

In aller Kürze zusammengefasst sind die Kriterien für die Definition von Untersuchungsräumen und Teiluntersuchungsräumen erstens der Gesteinstyp, zweitens der Grad der geologischen Komplexität und drittens Art und Ausmaß der tektonischen Überprägung, beziehungsweise Unterschiede in diesen Kriterien.

Hinsichtlich der in der Aufgabenstellung (siehe oben) aufgeworfenen Frage, ob **die Aufteilung zum Beispiel nach Gesteinstypen oder strukturgeologischen Kriterien erfolgte**, lässt sich Folgendes feststellen. Das primäre Kriterium für die Aufteilung sind zunächst Gesteinstypen, oder Verbände von Gesteinstypen mit jeweils ähnlichen

Zusammensetzungen und ähnlicher geologischer Entwicklung. Dies ist gut nachzuvollziehen an einem Beispiel aus dem östlichen Teil des GzM Saxothuringikum (BGE 2022b, pp. 320 ff.) in dem mit Daten aus Geologischen Karten, Bohrungen und geophysikalischen Vermessungen im Teiluntersuchungsraum 04-11UR Gesteine mit durchaus erheblicher Variationsbreite zu einem Ganzen zusammengefasst werden, unter anderem weil die Mehrheit dieser Gesteinstypen voraussichtlich teilweise oder ganz Mindestanforderungen erfüllen. Diese Demonstration an einem Beispiel komplexer Geologie zeigt im Prinzip, **dass das gewählte Vorgehen nachvollziehbar und zielführend sein kann**. In vielen weiteren Bereichen des GzM Saxothuringikum ist die Geologie weniger komplex, was bedeutet, dass bei der Durchführung der rvSU in anderen Untersuchungsräumen Nachvollziehbarkeit und Durchführbarkeit generell gegeben sein können.

Schließlich wurde vom Auftraggeber die Frage gestellt, wie die BGE einen **transparent nachvollziehbaren Vergleich der UR in verschiedenen Wirtsgesteinen** gewährleistet. Diese Frage überschreitet die Grenze der isolierten Betrachtung eines Wirtsgesteins, hier des kristallinen Wirtsgesteins. Zunächst ist festzuhalten, dass die vier Wirtsgesteine hinsichtlich der Anwendung der rvSU *a priori* Unterschiede erfahren (BGE 2022b, p.87 ff.), insbesondere im Fall des Steinsalzes in steiler Lagerung. Auch beim kristallinen Wirtsgestein gibt es Abweichungen, da nur dort die rvSU die Betrachtung von zwei Endlagertypen vorsieht, nämlich den mit einschlusswirksamem Gebirgsbereich und dem ohne einen solchen (BGE 2022a, p.29 f.). Angesichts dieser Lage wäre nach der Meinung des Verfassers ein „konkurrierender“ Vergleich zwischen UR verschiedener Wirtsgesteinstypen beim gegenwärtigen Stand des Endlagersuchverfahrens aus wissenschaftlicher Sicht unredlich und unehrlich. Ein denkbare Szenario wäre dagegen, dass es nach der Ausweisung von Standortregionen in allen vier Wirtsgesteinstypen im Rahmen der übertägigen und untertägigen Erkundung zu Vergleichen bei der Betrachtung der geoWK kommt.

Der Verfasser rät dazu, das dokumentierte und an Beispielen erklärte Vorgehen (BGE 2022a, BGE 2022b) bei der Behandlung und fortschreitender Detaillierung großer Untersuchungsräume im GzM Saxothuringikum bis zum Ende des Prozesses der Methodenentwicklung umfassend zu erproben und anzuwenden. Erprobung und ihre offen zugängliche Dokumentation der Resultate sichern die Nachvollziehbarkeit des Vorgehens und helfen, das Vertrauen der Zivilgesellschaft in den Prozess der Endlagersuche zu stärken. Der Verfahrensgerechtigkeit wäre Genüge getan und die Praktikabilität der Standortsuche wäre durch diese exemplarische Anwendung in allen Teilgebieten im Kristallin sichergestellt. Im nächsten Schritt ist die Ausdehnung der rvSU auf die weiteren, großen

Teilgebiete im Kristallin (Moldanubikum 013_00TG_195_00IG_K_g_MO, Mitteldeutsche Kristallinzone 010_00TG_193_001G_K_g_MKZ) von großer Bedeutung, da vor allem dort in großer Verbreitung weitere geeignete Wirtsgesteine, nämlich Granite und hochgradig metamorphe Gneise vorkommen. Es wird aber wegen der geologischen Komplexität nach Einschätzung des Verfassers voraussehbar eine sehr hohe Anzahl von Untersuchungsräumen und Teiluntersuchungsräumen geben, deren Zahl dann im Prozess der rvSU mit der Anwendung der geoWK fortschreitend eingengt werden wird. Die weiteren vier Teilgebiete im Kristallin (BGE 2020a) haben sämtlich sehr viel kleinere Ausdehnungen, sind geologisch weniger komplex, besitzen weniger oder keine geeigneten Wirtsgesteine und/oder sind stark tektonisch überprägt (siehe Behrmann, 2021). Die Anwendung der rvSU in diesen Teilgebieten wird absehbar mit weniger Untersuchungsräumen und Teiluntersuchungsräumen auskommen und ein gut erprobtes Verfahren wird Fehleinschätzungen und die Notwendigkeit von Rücksprüngen minimieren.

6. Geologische Aspekte der Methodik der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU)

Der zentrale geologische Aspekt der Methodik der rvSU ist die Erarbeitung einer Geosynthese gemäß §5 der Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndlSiUntV) für jeden Untersuchungsraum (BGE 2022b, p. 225 ff.). Geosynthesen sind damit zentrale Elemente des **Vorgehens bei der Methodenentwicklung**. In § 5 Abs. 2 EndlSiUntV heißt es unter anderem: „Ziel der Geosynthese ist eine konsistente Darstellung insbesondere der für die Sicherheit des Endlagers relevanten geowissenschaftlichen Gegebenheiten. Der Umfang der dokumentierten geowissenschaftlichen Informationen muss das für die jeweilige vorläufige Sicherheitsuntersuchung erforderliche Maß abdecken“. Gleichmaßen kann eine Geosynthese auch als Grundlage für die Identifikation vielversprechender Gebiete innerhalb großer Teilgebiete dienen. Die Methoden zur Bewertung von Untersuchungsräumen und Teiluntersuchungsräumen müssen im Rahmen der Anwendung der GeoWK, (siehe BGE 2020c) vergleichbar sein, also zum Beispiel die Bewertung auf der Grundlage von Gesteinszusammensetzung, Gesteinseigenschaften, Massen- und Stoffausträgen und der langfristigen Stabilität geologischer Verhältnisse etc. zulassen.

Da der gegenwärtige, zweite Schritt in der ersten Phase der Standortsuche aufgrund der Gesetzeslage ohne die Gewinnung von neuen Daten auskommen muss, ergibt sich daraus für die Methodenentwicklung und die darauf folgende Durchführung der rvSU in den sieben Teilgebieten im Kristallin die Lage, dass auf eine oft sehr begrenzte Menge von nutzbaren

Daten zurückgegriffen werden muss. Diese sind in absteigender Bedeutung und Verfügbarkeit:

- Das amtliche geologische Kartenwerk, das frei zugänglich ist. Geologische Karten sind Darstellungen des Befundes der geologischen Landesaufnahme an der Erdoberfläche und damit hoch aggregierte Bewertungsdaten, die immer auch ein Element der Interpretation enthalten und nicht frei von möglichen Irrtümern sind.
- Synthetische Bohrsäulenprofile im Kristallin, basierend auf den Schichtenverzeichnissen aller bekannten und verfügbaren Bohrungen. Schichtenverzeichnisse sind ebenfalls Interpretationen und basieren auf der Analyse und Beschreibung von Bohrklein bei Vollbohrungen und - in seltenen Fällen - auf der von Bohrkernen. Für das GzM Saxothuringikum befinden sich nach dem Augenschein des Verfassers die große Mehrheit der Schichtenverzeichnisse mittlerweile in der Datenbank der BGE. Was jedoch verbreitet noch fehlt sind die kompletten Bohrakten selbst, die bei den Geologischen Landesdiensten aufbewahrt werden und bisher sehr weitgehend nicht digitalisiert worden sind. Komplette Bohrakten sind für die BGE einerseits von kritischer Wichtigkeit, wenn bei den interpretativen Schichtenverzeichnissen Fehlersuche betrieben werden soll, und wenn zum Beispiel alte, analog aufgezeichnete Bohrlochdaten graphisch digitalisiert werden sollen. Andererseits ist das Aussagepotenzial von Bohrakten nötig, wenn zum Beispiel aus diesen Gesteinseigenschaften, die den geoWK zugrunde liegen, abgeleitet werden sollen. Die BGE hat die Bohrakten bei den geologischen Landesdiensten seit bis zu vier Jahren angefordert, mit einem durchaus verbesserungsfähigen Rücklauf. Um zusätzliches Tempo in den schleppenden Ablauf zu bringen, werden zum Beispiel im Rahmen eines gemeinsam angestoßenen Projekts zwischen BGE und dem niedersächsischen LBEG alle vorhandenen Bohrakten von externen Dienstleistern digitalisiert. Dies betrifft vor allem auch Bohrungen aus der Exploration von Kohlenwasserstoffen, wobei dieser Teil der Datenbasis mehr oder weniger die gesamte Bundesrepublik Deutschland umfasst. Aus Bayern gibt es offensichtlich eine Zusage der Ablieferung der Bohrakten, ebenso aus Sachsen und Thüringen, wo es vor allem um die Bohrakten der AG Wismut geht. Es sind das GzM Saxothuringikum betreffend aber auch Negativbeispiele vorhanden, bei denen auch nach längerer Zeit nicht klar ist, auf welchem Wege die Verpflichtung zur Bereitstellung der Akten erfüllt werden soll. Es muss hier offenbleiben, ob dies aus Mangel an Willen, Fähigkeit oder personellen Ressourcen so ist. Eine Abhilfe wird hier dringend empfohlen, da die

Qualität von Geosynthesen und - darauf aufbauend - des gesamten rvSU-Prozesses davon abhängt.

- Geophysikalische Daten aus Vermessungskampagnen sind im Kristallin nur örtlich vorhanden, jedoch in aller Regel frei zugänglich. Dies betrifft seismische Daten, die größtenteils prozessiert, interpretiert und publiziert sind (z.B. Meissner & Bortfeld, 1990; DEKORP Research Group B, 1994, Geissler et al., 2005, Fazlikhani et al., 2022), aber auch gravimetrische und geomagnetische Daten (e.g. Conrad, 1996, Skiba et al., 2010, Gabriel et al., 2011). Reflexionsseismische Daten aus dem GzM Saxothuringikum sind bei der BGE teils vorhanden und teils angefordert. Daten zur Magnetik und Schweredaten sind teils vorhanden. Die Datenquelle ist hier vor allem das Leibniz-Institut für Angewandte Geowissenschaften (LIAG) in Hannover. Große Datenabfragen laufen nach mündlicher Auskunft der BGE derzeit an die Adressen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt und des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Datenabfragen an das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie sind noch nicht angestoßen worden.

Aus der obenstehenden Aufstellung geht nach der Einschätzung des Verfassers hervor, dass im Vergleich mit der Datenlage für die Charakterisierung der Geologie des Untergrundes anderer Wirtsgesteine die Teilgebiete im kristallinen Wirtsgestein geringe Datendichten besitzen, und dass die Integration von Oberflächenbefunden, Bohrungsdaten und den Ergebnissen geophysikalischer Vermessung nicht weit fortgeschritten ist. Flächendeckende 3D-Modelle sind kaum vorhanden. Wo die Datenintegration fortgeschritten ist, wie zum Beispiel in Projekten zur Exploration von Gebieten zur Nutzung geothermischer Energie (z.B. Berger et al., 2011, De Wall et al., 2019, Schaarschmidt et al., 2016), sind die 3D-Modelle auf den Explorationszweck zugeschnitten und für die Endlagersuche nicht ohne eventuelle Überarbeitung nutzbar. Gleichwohl zeigt die Methodenbeschreibung zur Durchführung der rvSU Beispiele (BGE 2022b), anhand derer das bisher Geleistete bewertet werden kann und die zukünftig anzuwendende Methodik sichtbar wird (siehe unten).

Eine Bemerkung ist nötig für die Integration der Ergebnisse reflexionsseismischer Daten in die Rekonstruktionen des geologischen Baus der Teilgebiete im kristallinen Wirtsgestein. Die Vermessungen zum Beispiel wie DEKORP (DEKORP Research Group, 1994) hatten das Ziel großer Eindringtiefe und der Abbildung von großen seismischen Diskontinuitäten (z.B. Mohorovicic-Diskontinuität) und Reflektoren von übergeordneter Wichtigkeit bis in die untere Erdkruste und darunter. Für den Tiefenbereich bis maximal 1500 Metern unter Grund (das entspricht den oberen fünf Prozent der Erdkruste), der für die Endlagersuche relevant ist,

reicht die Auflösung in der Regel nicht aus, um einzelne Schichten und lithologische Grenzflächen mit der nötigen Auflösung abzubilden (z.B. Fazlikhani et al., 2022). Soll das Potenzial reflexionsseismischer Daten voll genutzt werden, müsste auch Reprozessierung von Datensätzen ins Auge gefasst werden. Generell aber kann die üblicherweise genutzte Steilwinkel-Reflexionsseismik steilstehende Strukturen nicht gut abbilden, so dass zum Beispiel die Fortsetzung der Kontakte von Plutonen und ihrer Rahmengesteine nach der Tiefe nicht erkannt werden kann. Gleiches gilt für steilstehende tektonische Verwerfungen, es sei denn sie versetzen subhorizontale Reflektoren. Diese Beschränkungen führen zurück zur großen Wichtigkeit der geologischen Kartierbefunde und der Bohrungen, die im Kristallin das elementare „ground truthing“ einer geologischen Tiefeninterpretation darstellen.

Dass ein solches Verfahren im Prinzip gelingen kann, zeigen drei Beispiele in der vorgelegten Methodenbeschreibung zur Durchführung der rvSU (BGE 2022b). Das Beispiel für vereinfachte Tiefeninterpretation im Bereich Lausitz/Südliche Elbtalzone (BGE 2022, pp. 277-278) zeigt, dass es möglich ist, in einem ersten Prüfschritt Bereiche gegeneinander abzugrenzen, in denen geeignete Wirtsgesteine in der Tiefe anzutreffen sind von Bereichen, wo dies nicht der Fall ist. Dies ist ein Verfahren mit niedriger Auflösung, das aber auf den ersten Prüfschritt bei der Bewertung von Untersuchungsräumen und Teiluntersuchungsräumen durchaus angewendet werden kann. Der Teiluntersuchungsraum 04_11UR kann als Beispiel für Datenintegration als Grundlage der räumlichen Konfiguration der Gesteinskörper im Untergrund dienen (BGE 2022, pp. 320-323). Hier wurden Bohrprofile und synthetische Profile verwendet, um ein strukturgeologisches Modell zu erzeugen, das das Vorhandensein von Gesteinen mit günstigen Eigenschaften im Untergrund zeigt. Das dritte Beispiel ist eines für kontaktmetamorphe Gesteine als Gebiet ohne hinreichende Information (BGE 2022, pp. 244-249), wo auch der Einsatz geophysikalischer Daten nicht wirklich weiterhilft. Die Auswertung geomagnetischer und Schweredaten für den Bereich der Lausitzer Grauwackeneinheit und eventuell diese unterlagernde plutonische Körper lässt einige Mehrdeutigkeiten zu im Hinblick auf potenziell vorliegende, geeignete Wirtsgesteine unter kontaktmetamorphen Gesteine der Grauwackeneinheit.

Insgesamt lässt sich aus den oben beschriebenen Beispielen folgern, dass der Gebrauch von geologischen Schnitten im Kristallin für die ersten Prüfschritte in Untersuchungsräumen voraussichtlich sehr wichtig sein wird. Diese können aus 2,5-dimensionalen Modellen aus Geologischer Karte und Bohrungen generiert werden. Als Grundlage können aber auch Strukturmodelle dienen, die zum Beispiel mit Modellierungssoftware wie Leapfrog Geo aus Oberflächen- und Bohrungsdaten generiert werden. (<https://www.seequent.com/products->

solutions/leapfrog-geo/). Voraussetzung für die Aussagekraft solcher Modelle ist aber in jedem Fall ausreichende Datendichte.

Die vom Auftraggeber gestellte Frage, wie gegebenenfalls die **Verwendung von Referenzprofilen und Referenzdaten aus angrenzenden Untersuchungsräumen beziehungsweise Teiluntersuchungsräumen** durchgeführt und begründet wird, ist aus der vorgelegten Dokumentation (BGE 2022b) zumindest vorläufig zu beantworten.

Teiluntersuchungsräume stellen geographisch zusammenhängende Gebiete dar, prägende geologische Strukturen oder lithologische Kontakte können sie begrenzen und es muss ein Bezug zu einem einzelnen Wirtsgestein mit Barrierefunktion vorhanden sein (siehe auch BGE 2022b, p. 295).

In den kristallinen Wirtsgesteinen des östlichen Teils des GzM Saxothuringikum sind diese Kriterien bei der Aufteilung in Teiluntersuchungsräume durchwegs angewendet worden (siehe BGE 2022b, pp. 302-306, besonders Tabelle 34). Diese nachvollziehbaren Abgrenzungen begründen, dass **Befunde und Bewertungen aus Referenzprofilen in Teiluntersuchungsräumen nicht über diese hinaus extrapoliert werden können** oder sollen. Es kann damit folglich auch keine darauf basierende **Regelung betreffend Gebiete mit geringer oder keiner Datendichte** etabliert werden. Jede Übertragung von Referenzprofilen über Grenzen in oder zwischen Untersuchungsräumen wäre zumindest zweifelhaft. Dies ist eine gegenüber dem Verfasser dieser Stellungnahme mündlich gemachte Aussage aus der BGE. Darüber hinaus bedeutet das generelle Vorhandensein einer Geologischen Karte, dass es keine Untersuchungsräume oder Teiluntersuchungsräume geben kann, **die ausschließlich mit Referenzdaten** beschrieben oder bewertet werden.

Es wurde die Frage aufgeworfen, **ob es bei der Anwendung der rvSU Rückgriffe auf Analogstudien gibt, und wenn ja, in welchem Umfang dies geschieht**. Zunächst ist zu bemerken, dass der Begriff „Analogstudie“ in beiden am 28.3.2022 vorgelegten Dokumenten (BGE 2022a, BGE 2022b) und auch in der Vorabversion kein einziges Mal genannt worden ist. Man könnte daraus schließen, dass nicht beabsichtigt ist entsprechenden Empfehlungen zu folgen, die auch in einschlägigen Gutachten bisher abgegeben worden sind. Sogenannte Aufschluss-Analogstudien sind Studien in vergleichbaren Gesteinen, Gesteinsabfolgen oder auch in Gebieten vergleichbarer tektonischer Überprägung, die in an der Oberfläche oder in Bergwerken unter Tage anstehen und deswegen in zwei oder drei Dimensionen gut oder sogar komplett charakterisiert werden können. Die physikalischen und chemischen Gesteinseigenschaften, Strukturen und Gefüge in Analogstudien (siehe Beispiel in Follin et

al., 2011) können wertvolle Grundlagen liefern für die Bewertung von Untersuchungsräumen und Teiluntersuchungsräumen in kristallinen Wirtsgesteinen, die in Deutschland in der Regel an der Erdoberfläche schlecht aufgeschlossen sind.

Die Verwendung von Referenzdaten bzw. Analogstudien kann im Prozess der Anwendung der rvSU aufgrund der Gesetzes- und Verordnungslage erzwungen werden, wenn z.B. Bohrungsdaten in einem Untersuchungsraum oder Teiluntersuchungsraum nicht vorliegen. Die Methoden zur Bewertung müssen aber im Rahmen der Anwendung der GeoWK (siehe BGE 2020c) vergleichbar sein. Sie sollten also zum Beispiel die Bewertung auf der Basis von Gesteinszusammensetzung, Gesteinseigenschaften, Massen- und Stoffausträgen, der langfristigen Stabilität geologischer Verhältnisse etc. zulassen. Teiluntersuchungsräume werden dabei als räumlicher Bezug für die Übertragbarkeit von Informationen und Parametern mit Hilfe von Analogieschlüssen angesehen (BGE 2022b, p. 293). Dies ist ein relevantes Vorgehen besonders für große Untersuchungsräume unter Beachtung von § 5 Abs. 3 EndlSiUntV, wo es heißt: *„Informationen, die außerhalb des Untersuchungsraumes gewonnen wurden, sind zu kennzeichnen. Ihre Übertragbarkeit auf den Untersuchungsraum und die Notwendigkeit der Übertragung sind zu begründen.“*

Das eigentliche Potenzial für Analogstudien wird bei der Durchführung der rvSU dann zum Tragen kommen, wenn FEP- Kataloge (Features, Events, Processes) abzuarbeiten sind (z.B. Posiva OY, 2012). Besonders wichtig ist dies erstens bei Aussagen zur Gebirgsdurchlässigkeit. Hier gibt es zum Beispiel für das Kristallin Ergebnisse von Pumpversuchen nur in wenigen Fällen aus Bayern und Baden-Württemberg, und dies nur aus Tiefenbereichen, die für die Bewertung von einschlusswirksamen Gebirgsbereichen nicht relevant sind. Zweitens können Abstandsgeschwindigkeiten nur aus Messdaten bestimmt werden, die aber in der Regel nicht vorhanden sind. Diese Messwerte können erst im Stadium der Erkundung erhoben werden. Als drittes Beispiel seien Diffusionskoeffizienten genannt. Diese sind gesteinspezifisch und es gibt derzeit in diesem Fall zur Verwendung der Referenzdatensätze (BGE 2020a) keine Alternative.

Wo liegen Unsicherheiten bei der Methodenentwicklung und wie geht die BGE im weiteren Verfahren damit um?

Im gegenwärtigen Stadium der Methodenentwicklung gibt es für die Anwendung der rvSU im kristallinen Wirtsgestein eine große Unsicherheit. Dies ist das Vorliegen zweier Möglichkeiten des sicheren Einschlusses nach § 4 Abs. 3 EndlSiAnfV, den sicheren Einschluss zu gewährleisten (BGE 2022a, p.29 f.). Dies soll einerseits mittels eines oder mehrerer

einschlusswirksamer Gebirgsbereiche (ewG) geschehen (Endlagersystem Typ 1) oder andererseits im Fall, dass ein solcher nicht ausgewiesen werden kann, mittels technischer und/oder geotechnischer Barrieren (Endlagersystem Typ 2). Hierfür findet sich bei der Methodenbeschreibung für die Durchführung der rvSU (siehe BGE 2022b, Anhang 2, pp. 655-669) eine detaillierte Ausführung. Beide Sicherheitskonzepte sind grundsätzlich denkbar, wobei Vorhaben, die anderswo bereits in Planung bzw. in Ausführung sind (z.B. Forsmark, Schweden oder Oikiluoto, Finnland), auf ein Endlagersystem des Typs 2 hinauslaufen (BGE 2022b, p. 669). In beiden Ländern sind die Nachweise für einen regulatorisch vorgeschriebenen Zeitraum von einhunderttausend Jahren erbracht worden. Nach den Vorgaben in §1 Abs. 2 StandAG ist bei der rvSU aber ein Zeitraum von einer Million Jahren zu betrachten. Der Verfasser empfiehlt hier mit hoher Priorität die Erarbeitung einer fachlichen Begründung auch basierend auf den physikalischen und chemischen Einwirkungen des Gebirges und der in ihm befindlichen Fluide, dass die Gewährleistung der Integrität geotechnischer und technischer Barrieren für diesen zehnmal so langen Zeitraum plausibel ist.

Es ist beim gegenwärtigen Stand des Verfahrens nicht abzusehen, ob im Verlauf der rvSU ein Untersuchungsraum oder Teiluntersuchungsraum ausgewiesen werden kann, der die durch die Anwendung der geoWK gestellten Bedingungen für ein Endlager mit einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich erfüllt. Dies bedeutet, dass vorläufige Sicherheitskonzepte für beide Endlagersysteme entwickelt werden müssen, die wiederum nicht nur auf die geologischen Gegebenheiten (im Wesentlichen die geoWK 1-4; siehe BGE 2020a, mit untersetzenden Unterlagen) abstellen, sondern auch Auswirkungen auf das Design und die Planung des Endlagersystems haben (siehe auch § 6 Abs. 4. EndlSiUntV). Dies stellt für den Prozess der rvSU eine formidable Herausforderung dar, die bis jetzt nicht angegangen worden ist, aber zum Abschluss der Methodenentwicklung bewältigt sein muss.

Einstweilen wird im Konzept zur Durchführung der rvSU von der Annahme ausgegangen, dass ein Untersuchungsraum oder Teiluntersuchungsraum gefunden werden kann, der die Bedingungen für ein Endlagersystem des Typs 1 erfüllt (BGE 2022a, p.30). Es gibt Anhaltspunkte dafür (BGE 2022b, Abb. A6, Bauer et al., 2022) dass dies der Fall sein könnte, es ist aber auch klar (*idem*), dass eine positive Bewertung kritisch abhängig ist von der Abwesenheit von Zonen hoher Klüftigkeit, bruchhafter Deformation etc. (Bauer et al., 2022), die die hydraulische Leitfähigkeit und Permeabilität um Größenordnungen verringern können. Dies hat starke Rückwirkungen auf die Anwendung der geoWK. Falls kein Raum ausgewiesen werden kann, der die Bedingungen für ein Endlager mit einschlusswirksamem Gebirgsbereich erfüllt, erzwingt dies eine erneute Durchführung der rvSU, auch für

Untersuchungsräume oder Teiluntersuchungsräume, die vorher wegen des Fehlens eines ewG in die Kategorie C eingestuft worden sind.

Dies ist ein wichtiges Beispiel für die **Interaktion einzelner Module der rvSU**, das Auswirkungen auf das Gesamtverfahren erzeugen kann. Es werden dabei wahrscheinlich Änderungen bei den Mindestanforderungen und auch bei der Erarbeitung der Parameter für die quantitative Bewertung des sicheren Einschlusses nötig (siehe BGE 2022a, Abb. 2.). Für die Methodenentwicklung hat dies zur Folge, dass ein erheblicher Teil des Weges der rvSU bei Wechsel des Endlagerkonzepts erneut gegangen werden muss (BGE 2022b, pp. 664-669). **Rücksprünge im Verfahren** sind also hier vorgesehen und möglich.

Nach Aussage der Bearbeiter bei der BGE ist beabsichtigt, die Umsetzung der rvSU nach dem Abschluss der Methodenentwicklung in den eigenen Händen zu halten. Einzelne Arbeitsschritte, wie zum Beispiel Datenaggregation, die Konzeption und Testung von Modellen können an externe Dienstleister vergeben und die Ergebnisse von ihnen beigesteuert werden. Vom Verfasser wird hier empfohlen, dass auch Begutachtungen im Rahmen der Qualitätssicherungen (QS Reviews) nicht nur intern durchgeführt werden, sondern dass dies regelmäßig im rvSU-Prozess auch durch externe, unbefangene Sachverständige geschieht. Da die Endlagersuche in der gegenwärtigen Phase ein wissenschaftsgetriebener Prozess ist, sollte dies in Form eines unabhängigen peer review, dem kraftvollsten Instrument der Qualitätskontrolle in der Wissenschaft, Anwendung finden.

7. rvSU und Geowissenschaftliche Abwägungskriterien

In diesem Abschnitt wird der Zusammenhang von Geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK) und der rvSU erörtert.

Der prozessuale Ablauf der rvSU für jeden Untersuchungsraum oder Teiluntersuchungsraum ist in vier Prüfschritte aufgeteilt und ist übersichtlich in Abb.2 des Konzepts zur Durchführung (BGE 2022a, BGE 2022b, p 59 ff.) dargestellt. Diese entsprechen nicht genau der Paragraphenreihenfolge der EndlSiUntV, was seine Begründung in der intensiven Verzahnung der Arbeitsschritte der rvSU findet. Diese sind im Einzelnen:

- Die zielgerichtete Prüfung von Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen
- Die qualitative Bewertung des sicheren Einschlusses (§ 7 Abs 6 EndlSiUntV)
- Die quantitative Bewertung des sicheren Einschlusses (§ 7 Abs 6 EndlSiUntV)
- Der sicherheitsgerichtete Diskurs

Der Ablauf erbringt eine Kategorisierung von Untersuchungsräumen oder Teiluntersuchungs-
räumen in vier Güteklassen von A (am besten geeignet) bis D (ungeeignet), die sich in Form
von Karten darstellen lassen. Kategorie C enthält Räume, die sich aufgrund der Ergebnisse
der qualitativen oder quantitativen Bewertung ungeeignet sind oder keine überwiegend gute
Bewertung vorweisen können. Kategorie B enthält Räume, die aufgrund der quantitativen
Bewertung genauer untersucht werden, aber weniger gut geeignet sind als Räume der
Kategorie A. Letztere werden im Anschluss an die rvSU im Rahmen von § 14 StandAG unter
Anwendung der geoWK weiterbearbeitet (siehe auch BGE 2022a, pp. 16-21).

Bereiche der Kategorie A werden nun Eingangsgrößen für die Bearbeitung der geoWK.
(BGE 2022a, p.21). Bei wörtlichem Verständnis dieser Aussage bedeutet dies nach Meinung
des Verfassers, dass die geoWK durch ein Ergebnis der vier Prüfschritte verändert werden
können. **Bei der Methodenentwicklung für die rvSU gibt es also Schnittmengen mit und
Abhängigkeiten von den geoWK.** Im Prinzip ist dies ein wünschbarer Vorgang, denn eine
Rückwirkung vor allem aus der quantitativen Bewertung des sicheren Einschlusses in
Gebieten der Kategorie A wird Erkenntnisse erzeugen, die bei erneuter Anwendung der
geoWK auf weniger geeignete Räume die Bewertung z.B. von solchen mit den Kategorien B
und C besser fundieren können. Wenn bei den rvSU die Relevanz der geoWK für jeden
Raum zunächst individuell festgelegt worden ist, kann daraus eine Vereinheitlichung folgen,
die die Objektivität des Prozesses erhöhen kann., die aber auch die Bereitschaft zu
zusätzlicher Investition in Zeit, wissenschaftlicher Arbeit und anderer Ressourcen erfordert.

Die BGE würde die **Transparenz und Nachvollziehbarkeit dieses Prozesses**
sicherstellen, wenn Änderungen bei der Anwendung der geoWK protokolliert und
dokumentiert werden. Auf diese Weise kann der Eindruck vermieden werden, die Relevanz
von geoWK würde am Ende subjektiv festgelegt. Es wird vom Verfasser mit Nachdruck
empfohlen, eine solche Dokumentation zu generieren, sie jederzeit offen einsehbar und
damit für jedermann nachvollziehbar zu machen.

Für die geoWK mit einem potenziell hohen Anteil an Messdaten und Bewertungsdaten aus
Untersuchungsräumen (BGE 2020c), nämlich der Bewertung des Transportes radioaktiver
Stoffe durch Grundwasserbewegungen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich (Anlage 1
zu § 24 StandAG), der Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper (Anlage 2 zu § 24
StandAG), der Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit (Anlage 3 zu § 24 StandAG)
und der Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse (Anlage 4 zu § 24
StandAG) ist zudem festzuhalten, dass diese ohnehin von sehr ähnlicher Relevanz für alle

geologischen Konfigurationen im Kristallin sind. Bei den anderen geoWK werden Referenzdaten wegen des Ausschlusses der Möglichkeit, neue Daten zu erheben, auch im weiteren Prozess der Anwendung der rvSU eine sehr große Rolle spielen, was das Risiko einer subjektiven Anwendung je nach Untersuchungsraum reduziert.

Wie vereinbart die BGE somit eine aus geowissenschaftlicher Sicht erforderliche Gesamtbetrachtung mit dem im StandAG und den Sicherheitsverordnungen vorgeschriebenem schrittweisen Vorgehen?

In der Methodenbeschreibung zur Durchführung der rvSU (BGE 2022b, p.226) heißt es: Die Arbeitsschritte, die im Rahmen der Geosynthese stattfinden, sind in den prozessualen Ablauf der rvSU eingebettet (siehe Kapitel 1.2.1). Der Ablauf der rvSU, also die Reihenfolge der vorgegebenen Arbeitsschritte, folgt nicht einer Abfolge von Geosynthese nach § 5 EndlSiUntV, Analyse des Endlagersystems gemäß § 7 EndlSiUntV und umfassender Bewertung gemäß § 10 EndlSiUntV, sondern einem Ansatz, bei dem der Detailgrad in der Erarbeitung der geowissenschaftlichen Grundlagen, der darauf aufbauenden Analyse und Bewertung des Endlagersystems erhöht wird. Dadurch ergeben sich im Rahmen der Geosynthese Arbeitsschritte, die sowohl räumlich als auch von der Arbeitstiefe immer detaillierter werden. Zum Beispiel sind Bereiche eines Untersuchungsraums, bei denen im Rahmen der Arbeiten der Geosynthese früh festgestellt wird, dass eine Mindestanforderung nicht erfüllt ist, von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen.

Diese Erweiterung des ursprünglichen Konzepts bedeutet, dass die Geosynthese während der Durchführung der rvSU in einem Untersuchungsraum einer fortlaufenden Modifikation und Erweiterung unterworfen ist. Dies bedingt Interaktionen mit dem vorläufigen Sicherheitskonzept (BGE 2022b, Abb. 60). Beide Komponenten der rvSU definieren zusammen mit den Abfallspezifikationen die technische Auslegung des Endlagers. Der Verfasser hält diese dynamische Wechselwirkung zwischen beiden Komponenten für absolut notwendig, um die rvSU überhaupt in den Bereich der Machbarkeit zu bringen und empfiehlt mit Nachdruck die Implementierung dieses Konzepts.

Haben die Ergebnisse der rvSU Rückkoppelungen auf die Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen?

Die Ausschlusskriterien können durch die Ergebnisse der rvSU nicht verändert werden, ebenso wie die Mindestanforderungen – zumindest prinzipiell. Bei den letzteren besteht allerdings eine Abhängigkeit von der Wahl des Endlagerkonzeptes, das heißt von der Wahl

des Endlagertyps im kristallinen Wirtsgestein mit oder ohne einschlusswirksamen Gebirgsbereich. In beiden Typen ergeben sich unterschiedliche Arten des Zusammenspiels mit den geologischen, geotechnischen und technischen Barrieren, die beim Erreichen des wünschbaren Zustandes, der Ausweisung eines Endlagerstandortes mit einschlusswirksamem Gebirgsbereich letztlich keine große Rolle spielen. Im anderen Fall - ohne diesen einschlusswirksamem Gebirgsbereich - bekommen Mindestanforderungen an die Behälterintegrität und an die Puffermaterialien eine sehr hohe Bedeutung. Hierbei ist auch im Blick zu behalten, dass ein Endlagersystem des Typs 2 (BGE 2022b, p. 669) auf eine Situation trifft, in der Nachweise der Behälterintegrität erst für einen regulatorisch vorgeschriebenen Zeitraum von einhunderttausend Jahren erbracht worden sind (siehe oben, p. 17). Nach §1 Abs. 2 StandAG ist bei der rvSU aber ein Zeitraum von einer Million Jahren zu betrachten. Es muss also bei Abschluss der Methodenentwicklung die Gewährleistung der Integrität geotechnischer und technischer Barrieren für diesen zehnmal so langen Zeitraum plausibel gemacht werden. Es wird empfohlen, dies nicht allein auf der Basis von Extrapolationen vorhandener Daten zu tun.

8. Anteil von Referenzdaten bei der Erstellung der Geosynthesen

Hier sollen Anteil und Rolle von Referenzdaten bei der Erstellung der Geosynthesen der UR einer Erörterung unterzogen werden. Die Betonung liegt zuerst auf der folgenden Frage: **Ist absehbar, wie groß der Anteil von Referenzdaten bei den Geosynthesen sein wird?**

Im Weiteren ist die Schaffung einer Geosynthese sowie die Abarbeitung der Module einer rvSU von Daten abhängig, die Aussagen über die Einhaltung oder Nichteinhaltung von Mindestanforderungen nach §23 StandAG für die Gesteine möglich machen. Diese Daten sind z.B. im Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020a) so gut wie ausschließlich durch Referenzdatensätze hinterlegt, die keine Daten aus den Teilgebieten für kristalline Wirtsgesteine enthalten. Wenn dies so bleibt, wird es weiterhin schwierig sein, Untersuchungsräume oder Teiluntersuchungsräume in einem Teilgebiet anhand der Mindestanforderungen vergleichend bewerten zu können. Eine Ausnahme machen dabei qualitative Bewertungen, die sich zum Beispiel aus Kartierbefunden (z.B. Vorhandensein von Klufsystemen, Verwerfungen und Scherzonen, Variationen in Mineralbestand, Verwitterung oder hydrothermalen Alteration) ergeben. Im Stadium der Methodenentwicklung ist es sicher sinnvoll, im GzM zunächst mit Schwerpunkt auf diesen qualitativen Daten zu operieren.

Die BGE verfolgt derzeit zusätzlich den Ansatz, im Rahmen des extern vergebenen Forschungsvorhabens AMPEDEK (BGE 2021c) Daten zu generieren, die für den Prozess der Standortsuche relevanter sind. Grundlage ist die „PetroPhysical Property Database“ der TU Darmstadt (Bär et al., 2020). Die bisher veröffentlichten Daten aus Teilgebieten kristalliner Wirtsgesteine stammen aus Untersuchungen zum Potenzial für Tiefengeothermie der Mitteldeutschen Kristallinzone (Weinert et. al., 2020, 2021), sind aber möglicherweise auf andere Teilgebiete übertragbar. Hier liegt ein durchaus vielversprechender Ansatz, die Anwendung der rvSU-Module zukünftig stärker mit quantitativen Daten zu den Eigenschaften kristalliner Wirtsgesteine zu hinterlegen. Forschungsprojekte wie AMPEDEK sind also ein Weg, die Datenbasis für die Anwendung der rvSU generell zu verbreitern und sind deswegen zu begrüßen. Gleichwohl ist klar, dass die Anwendung der geoWK bei der Bewertung von Teilgebieten im kristallinen Wirtsgestein auch weiter zu einem hohen Anteil von Referenzdaten getragen werden wird. Dies betrifft vor allem die geoWK, bei denen bis zum Abschluss von Schritt 2 der Phase 1, also ohne Erkundung und Schaffung neuer Daten, aus den Untersuchungsräumen bzw. Teiluntersuchungsräumen keine ortsbezogenen Daten beigebracht werden können und dürfen.

Es wurde auch vom Auftraggeber eine Stellungnahme erbeten, **wie die von der BGE gemachte Aussage zu verstehen sei, man wolle die Referenzdaten von „bestmöglicher“ zu „realistischer Einschätzung“ hin weiterentwickeln. Wie erfolgt diese Weiterentwicklung?**

Zunächst ist zu konstatieren, dass die BGE in der vorgelegten Dokumentation (BGE 2022a, BGE 2022b) an vielen Stellen die Anwendung von „Bestmöglichen Einschätzungen“ (best estimates) beschreibt und begründet, aber nirgendwo den Begriff „Realistische Einschätzung“ verwendet. Begriffe wie „realistische Abschätzung“, „realistische Annahme“ oder „realistische Bewertung“ kommen häufiger vor (BGE 2022b, pp. 181, 413, 521, 613, 673), in den meisten Fällen im Zusammenhang mit Parametern und Sachverhalten, die sich einer unmittelbaren, quantitativen Betrachtung entziehen. Zumindest der Begriff „überschlägige Abschätzung“ wird verstanden als eine *„vereinfachte, aber fachlich nachvollziehbare, realistische Abschätzung, welche entweder zur Vereinfachung komplexer Zusammenhänge oder aufgrund fehlender spezifischer Eingangsgrößen erforderlich ist“* (BGE 2022b, p. 49).

Als bestmögliche Einschätzungen dagegen werden wohlbegründete Schätzwerte verstanden, hier für geologische Parameter, die mit signifikanten Ungewissheiten verbunden sein können. Diese können beispielsweise durch Expertenurteil verbalargumentativ

begründet sein, oder können sich als B.E.- Werte aus der quantitativen Analyse von Datenmengen, Modellen oder Simulationsrechnungen ergeben. Solche „best estimates“ sind vor allem beim Vergleich von Untersuchungsräumen oder Teiluntersuchungsräumen zu verwenden und verringern das Risiko, dass diese aufgrund fehlerhafter Anwendung der geoWK aus dem Prozess der rvSU herausfallen können, d.h. in die Kategorien C oder D eingestuft werden können.

Beispiele betreffen die Eigenschaften von Radionukliden (bestmögliche Einschätzungen, B.E.) hinsichtlich Diffusions- und Sorptionskoeffizienten (BGE 2022b, Tabelle A6, p. 694), für Abstands- oder Transportlängen (BGE 2022b, Tabelle Abb. 186, p. 518 f.). Bei dieser Prüfung wird auf einen B.E.Wert zurückgegriffen, der wohlbegründet für relativ wahrscheinlich gehalten werden kann. Diese Art des Vorgehens birgt allerdings das Risiko, je willkürlicher zu werden, je weniger über die Parameter bekannt ist.

Eine Art der bestmöglichen Einschätzung wird derzeit bei der Anwendung von geoWK in Untersuchungsräumen und Teiluntersuchungsräumen praktiziert. Einerseits beruht sie auf der Analyse von Lithologie, tektonischer Überprägung, Geometrie, räumlicher Konfiguration und Charakterisierbarkeit. Hierzu sind Referenzdaten nicht notwendig. Bei der Bewertung von vielen Gesteinsparametern sind allerdings Rückgriffe auf Referenzdaten angezeigt und nötig. Ein Übergang von dieser Praxis zu einer, die „realistische Einschätzungen“ vornimmt, wird erst empfohlen, wenn die Erstellung von Geosynthesen in diesen Räumen unter Einbeziehung aller bekannten Daten und Parameter weitgehend durchgeführt worden ist.

Hat die BGE alle Daten vorliegen, um die Methodik im GzM zu entwickeln?

Da es bei der Methodenentwicklung weniger um die Erfindung und Erprobung generisch neuer Methoden geht, sondern um die testweise Anwendung und Optimierung bereits bekannter Methoden im GzM Saxothuringikum, hat die BGE die Taktik verfolgt, für das Kristallin in seiner bisherigen Arbeit den Schwerpunkt zunächst auf den Prozess der Entwicklung der Geosynthese zu legen. Einen Überblick über die Eignung von Methoden und Methodenkombinationen für die Durchführung der rvSU gibt die Datenbank GeM-DB (BGR 2021), die von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe im Auftrag der BGE entwickelt wurde. GeM-DB ist die Weboberfläche einer recherchierbaren Datenbank der geophysikalischen und geowissenschaftlichen Methoden für die übertägige Erkundung gemäß § 16 StandAG. Aus GeM-DB wird offenbar, dass die wichtigste Methode zur Erstellung von Geosynthesen in Untersuchungsräumen in kristallinem Wirtsgestein sicher die geologische Kartierung ist, unterstützt von Daten aus Bohrungen und den Ergebnissen

geophysikalischer Tiefensondierung (Seismik, Magnetik, Gravimetrie). Dies resultiert in dem 2,5 – dimensionalen Ansatz, der obenstehend beschrieben und diskutiert ist, und der in den ersten Arbeitsschritten des rvSU-Prozesses auch Fortschritte bringen kann (siehe BGE 2022b, p. 277). Bei der nachfolgend wünschbaren Erstellung von wirklichen 3D-Modellen aus diesen Daten ist jedoch zu berücksichtigen, dass Befunde geologischer Kartierungen und Daten aus Bohrungen zunächst einmal „analog“ generierte Sätze von Bewertungsdaten sind, die auf der Basis umfangreicher Papierarchive digital konstruiert bzw. rekonstruiert werden müssen. Wie bereits oben (p. 13) erwähnt ist die fehlende Verfügbarkeit genau dieser Daten gegenwärtig nach Ansicht des Verfassers eines der großen Probleme für die Gesamtheit der verfügbaren veröffentlichten und unveröffentlichten Daten im Datenraum der BGE, der naturgemäß nur die digital verfügbaren Daten enthalten kann.

Ein großes Hindernis für den erfolgreichen Abschluss der Methodenentwicklung und den Beginn der Durchführung der rvSU ist derzeit das Fehlen von Endlagerkonzepten sowohl des Typs 1 als auch des Typs 2 für das kristalline Wirtsgestein. Diese befinden sich derzeit in der Ausarbeitung (BGE 2022a, p. 29 ff.). Im Anhang 2 zur Methodenbeschreibung zur Durchführung der rvSU (BGE 2022b, p. 655 ff.) wird zwar ausführlich die Datenlage beschrieben, die diesen Endlagerkonzepten zugrunde liegen könnten, aber es findet sich kein Hinweis, mit welchen Dimensionen des Endlagers und des gegebenenfalls umgebenden einschlusswirksamen Gebirgsbereichs zu rechnen ist. Der Verfasser empfiehlt dringend, der Entwicklung von Endlagerkonzepten für das kristalline Wirtsgestein höchste Priorität einzuräumen, damit beim Abschluss der Methodenentwicklung klar ist, nach welchem geeigneten Gebirgsbereich in Teilgebieten mit kristallinem Wirtsgestein für ein Endlager hochradioaktiver Abfälle überhaupt zu suchen ist.

9. Bewertung der öffentlichen Vorstellung der Gesamtmethodik

Die öffentliche Vorstellung von Konzept und Methodenbeschreibung der rvSU vom 29.3. bis zum 2.4.2022

Der Verfasser der vorliegenden Stellungnahme hat an der Allgemeinen Einführungsveranstaltung zu den Gebieten zur Methodenentwicklung (GzM) am 29.3.2022 sowie an der Vorstellung des GzM Saxothuringikum 31.3.2022, jeweils 18-20 h teilgenommen.

Bei der ersten allgemeinen Einführung wurde der rvSU-Prozess mit seinen vier Prüfschritten erklärt. Die Erklärung war vollständig, wenn auch wenig anschaulich. Der Verfasser stellt sich vor, dass Laien mit dem komplizierten Deutsch und der „paragrafenlastigen“

Erklärweise Probleme gehabt haben könnten. Die Erklärung des gesamten Standortauswahlverfahrens erfordert bei den Teilnehmenden wegen der Komplexität und den vielen aufeinander aufbauenden Schritten viel Konzentration. Insbesondere das Verständnis des jetzt vollzogenen Wechsels von einer stratigraphischen zu einer lithologischen Betrachtungsweise ist für den Nicht-Geowissenschaftler nicht unmittelbar nachvollziehbar gewesen. Gut eingeführt wurde in die Definition von Teiluntersuchungsräumen. Ihre Rolle in der umfassenden Bewertung wurde praxisnah an einem fiktiven Beispiel anschaulich gemacht. Für Fachkundige ist dies nachvollziehbar, die Art der Grenzziehungen sind für Laien jedoch nicht unmittelbar einsichtig. Der Umgang mit Ungewissheiten wurde dagegen in sehr theoretischer Weise erklärt und erzeugt beim Zuhörer die Vermutung, dass man sich darüber noch nicht ausreichend Gedanken gemacht haben könnte.

In die spezifische Veranstaltung zum GzM Saxothuringikum wurde noch einmal ähnlich wie bei der Veranstaltung am 29.3. eingeführt. Die Nachfragen der Teilnehmenden betrafen vor allem den Zeitraum für die Methodenentwicklung und die Frage, ob es spätere Anpassungen bei der Methodik geben könnte, was Raum schaffen könnte für Subjektivität. Änderungen nach Abschluss wurden verneint. Fragen betrafen auch den Umgang mit unterschiedlicher Datenqualität und -quantität. Ebenfalls wurde beim Konzept der Grenztemperaturen gefragt, was die BGE motiviert hat, jetzt darüber nachzudenken. Weitere Fragen betrafen die Einbeziehung der Geologischen Dienste in die Methodenentwicklung, die Reihenfolge der abzuarbeitenden Teilgebiete und die Abschätzung des nötigen Personalaufwandes für den Prozess der Standortauswahl.

Der Verfasser gewann den Eindruck, dass das Publikum recht interessiert und fokussiert war, was sich in den Nachfragen widerspiegelt hat. Zum großen Teil bestand es aus Personen, teils aus dem politischen und öffentlichen Leben, die mit dem Prozess der Standortauswahl schon vorher Berührung hatten.

Das Forum Endlagersuche am 20.5 und 21.5.2022

Für die Vorstellung der Methodenentwicklung bei der BGE und die Diskussion darüber war die Podiumsdiskussion am 20.5., 17:00 h relevant (siehe unten). Es sind hier jedoch auch die anderen, wichtigen Inhalte kurz zusammengefasst, da auch sie relevant für die Methodenentwicklung und später für die Durchführung der rvSU und ihre öffentliche Vermittlung sein können.

Dieses Forum Endlagersuche fand hybrid, d.h. in Mainz und im Internet statt. Vor Ort waren 65 Teilnehmende, zusammen mit der virtuellen Teilnahme waren es 320 Personen. Der Verfasser nahm im Internet teil. Die Veranstaltung wurde von einem vielgestaltig zusammengesetzten Planungsteam im Rahmen der Aktivitäten des BASE organisiert und richtete sich an die breite Öffentlichkeit mit dem Ziel, als Dialograum unter Mitgestaltung der Teilnehmenden einen kritischen Austausch über die Arbeiten der BGE zu ermöglichen. Das Forum Endlagersuche sah sich im Bericht des Planungsteams als ein Haltepunkt im Prozess der Methodenentwicklung. Als Nachfolger solle es ein kooperatives Format für das Planungsteam geben, wobei das Prinzip der Kooperation nach seiner Einschätzung im Einzelnen nicht einfach umzusetzen sein wird. Derzeit gibt es nach der Einschätzung eines Teils der Teilnehmenden keinen nachhaltigen Arbeitsmodus. Schwierigkeiten könnten dabei sein: a) das Durchhalten des Konsensprinzips; b) absehbare operative Dissonanzen zwischen dem BASE und der Zivilgesellschaft.

Das praktizierte Beteiligungsformat könnte als Prototyp für die später folgenden Regional-konferenzen fungieren. Der Anspruch muss dabei wirksame Beteiligung der Zivilgesellschaft sein. Zentraler Punkt ist Verständlichkeit für die Zivilgesellschaft. Angeregt wurde auch eine „Plattform-Ökonomie“ bei der Beteiligung der Öffentlichkeit unter dem Stichwort „one-stop government“. Als offene Frage bleibt: wie gebrauchsfähig sind solche Plattformen?

In einer keynote referierte Markus Vogt (München) über die Möglichkeiten der Ethik, das „Handwerkszeug für eine gute Debatte“ zu bilden, für eine Partizipation jenseits des St. Floriansprinzips. Ein systematischer Einbezug des Nichtwissens führe zur Resilienz des Systems Endlager.

In einer zweiten keynote stellte Ralph Watzel (Hannover) den Umgang mit Ungewissheiten und Zeit im Verfahren der Endlagersuche vor. Wissen ist auf dem Verfahrensweg einengend, kaskadierend mit dem Ziel, eine gebietsspezifische Fokussierung zu schaffen, geleitet von der lithologischen und/oder der strukturellen Ausprägung. Für das kristalline Wirtsgestein bedeute dies den Weg hin zur Ausweisung ausreichend großer, wenig bis nicht geklüfteter Gebirgsbereiche. Anschließend diskutiert wurde unter anderem, dass ein zu weitgehender Gebrauch von Analogien oder Analogdaten für die Zivilgesellschaft kein Vertrauen in den Prozess schaffen könne.

Auf dem anschließenden Podium wurden unter anderem der Umgang mit Ungewissheit und Zeit, die Entwicklung des forecasting für wachsendes Komplexitätsverständnis, und die Einstellung auf Probleme, die man heute noch nicht kennt, diskutiert.

Auf einer zweiten Podiumsdiskussion wurden unter Moderation des NBG zwischen Mitgliedern staatlicher geologischer Dienste und Vertretern der BGE wissenschaftliche Aspekte des rvSU-Prozesses diskutiert. Im Hinblick auf den Arbeitsprozess wurde angemerkt, dass ein Fokus für ein Endlager im Kristallin noch nicht erarbeitet ist. Von der BGE wurden klare Aussagen besonders zum Behälterkonzept vermisst. Die Verwendung der Bohrakten (nicht nur der Schichtenverzeichnisse) bei der Bewertung von Untersuchungs- räumen und Teiluntersuchungsräumen sei zwingend erforderlich. Die Podiumsdiskussion war nach Ansicht des Verfassers eine der bislang seltenen Gelegenheiten eines direkten öffentlichen Zusammentreffens von Vertretern der BGE und der Geologischen Dienste. Es fand nach der Einschätzung des Verfassers eine absolut informative und qualitativ hochwertige Diskussion statt.

Jenseits dieser kurzen Darstellung und Bewertung findet sich mehr Information unter <https://www.base.bund.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/BASE/DE/2022/programm-forum-endlagersuche.html>

Die Onlinekonsultation bis zum 31.5.2022

Die von der BGE angebotene Onlinekonsultation (<https://www.forum-bge.de/thread-39.html>) stieß nicht auf das erwartete oder erhoffte Interesse in der Öffentlichkeit. Der thread enthält sehr ausführliche und wortreiche posts im Wesentlichen eines Nutzers über den gesamten Zeitraum. Die in den posts gegebenen Anregungen begann der Moderator in den letzten Tagen der Konsultation, aber auch danach bis zum 24.6. mit Antworten abzuarbeiten. Sowohl die Kommentare als auch die Antworten haben nach Ansicht des Verfassers teilweise Wert und Substanz. Es entsteht aber den Eindruck, dass es nicht zur Nutzung des Forums für den Zweck eines Dialogs kam. Dies ist bedauerlich, aber offensichtlich auch dem gegenwärtigen, manifesten Desinteresse der Öffentlichkeit an dieser Art der Partizipation geschuldet.

Die Tage der Standortauswahl, 8.6. – 10.6.2022, Aachen und online

Auf den Tagen der Standortauswahl (<https://standorttage2022.de>) wurden im wissenschaftlichen Teil zu Geoprozessen meist für den Prozess der rvSU relevante Beiträge über die Wirtsgesteine Steinsalz und Ton kommuniziert. Zum kristallinen Wirtsgestein wichtig schätzt der Verfasser die Beiträge von Bauer et al. (2022) hinsichtlich der Gebirgsdurchlässigkeit, von Achtziger-Zupančič et al. (2022) hinsichtlich des Umgangs mit Ungewissheiten, von Schönhofen-Romer et. al. (2022) als Beispiel einer Analogstudie, von Muhl et al.

(2022) für petrophysikalische Eigenschaften und von Hallas et al. (2022) hinsichtlich der Anisotropieeffekte in Granit als relevant ein.

Die Vorstellung der Aktivitäten der BGE bei der Standortauswahl am dritten Tag der Tagung (auch als Livestream im Internet übertragen: herunterladbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=jYRCE-7qiZo>) stand im Zeichen der Präsentation der F+E (Forschung und Entwicklung) Aktivitäten im Rahmen der Forschungsroadmap Standortauswahl. Bei den gegenwärtig 20 Projektvergaben handelt es sich ganz überwiegend um die Bearbeitung geowissenschaftlicher Fragestellungen, ergänzt durch Aspekte der Endlagerplanung und der Durchführung der rvSU. Die an die Präsentation anschließenden Diskussionsbeiträge gingen durch Fragen aus dem Kreis der Fachkundigen weit in die wissenschaftlichen Details, wobei bemerkt werden muss, dass über das Internet keine Fragen oder Diskussionsbeiträge zu verzeichnen waren. Für den Prozess der Methodenentwicklung ist die Information relevant, dass mittlerweile die Behälterentwicklung für das kristalline Wirtsgestein gestartet wurde. Die Entwicklung soll aufbauend auf internationalen Erfahrungen erfolgen (vor allem Schweden und Finnland). Der geschätzte Zeitbedarf für eine konzeptionelle Entwicklung ist zweieinhalb Jahre. Die abschließende Präsentation des „Weges zu den Standortregionen“ (S. Reiche) bot nach der Einschätzung des Verfassers einen guten und anschaulichen Überblick über die Prüfschritte der rvSU. Es wurde auch kommuniziert, dass der vierte Prüfschritt „Sicherheitsgerichteter Diskurs“ noch der Entwicklung und Ausgestaltung bedarf. Der Verfasser empfiehlt, diesen Arbeiten eine hohe Priorität zu geben, damit die Prüfschritte im Ensemble diskutiert und verstanden werden können. Das hohe Niveau der Anschaulichkeit hat der Verfasser bei der öffentlichen Vorstellung der Methodenentwicklung in den letzten Märztagen vermisst (siehe oben). Die vorgestellten Diagramme sind aber weiterhin sehr komplex und überladen mit Verweisen auf Paragraphen von Gesetzen und Verordnungen, die für den mit dem Arbeitsprozess nicht Vertrauten nicht selbsterklärend sind. Es ist einzusehen, dass die Konformität des Gesagten mit dem Recht immer und überall dokumentiert werden muss, jedoch würde die Nennung der Paragraphen im Kleingedruckten zu Fußnoten diesen Zweck formal wohl auch erfüllen. Ein Vorgehen in dieser Art würde die Anschaulichkeit des Konzeptes weit voranbringen.

10. Versuch einer vorläufigen Gesamtbewertung der vorgestellten Methodik für Teilgebiete im Kristallingestein

Das Konzept zur Durchführung der rvSU (BGE 2022a) und die zugehörige Methodenbeschreibung (BGE 2022b) sind zunächst einmal sehr wichtige Schritte im Prozess der

Kommunikation der Ergebnisse der Standortsuche beim gegenwärtigen Stand des Verfahrens. Die Ausführlichkeit, mit der Arbeitsstände vor allem in der Methodenbeschreibung präsentiert sind, erlaubt Einblicke in den rvSU-Prozess. Sie lässt auch erahnen, wie weit der Weg bis zu einem ausgereiften, für die anstehenden Arbeiten voll verwendbaren Konzept noch ist. Der BGE ist dabei für ihre Bereitschaft zur offenen Kommunikation des gegenwärtigen Arbeitsstandes zu danken.

Mit der öffentlichen Vorstellung in mehreren Formaten wurde ein Weg gegangen, sowohl die Fachöffentlichkeit als auch die Zivilgesellschaft und interessierte Laien anzusprechen und in den Prozess der Endlagersuche einzubeziehen. Erkennbar war dabei das Bemühen, das sehr komplexe Regelwerk und Procedere ohne offene Punkte, das heißt hermetisch darzustellen. Dies hat allerdings auch zur Folge, dass der Zugang für interessierte Laien erschwert wird und damit die Erzeugung von Interesse an der Partizipation nicht leicht möglich ist. Dies spiegelt sich darin, dass es praktisch kein Interesse für die Onlinekonsultation gab, dass die online angebotenen Veranstaltungen maximal wenige Hundert Teilnehmende hatten und dass diese sich vor allem aus Kreisen von Interessierten rekrutierten, die entweder langjährige Erfahrungen mit der Endlagersuche mitbringen, oder ohnehin beruflich mit der Materie zu tun haben.

Für die zukünftigen Arbeiten im kristallinen Wirtsgestein werden vom Verfasser konkrete Handlungsempfehlungen formuliert (siehe unten), deren Umsetzung dazu beitragen könnte, die Anwendung der rvSU in den Teilgebieten praktikabler, effizienter und nachvollziehbarer zu gestalten.

11. Handlungsempfehlungen

Aus der oben unternommenen Erörterung ergeben sich folgenden Handlungsempfehlungen:

1. Das Teilgebiet „Saxothuringikum“ ist von der räumlichen Ausdehnung her sehr groß, enthält eine große Spannweite verschiedener Gesteine, zeigt große räumliche Unterschiede im Grad der tektonischen Überprägung und sollte in mehrere Untersuchungsräume aufgeteilt werden, wenn dies die gesetzlichen Grundlagen zur Standortauswahl zulassen.
2. Das dokumentierte und an Beispielen erklärte Vorgehen bei der Behandlung und fortschreitender Detaillierung großer Untersuchungsräume im GzM Saxothuringikum bis zum Ende des Prozesses der Methodenentwicklung sollte umfassend erprobt und angewendet werden. Die Erprobung und ihre offen zugängliche Dokumentation der Resultate wird

dringend angeraten, denn sie sichert die Nachvollziehbarkeit des Vorgehens und hilft, das Vertrauen der Zivilgesellschaft in den Prozess der Endlagersuche zu stärken.

3. Obwohl der Prozess der Methodenentwicklung im GzM Saxothuringikum kritisch von der Verfügbarkeit von Daten, besonders zum Beispiel von vollständigen Bohrakten, abhängt, gibt es einzelne Fälle, bei denen auch nach Jahren noch nicht klar ist, auf welchem Wege die Verpflichtung zur digitalen Bereitstellung der Akten erfüllt werden soll. Eine Abhilfe wird hier dringend empfohlen, da die Qualität von Geosynthesen und – darauf aufbauend - des gesamten rvSU-Prozesses von der Verfügbarkeit dieser Daten abhängt.

4. Nach Aussage der Bearbeiter bei der BGE ist beabsichtigt, die Umsetzung der rvSU nach dem Abschluss der Methodenentwicklung in den eigenen Händen zu halten. Einzelne Arbeitsschritte, wie zum Beispiel Datenaggregation, die Konzeption und Testung von Modellen können an externe Dienstleister vergeben und die Ergebnisse von ihnen beigesteuert werden. Es wird empfohlen, dass auch Begutachtungen im Rahmen der Qualitätssicherungen (QS Reviews) nicht nur intern durchgeführt werden, sondern dass dies regelmäßig im rvSU-Prozess auch durch externe, unbefangene Sachverständige geschieht. Da die Endlagersuche in der gegenwärtigen Phase ein wissenschaftsgetriebener Prozess ist, sollte dies in Form eines unabhängigen peer review, dem kraftvollsten Instrument der Qualitätskontrolle in der Wissenschaft, Anwendung finden.

5. Die BGE würde die Transparenz und Nachvollziehbarkeit des rvSU-Prozesses sicherstellen, wenn Änderungen bei der Anwendung der geoWK in Echtzeit protokolliert und dokumentiert werden. Auf diese Weise kann in der Öffentlichkeit der Eindruck vermieden werden, die Relevanz von geoWK würde am Ende subjektiv festgelegt. Es wird mit Nachdruck empfohlen, eine solche Dokumentation zu generieren, sie jederzeit offen einsehbar und damit für jedermann nachvollziehbar zu machen.

6. Das vorgestellte Konzept für die rvSU besagt, dass Geosynthesen während der Durchführung der rvSU in einem Untersuchungsraum einer fortlaufenden Modifikation und Erweiterung unterworfen sind. Dies bedingt Interaktionen mit dem vorläufigen Sicherheitskonzept. Beide Komponenten der rvSU definieren zusammen mit den Abfallspezifikationen die technische Auslegung des Endlagers. Dieses Konzept ist zu begrüßen, denn die dynamische Wechselwirkung zwischen beiden Komponenten ist absolut notwendig, um die rvSU überhaupt in den Bereich der Machbarkeit zu bringen. Die Implementierung dieses Konzepts wird mit Nachdruck empfohlen.

7. Ein mögliches Endlagersystem des Typs 2 (ohne einschlusswirksamen Gebirgsbereich) im kristallinen Wirtsgestein) trifft auf eine Situation, in der Nachweise der Behälterintegrität erst für einen regulatorisch vorgeschriebenen Zeitraum von einhunderttausend Jahren erbracht worden sind. Nach §1 Abs. 2 StandAG ist bei der rvSU aber ein Zeitraum von einer Million Jahren zu betrachten. Es wird nachdrücklich empfohlen, bis zum Abschluss der Methodenentwicklung die Gewährleistung der Integrität geotechnischer und technischer Barrieren für diesen zehnmal so langen Zeitraum plausibel gemacht zu haben.

8. Im Anhang 2 zur Methodenbeschreibung zur Durchführung der rvSU wird zwar ausführlich die Datenlage beschrieben, die Endlagerkonzepten im kristallinen Wirtsgestein zugrunde liegen könnten, aber es findet sich in der Dokumentation kein Hinweis, mit welchen Dimensionen des Endlagers und des gegebenenfalls umgebenden einschlusswirksamen Gebirgsbereichs zu rechnen ist. Der Verfasser empfiehlt dringend, der Entwicklung von Endlagerkonzepten für das kristalline Wirtsgestein höchste Priorität einzuräumen, damit beim Abschluss der Methodenentwicklung klar ist, nach welchen geeigneten Gebirgsbereichen in Teilgebieten mit kristallinem Wirtsgestein für ein Endlager hochradioaktiver Abfälle überhaupt zu suchen ist.

12. Zusammenfassung

Im Rahmen einer Sichtung der Unterlagen zur Methodenentwicklung für die repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU), sowie des Zwischenberichts Teilgebiete und seiner untersetzenden Unterlagen wurde der laufende Arbeitsprozess bei der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) für das Gebiet zur Methodenentwicklung (GzM) „Saxothuringikum“ (Teilgebiet 009_00TG_194_00IG_K_g_SO) im Wirtsgestein Kristallin einer Analyse unterzogen. Akteneinsicht zur Beantwortung konkreter Fragestellungen wurde genommen, und die öffentliche Vorstellung und Konsultation der Methodenentwicklung wurde im Rahmen von vier Veranstaltungen begleitet.

Das vorgestellte Konzept für die rvSU ist klar dargelegt. Es ist generell zu begrüßen, dass in ihm Geosynthesen in einem Untersuchungsraum einer fortlaufenden Modifikation und Erweiterung unterworfen sind. Dies bedingt Interaktionen mit dem vorläufigen Sicherheitskonzept. Beide Komponenten der rvSU definieren zusammen mit den Abfallspezifikationen die technische Auslegung des Endlagers. Die dynamische Wechselwirkung zwischen beiden Komponenten ist absolut notwendig, um die rvSU überhaupt in den Bereich der Machbarkeit zu bringen. Die Implementierung dieses Konzepts wird mit Nachdruck empfohlen.

Obwohl Fortschritte sichtbar sind, ist eine große Schwäche beim gegenwärtigen Arbeitsstand die immer noch mangelnde Verfügbarkeit von Daten, besonders zum Beispiel von vollständigen Bohrkernen. Auch nach Jahren ist in einzelnen Fällen noch nicht klar, auf welchem Wege die digitale Bereitstellung und Einsehbarkeit der Akten geschehen soll. Eine Abhilfe wird hier dringend empfohlen, da die Qualität von Geosynthesen und - darauf aufbauend - des gesamten rvSU-Prozesses von der Verfügbarkeit dieser Daten abhängt.

Beim gegenwärtigen Arbeitsstand fehlen vor allem ausgearbeitete Konzepte für Endlager mit und ohne einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Es wird dringend empfohlen, diese zu entwickeln, zusammen mit der Analyse und Entwicklung von entsprechenden Behälter- und Barrierekonzepten.

13. Summary

As part of a review of documents on method development for the representative preliminary safety investigations (rvSU), and the interim report on sub-areas and its supporting documents, the ongoing work process at the Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) for the area for method development (GzM) "Saxothuringian" (subarea 009_00TG_194_00IG_K_g_SO) in crystalline host rock were subjected to an analysis. Available documents were inspected to answer specific questions, and the public presentation and consultation of the method development was accompanied during four events.

The concept for the rvSU is clearly presented. It is generally to be welcomed that the geosynthesis in a study area is subject to continuous modification and expansion. This requires interactions with the preliminary safety concept. Together with the waste specifications, both components of the rvSU define the technical design of the repository. The dynamic interaction between the two components is absolutely necessary to bring the rvSU into the realm of feasibility at all. The implementation of this concept is strongly recommended.

Although progress can be seen, a major weakness at the current stage of work is still unavailability of digital data, for example that of complete documentation of drill holes. Even after several years, in individual cases it is still not clear how these files would be made available and accessible in digital form. It is strongly recommended to remedy here, since the

quality of geosynthesis and - based on this - the entire rvSU process depends on the availability of this data.

In the current state of work, concepts for repositories with and without an isolating rock zone are lacking. It is strongly recommended that these be developed along with the analysis and development of appropriate containment and barrier concepts.

14. Zitierte Literatur

Achtziger-Zupančič, P., Kukla, P., Bond, C., Laurich, B., Zehner, B., Jähne-Klingenberg, F., Bense, F., Stück, H. & Wellmann, F. (2022) GeoBlocks: Bausteine zur Quantifizierung von Ungewissheiten in Geologischen Modellen, Tagungsband, Tage der Standortauswahl, Aachen, 41, <https://standorttage2022.de/wp-content/uploads/2022/06/Tagungsband-Tage-der-Standortauswahl-2022.pdf> , heruntergeladen am 26.6.2022

Bär, K., Reinsch, T. & Bott, J. (2020) The PetroPhysical Property Database (P3) – a global compilation of lab- measured rock properties. Earth Syst. Sci Data, 12, 2485-2515, <https://doi.org/10.5194/essd-12-2485-2020>

BASE, (2022) <https://www.endlagersuche-infoplattform.de/webs/Endlagersuche/DE/Beteiligung/Buergerbeteiligung/konzeption/fachforum/fachforum.html;jsessionid=F2DE103D9AB71E5E55B468F044FF9912.1cid391?cmsgtp=17873166list%253D2>

Bauer, M.E, Knopf, S.B., Fanara, S., Rohlf, F., Timar-Geng, Z., Müller, K., Perner, M.J. & Klein, E. (2022). Depth dependent permeability in crystalline host rock formations. Poster, Tage der Standortauswahl 2022, Aachen, <https://standorttage2022.de/wp-content/uploads/2022/06/2022-06-02Tds2022Depth-dependent-permeability-in-crystalline-host-rock-formations.pdf>, downloaded 26.06.2022

Bayerisches Geologisches Landesamt (1996a) Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500 000, 4. neubearbeitete Auflage Mit 67 Abbildungen, 21 Tabellen und 8 Beilagen, München, 329 pp.

Bayerisches Geologisches Landesamt (1996b) Geologische Karte 1:500 000 Bayern, Karte, München.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2020). Erste Fragen und Anmerkungen zum Zwischenbericht Teilgebiete der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) bezüglich der identifizierten Gebiete in Bayern. Anlage zum Schreiben 10-8771.5044-115687/2020. Augsburg, 11 pp.

Behrmann, J. (2021) Gutachten zur Methodenentwicklung Kristallin. <https://www.nationales-begleitgremium.de/SharedDocs/Downloads/DE/DownloadsGutachten/GutachtenSachverstaendige/2021/GutachtenMethodenentwicklungSachverst122021/GutachtenKristallinBehrmann30112021.html>

Berger, H. J., Walter, K., Schütz, H., Stanek, K., Wagner, S., Felix, M. & Lunow, C. (2011). Tiefengeothermie Sachsen, 1. Arbeitsetappe 09/2009 bis 07/2010, Anlagenband. Schriftenreihe des LfULG, 9/2011, 18 pp.

BGE (2020a) Zwischenbericht Teilgebiete, website, zuletzt geöffnet am 28. November 2021, <https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>

BGE (2020b) Referenzdatensätze zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im Rahmen von § 13 StandAG, Stand 1.9.2020. Geschäftszeichen: SG02102/5-3/3-2020#26 – Objekt-ID: 825460, Peine, 148 pp.

BGE (2020c) Teilgebiete und Anwendung – Geowissenschaftliche Abwägungskriterien gemäß § 24 StandAG, Stand 28.9.2020. (Untersetzende Unterlage zum Zwischenbericht Teilgebiete) Geschäftszeichen SG02102/5-5/2-2020#7, Objekt-ID:828663 – Revision 000, Peine, 213 pp.

BGE (2021a) Pressemitteilung – Standortsuche, 05. Juli 2021: Vier Gebiete zur Methodenentwicklung. <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2021/7/614-standortauswahl/>, zuletzt geöffnet am 22.11.2021.

BGE (2021b) Meldung – Standortsuche, 14. Juli 2021: Warum die BGE vier Gebiete zur Methodenentwicklung identifiziert hat. <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemitteilungen/archiv/meldung/news/2021/7/619-endlagersuche/>, zuletzt geöffnet am 22.11.2021.

BGE (2021c) Atlas der Mineralogischen und Petrophysikalischen Eigenschaften Deutscher Kristalliner Wirtsgesteine (AMPEDEK)

<https://www.bge.de/fileadmin/userupload/Standortsuche/Forschung/2021-05-28BGEProjektskizzeOeffentlichkeitAMPEDEKbarrierefrei.pdf>. Zuletzt geöffnet am 29.03.2022

BGE (2022a). Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (62 pp.). Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH.

<https://www.bge.de/fileadmin/userupload/Standortsuche/WesentlicheUnterlagen/Methodik/PhaselSchritt2/rvSU Methodik/20220328KonzeptzurDurchfuehrungderrvSU barrierefrei.pdf>

BGE (2022b). Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (744 pp.). Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH.

<https://www.bge.de/fileadmin/userupload/Standortsuche/WesentlicheUnterlagen/Methodik/PhaselSchritt2/rvSU-Methodik/20220328AnlagezurvSUKonzeptMethodenbeschreibungbarrierefrei.pdf>

BGE (2021c) Onlinekonsultation. <https://www.forum-bge.de/thread-39.html>).

BGE (2022d). Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung—Kurzfassung (5 pp.).

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. <https://www.bge.de/fileadmin/userupload/Standortsuche/WesentlicheUnterlagen/Methodik/PhaselSchritt2/rvSU-Methodik/20220328STABGEKurzfassungfuerEiligezurvSUKonzeptbarrierefrei.pdf>

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2021) GeM-DB -

<https://gemdb.bgr.de/login.php?e=1>. Zuletzt geöffnet am 29.06.2022

Conrad, W. (1996) Die Schwerekarte (Δg_0) der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. *Geoprofil*, 6, 1-58.

DEKORP Research Group(B), Behr, H.-J., Dürbaum, H.-J., Bankwitz, P., Bankwitz, E., Benek, R., Berger, H.-J., Brause, H., Conrad, W., Förste, K., Frischbutter, A., Gebrande, H., Giese, P., Göthe, W., Gürtler, J., Hänig, D., Haupt, M., Heinrichs, T., Horst, W., Hurtig, E., Kämpf, H., Kramer, W., Krentz, O., Lang, M., Lorenz, W., Lück, E., Müller, H. J., Raab,

S., Rabbel, W., Rauche, H., Ritter, E., Schulze, A., Schwarz, G., Seifert, W., Springer, M., Tauber, S., Trzebski, R. (1994) Crustal structure of the Saxothuringian Zone: Results of the deep seismic profile MVE-90(East). - Zeitschrift für geologische Wissenschaften, 22, 6, 647-770.

De Wall, H., Schaarschmidt, A., Kämmlin, M., Gabriel, G., Bestmann, M. & Scharfenberg, L. (2019) Subsurface granites in the Franconian Basin as the source of enhanced geothermal gradients: a key study from gravity and thermal modeling of the Bayreuth Granite. International Journal of Earth Sciences, Bd. 108, S. 1913-1936. ISSN 1437-3262. DOI: 10.1007/s00531-019-01740-8

Fazlikhani, H., Bauer, W. & Stollhofen, H. (2022) Variscan structures and their control on latest to post-Variscan basin architecture: insights from the westernmost Bohemian Massif and southeastern Germany. Solid Earth 13, 393-416, DOI: 10.5194/se-13-393-2022

Follin, S., Stigsson, M., Rhén, I., Engström, J. & Klint, K.E. (2011) Greenland Analogue Project – Hydraulic properties of deformation zones and fracture domains at Forsmark, Laxemar and Olkiluoto for usage together with Geomodel version 1. Report, SKB P-11-26, ISSN 1651-4416, 56 pp., <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/43/026/43026210.pdf>, heruntergeladen am 26.06.2022.

Franke, W., Żelázquez, A., Porębski, S.J. et al. (1993) Saxothuringian zone in Germany and Poland: differences and common features. Geol Rundsch 82, 583–599 <https://doi.org/10.1007/BF00212418>

Gabriel, G., Vogel, D., Scheibe, R., Lindner, H., Pucher, R., Wonik, T. & Krawczyk, C. M. (2011) Anomalies of the Earth's total magnetic field in Germany – the first complete homogenous data set reveals new opportunities for multiscale geoscientific studies. Geophysical Journal International, 184, 1113-1118., DOI: 10.1111/j.1365-246X.2010.04924.x

Geissler, W. H., Kämpf, H., Kind, R., Bräuer, K., Klinge, K., Plenefisch, T., Horálek, J., Zedník, J. & Nehybka, V. (2005) Seismic structure and location of a CO₂ source in the upper mantle of the western Eger (Ohře) Rift, central Europe. Tectonics, 24, 1-23. DOI: <https://doi.org/10.1029/2004TC001672>

Gesetz zur staatlichen geologischen Landesaufnahme sowie zur Übermittlung, Sicherung und öffentlichen Bereitstellung geologischer Daten und zur Zurverfügungstellung geologi-

scher Daten zur Erfüllung öffentlicher Aufgaben Geologiedatengesetz—GeoldG), Pub. L. No. BGBl. I S. 1387, 21 (2020). <https://www.gesetze-im-internet.de/geoldg/GeoldG.pdf>

Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz—StandAG), Pub. L. No. BGBl. I S. 1074 (2017). <https://www.gesetze-im-internet.de/standag2017/StandAG.pdf>

Hallas, P., Müller, F. & Kroner, U. (2022) The anisotropic properties of Granite – the GAME project – preliminary results, Tagungsband, Tage der Standortauswahl, Aachen, 41, <https://standorttage2022.de/wp-content/uploads/2022/06/Tagungsband-Tage-der-Standortauswahl-2022.pdf> , heruntergeladen am 26.6.2022

Hofmann, M., Linnemann, U., Gerdes, A., Ullrich, B. & Schauer, M. (2009) Timing of dextral strike-slip processes and basement exhumation in the Elbe Zone (Saxo-Thuringian Zone): the final pulse of the Variscan Orogeny in the Bohemian Massif constrained by LA-SF-ICP-MS U–Pb zircon data. In: Murphy J.B., Keppie, J.D. & Hynes, A.J. (eds.) Ancient Origins and Modern Analogues, Geological Society, London, Special Publications ,327: 197, <http://dx.doi.org/10.1144/SP327.10>

Kossmat, F. (1927) Gliederung des varistischen Gebirgsbaues. GA Kaufmann's Buchh., Amtl. Hauptvertriebsstelle d. Sächs. Geolog. Landesamts.

Kroner, U., Hahn, T., Romer, R.L., and Linnemann, U. (2007) The Variscan orogeny in the Saxo-Thuringian zone—Heterogenous overprint of Cadomian/Paleozoic Peri-Gondwana crust, in Linnemann, U., Nance, R.D., Kraft, P., and Zulauf, G., eds., The evolution of the Rheic Ocean: From Avalonian-Cadomian active margin to Alleghenian-Variscan collision: Geological Society of America Special Paper 423, pp. 153–172, doi: 10.1130/2007.2423(06).

Martínez Catalán, J.R., Collett, S., Schulmann, K., Aleksandrowski, P., Mazur S. (2020) Correlation of allochthonous terranes and major tectonostratigraphic domains between NW Iberia and the Bohemian Massif, European Variscan belt. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 109, 1105–1131 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00531-019-01800-z>

Meissner, R., & Bortfeld, R.K., eds. (1990) DEKORP-Atlas: results of deutsches kontinentales reflexionsseismisches Programm. Springer,

Muhl, L., Hung, P. & Sass, I. (2022) Atlas der Mineralogischen und Petrophysikalischen Eigenschaften Deutscher Kristalliner Wirtsgesteine (AMPEDEK), Tagungsband, Tage der Standortauswahl, Aachen, 41, <https://standorttage2022.de/wp-content/uploads/2022/06/Tagungsband-Tage-der-Standortauswahl-2022.pdf> , heruntergeladen am 26.6.2022

Posiva OY (2012) Safety Case for the disposal of spent nuclear fuel at Oikiluoto – features, events and processes 2012. Posiva-raportti – Posiva Report, 2012-7, 467 pp., ISBN 978-951-652-188-9, heruntergeladen 26.06.2022: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/22134704>

Schaarschmidt, A., Dietl, C., Gabriel, G., & de Wall, H. (2016) Erkundung des geologischen Untergrundes in Nordost-Bayern als Grundlage zur Bewertung des geothermischen Potenzials-Schweremodellierung des nördlichen Fränkischen Beckens: Granite im tiefen Untergrund? <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1342560/file.pdf>. Zuletzt geöffnet am 27.11.2021

Schönhofen-Romer, M., Liebscher, A., Reijonen, H., Aaltonen, I., Liu, X., Lilja, Ch., Norris, S., Keech, P., & Diomidis, N. (2022) Michigan International Copper Analogue (MICA) project – Langzeitverhalten von Kupfer in natürlichen Systemen zur Unterstützung der Sicherheitsbetrachtungen, Tagungsband, Tage der Standortauswahl, Aachen, 41, <https://standorttage2022.de/wp-content/uploads/2022/06/Tagungsband-Tage-der-Standortauswahl-2022.pdf> , heruntergeladen am 26.6.2022

Schreiber, U. & Jentzsch, G. (2021) *Vulkanische Gefährdung in Deutschland* Bewertung möglicher vulkanischer Aktivitäten der nächsten 1 Million Jahre in Deutschland inklusive Festlegung der Gebiete mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit in diesem Zeitraum. Abschlussbericht. https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Forschung/Bericht_-_Vulkanische_Gefaehrdung_in_Deutschland_barrierefrei.pdf. Heruntergeladen am 29.06.2022

Skiba, P., Gabriel, G., Scheibe, R., Seidemann, O., Vogel, D., Krawczyk, C. & Vinnemann, C. (2010) Schwerekarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000. [Internet Webpage]. Hannover: LIAG - Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik. Zugriff zuletzt am 25.06.2022. <https://www.leibniz-liag.de/forschung/methoden/gravimetrie-magnetik/bouguer-anomalien.html>

Weinert, S., Bär, K., Sass, I. (2020) Petrophysical Properties of the Mid-German Crystalline High: A Database for Bavarian, Hessian, Rhineland-Palatinate and Thuringian Outcrops. TUDatalib, <https://doi.org/10.25534/tudatalib-278>.

Weinert, S., Bär, K., Sass, I. (2021) Database of Petrophysical Properties of the Mid-German Crystalline Rise. *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 1441–1459, <https://doi.org/10.5194/essd-13-1441-2021>