Gutachten

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

Hier: „Sichtung des Zwischenberichts Teilgebiete und seiner untersetzenden Unterlagen sowie bei Bedarf eine Akteneinsicht bei der BGE zur Beantwortung der folgenden konkreten Fragestellung. Sind die Kriterien, anhand derer das Gebiet zur Methodenentwicklung (GzM) „Saxothuringikum“ (009_00TG_194_00IG_K_g_SO) ausgewählt wurde, geeignet die Methoden für die Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) gem. § 14 Abs. 1 i.V.m. § 27 StandAG für das kristalline Wirtsgestein zu entwickeln? Ist das GzM „Saxothuringikum“ geeignet, die Methoden zu entwickeln, die für die rvSU mit Blick auf das kristalline Wirtsgestein benötigt werden?

Auftraggeber: Nationales Begleitgremium Geschäftsstelle Buchholzweg 8 13627 Berlin

Vergabestelle: Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau

Auftragsdatum: 04. Oktober 2021

Autor: Prof. Dr. Jan Behrmann

Wittmoldt, den 30. November 2021

(Prof. Dr. Jan Behrmann)

1. Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Inhaltsverzeichnis	2
2. Vorbemerkung und Aufgabenstellung	2
3. Kriterien bei der Auswahl des Teilgebiets zur Methodenentwicklung	3
4. Geologie des Teilgebiets zur Methodenentwicklung und verfügbare Daten	5
5. Kurzer Vergleich mit anderen Teilgebieten für kristallines Wirtsgestein	8
6. Eignung des Teilgebiets zur Methodenentwicklung	11
7. Verfügbare und geeignete Methoden und Methodenkombinationen	14
8. Handlungsempfehlungen	16
9. Zusammenfassung	17
10. Zitierte Literatur	18

2. Vorbemerkung und Aufgabenstellung

Die hier vorgelegte Stellungnahme befasst sich vor allem mit den folgenden zwei Fragen. Die erste bezieht sich auf die Kriterien, anhand derer das Gebiet zur Methodenentwicklung (GzM) „Saxothuringikum“ (009_00TG_194_00IG_K_g_SO) ausgewählt wurde:

Sind diese geeignet, die Methoden für die Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) gem. § 14 Abs. 1 i.V.m. § 27 StandAG für das kristalline Wirtsgestein zu entwickeln?

Die zweite Frage lautet:

Ist das GzM „Saxothuringikum“ geeignet, die Methoden zu entwickeln, die für die rvSU mit Blick auf das kristalline Wirtsgestein benötigt werden?

Die durch die Pressemitteilungen (BGE, 2021a, 2021b) bekanntgegebenen Gebiete zur Methodenentwicklung sind Teilgebiete im Sinne des Zwischenberichts Teilgebiete (BGE, 2020a), die von den BGE anhand von bereits existierenden Daten in den Blick genommen wurden, um spezifische Fragen zur Bewertung der Sicherheit eines Endlagersystems beantworten zu können. Leitende Fragen bei der Auswahl waren zum Beispiel: Wie viele Bohrungen gibt es erstens und ist die räumliche Verteilung der Bohrungen heterogen genug

um den Umgang mit heterogenen Datenbeständen entwickeln und erproben zu können, und was lässt sich zweitens aus den ermittelten Daten für die umfassende geologische Beschreibung des Gebiets mit Blick auf den sicheren Einschluss radioaktiver Abfälle ableiten? Dies wurde sinngemäß erklärt und angekündigt in zwei Schreiben der BGE an die Landräte/innen und Bürgermeister/innen der von der Auswahl betroffenen Landkreise und Städte (BGE 2021c, 2021d), hat aber in der weiteren, darauf folgenden Kommunikation der BGE mit der Öffentlichkeit leider bisher keine herausgehobene Rolle gespielt. Die nachgeschobene Kommunikation (BGE 2021b) hat Einiges geleistet zumindest Fachleuten die Auswahl zu erklären, jedoch praktisch nichts, um die Öffentlichkeit in der Sache aufzuklären und diese hinsichtlich der Argumentation mitzunehmen.

Bei der Vorstellung der Gebiete zur Methodenentwicklung galt die im Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020a) vorgenommene Einteilung unverändert fort. Deswegen stand die BGE vor der Wahl unter sieben Teilgebieten (TG) und entschied sich für die Auswahl des TG „Saxothuringikum“ (009_00TG_194_00IG_K_g_SO), jedoch ohne gleichzeitig weiter zu begründen wieso dieses den anderen TG vorgezogen wurde. Dies bedeutet für die hier vorliegende Stellungnahme, dass eine abwägende Darstellung der Eignung aller Teilgebiete als GzM angezeigt ist. Dies wird im Folgenden unternommen. Aus dieser Analyse lässt sich dann auch die Folgerichtigkeit der Auswahl ableiten, oder eben nicht.

Zunächst sind jedoch untenstehend die angewendeten Kriterien bei der Auswahl des GzM zu erörtern

3. Kriterien bei der Auswahl des Teilgebiets zur Methodenentwicklung

In den Gebieten zur Methodenentwicklung soll eine generelle, systematische Herangehensweise zur Durchführung der rvSU entwickelt werden. Ein erster, wichtiger Arbeitsschritt ist die Darstellung eines Untersuchungsraumes (UR) in einer Geosynthese. Die Definition dieses Begriffes findet sich in §5 der Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndlSiUntV). Danach ist eine Geosynthese (Zitat) „die Dokumentation und Interpretation aller geowissenschaftlichen Informationen zu einem Untersuchungsraum. Ziel der Geosynthese ist eine konsistente Darstellung insbesondere der für die Sicherheit des Endlagers relevanten geowissenschaftlichen Gegebenheiten“. Ziel ist die Erstellung einer detailliert ausgearbeiteten geowissenschaftlichen Grundlage für die weiteren rvSU. Gleichermaßen kann eine Geosynthese auch als Grundlage für die Identifikation

vielversprechender Gebiete innerhalb großer Teilgebiete dienen. Die Methodik zur Erstellung einer Geosynthese muss nach Ansicht des Verfassers von der BGE in weiten Teilen erst entwickelt und erprobt werden. Hierzu ist es nötig, dass das GzM einige Kriterien aufweist, die Methodenauswahl und -entwicklung und ihre Erprobung begünstigt. Ein sehr wichtiges Kriterium nach Ansicht des Verfassers ist die heterogene Datenverfügbarkeit nach §14 des Standortauswahlgesetzes (StandAG). Im Prozess der Definition von Untersuchungsräumen innerhalb eines ausgewählten Teilgebietes ermöglicht dies, den Umgang mit den Daten mit einem Fokus auf der Verfahrensgerechtigkeit zu erproben. Das heißt, dass kein Untersuchungsraum allein aufgrund mangelnder Verfügbarkeit von Daten aus dem Verfahren ausscheiden kann, es aber auch keine einseitige Festlegung auf Gebiete mit hoher Datenverfügbarkeit geben kann. Die Methoden zur Bewertung müssen im Rahmen der Anwendung der Geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (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. Dabei ist die Vorgehensweise bei der Anwendung dieser Geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (z.B. Beushausen et al., 2020) im Blick zu behalten.

Ein Untersuchungsraum (UR) kann ein ganzes Teilgebiet sein. Dies ist ein praktikables Vorgehen bei kleinen, räumlich begrenzten und strukturell sowie von der stofflichen Zusammensetzung her wenig heterogenen Teilgebieten, wie zum Beispiel Salz in steiler Lagerung. Das Teilgebiet „Saxothuringikum“ im Kristallin demgegenüber ist von der räumlichen Ausdehnung her sehr groß (siehe unten) und sollte nach der Meinung des Verfassers in mehrere Untersuchungsräume aufgeteilt werden können, wenn dies die gesetzlichen Grundlagen zur Standortauswahl zulassen.

Nach mündlicher Darstellung der BGE beim Besuch des Verfassers zum Studium nicht veröffentlichter und frei zugänglicher Daten im Datenraum der BGE in Peine könnte ein mögliches Vorgehen innerhalb großer Untersuchungsräume (UR) aus mehreren Etappen bestehen. In einer ersten Etappe ist eine unmittelbare Eingrenzung anhand methodischer Weiterentwicklungen möglich. Beim gegenwärtigen Stand des Verfahrens (Schritt 2 in der Phase 1) 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 wird vorgeschlagen, Eingrenzungen anhand sicherheitsgerichteter Vergleiche vorzunehmen. Hierzu kommt es zur Aufteilung von UR in mehrere Vergleichsräume und der vergleichenden Bewertung anhand

transparenter Kriterienkataloge und Bewertungssysteme, die jedoch im Rahmen der Methodenentwicklung mitentwickelt werden müssten. Das Ergebnis kann die Identifikation vielversprechender Gebiete innerhalb eines UR sein. Diese werden dann innerhalb der rvSU detaillierter betrachtet und als „Sub-Untersuchungsraum“ (Sub UR) bezeichnet. Die Sub UR erfahren eine weitere Erhöhung des Detaillierungsgrades bei der geowissenschaftlichen Beschreibung und damit eine detailliert ausgearbeitete Grundlage für die weiteren Sicherheitsuntersuchungen.

Der Verfasser empfiehlt hier, dass dieses mögliche Vorgehen bei der Behandlung großer Untersuchungsräume im gewählten GzM möglichst umfassend erprobt und angewendet wird. Es könnte dabei helfen, die Verfahrensgerechtigkeit zu erhalten und gleichzeitig die Praktikabilität der Standortsuche in den nächsten Schritten und Phasen in den sieben Teilgebieten im Kristallin sicherstellen. Dieser Aspekt wird im Rahmen dieser Stellungnahme in den Abschnitten 5 und 6 untenstehend noch einmal aufgegriffen und diskutiert werden. Bei Anwendung dieses Vorgehens auf alle 90 Teilgebiete für alle Wirtsgesteine wird es nach Einschätzung des Verfassers voraussehbar eine sehr hohe Anzahl von Untersuchungsräumen und Sub UR geben, deren Zahl dann im Prozess der rvSU fortschreitend eingeengt wird. Ist diese Einschätzung wahr, dann kommt auf die BGE ein sehr umfassendes Arbeitspaket zu. Das Vorgehen könnte jedoch lohnend sein, wenn man zu einer sauberen und effizienten Ermittlung von Standortregionen kommen möchte.

4. Geologie des Teilgebiets zur Methodenentwicklung und verfügbare Daten

Das Teilgebiet „Saxothuringikum“ (009_00TG_194_00IG_K_g_SO) besitzt mit 32655 km^2 eine sehr große Ausdehnung und befindet sich in den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Wenn man die Ausschlussflächen außer Betracht lässt ist das Teilgebiet etwa deckungsgleich mit der Saxothuringischen Zone, wie sie von Kossmat (1927) definiert worden ist. Das Saxothuringikum (z.B. Franke et al., 1993) ist eine der großen Baueinheiten des Variszischen Gebirges in Europa (z.B. 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 intrudierte Gesteine und Subvulkanite. Diese große Diversität und die Definition des Teilgebietes aufgrund tektonostratigraphischer Kriterien (BGE 2020a) hat dazu geführt, dass größere

Teilbereiche des Saxothuringikums von Gesteinen aufgebaut sind, die der Definition „Kristallines Wirtsgestein“ im Sinne der BGE (2021e) nicht entsprechen und daher in der geographischen Ausgestaltung des Teilgebietes nicht berücksichtigt sind. Die Eignung der im Teilgebiet in den durch den Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020a) beschriebenen Tiefenlagen unter Grund ist jedoch im Verlauf der weiteren Bearbeitung noch einmal 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 muss es im Verlauf der nächsten Untersuchungsschnitte des Teilgebiets zu erheblichen Neuzuschnitten und Korrekturen kommen.

Das Saxothuringikum und seine kristallinen Wirtsgesteine sind im erdgeschichtlichen Sinne von mehreren Gebirgsbildungen geprägt. Die ältesten Kristallingesteine sind in der Cadomischen Gebirgsbildung vor etwa 580 bis 540 Millionen Jahre entstanden und dann vielerorts vor 485-460 Millionen Jahren erneut umgewandelt und von granitischem Magmatismus überprägt worden sind (z.B. Kroner et al., 2007). Während und nach einer weiteren Gesteinsumwandlung zwischen 340 und 280 Millionen Jahren wurden großflächig weiter Granite und Subvulkanite gebildet. Gegen Ende der Geschichte dieser Gebirgsbildungen kam es zur Ausbildung von Scherzonen (z.B. Berger et al., 2011). Diese Scherzonen wurden teils in der Erdneuzeit (Kreidezeit, 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).

Die Datendichte (d.h. Daten aus dem Bergbau, aus Rohstofferkundungen, aber auch aus Bohrungen) ist in einigen Bereichen sehr hoch, während in anderen Bereichen nur wenige Daten vorliegen. Die Dokumentation der geologischen Oberflächenbefunde ist im gesamten Teilgebiet etwa gleich gut. Bei der Dichte der Bohrungen, deren veröffentlichte und unveröffentlichte Daten im Datenraum der BGE vorhanden sind, wird aber eine erhebliche Heterogenität offenbar. An Bohrungen mit einer Endteufe von mehr als 1000 m befinden sich im Datenraum der BGE aus Bayern 87, aus Thüringen 319, aus Brandenburg 0, aus Sachsen-Anhalt 0, aus Sachsen 23 und aus Baden-Württemberg 0 Datensätze. Bohrungen mit einer Bohrstrecke von wenigstens 1000 m werden vom Verfasser als besonders relevant angesehen, da zur Herstellung von Geosynthesen räumliche Rekonstruktionen des Gebirges von mehrfacher Größe einschlusswirksamer Gebirgsbereiche angezeigt sind. Es ergibt sich aus der Verteilung der Bohrungen also für das Teilgebiet eine sehr heterogene Datendichte und Datenverfügbarkeit. Ein Gleiches gilt für die vorhandenen bzw. in entsprechenden

Abfragen angeforderten geophysikalischen Daten. Interpretationen reflexionsseismischer Daten sind publiziert und damit öffentlich zugänglich (z.B. Meissner & Bortfeld, 1990; DEKORP Research Group B, 1994). Die Bereitstellung und ggf. Reprozessierung der Daten könnte möglich sein, ist aber mit Sicherheit ein sehr aufwändiger Arbeitsprozess. Da die tiefreichende Reflexionsseismik nur in wenigen Profillinien gemessen wurde ergibt sich allerdings auch hier ein Bild sehr heterogener Datenverfügbarkeit.

Kurz zusammengefasst befinden sich derzeit die folgenden für die Methodenentwicklung wichtigen Daten in digitaler, veröffentlichter Form im Datenraum der BGE: Geologische Karten GK400 und GK100, Bohrungen aus allen im Teilgebiet gelegenen Bundesländern außer Baden-Württemberg. Reflexionsseismische Daten sind teils vorhanden, teils angefordert. Daten zur Magnetik und Schweredaten sind teils vorhanden. Die Datenquelle ist hier vor allem das Leibniz-Institut für Angewandte Geowissenschaften (LIAG). Große Datenabfragen laufen nach Auskunft der BGE derzeit an die Adressen der Landesbehörden in Bayern und Sachsen.

Angesichts der offenbar schwierigen und langsamen Datenbeschaffung zum jetzigen Zeitpunkt wird hier angeraten, im Rahmen der geowissenschaftlichen Methodenentwicklung im Teilgebiet „Saxothuringikum“ (009_00TG_194_00IG_K_g_SO) zunächst Bereiche in den Blick zu nehmen, in denen die Integration von geologischen Oberflächendaten, Bohrungsdaten und geophysikalischen Untersuchungen des Untergrundes bereits angegangen worden ist und wo zumindest Zwischenergebnisse vorliegen. Dies ist beispielsweise in Gebieten der Fall in denen die Potenziale für Tiefengeothermie studiert worden sind (z.B. Berger et al., 2011; Schaarschmidt et al., 2016). Dort liegen interpretierte 3D Modelle vor, mit denen methodisch gearbeitet werden könnte. Beide Beispiele besitzen den Grad an geologischer Komplexität, in der Konzepte und Kriterienkataloge hinsichtlich der Auswahl von UR und Sub UR erprobt werden könnten.

Die Definition und räumliche Verbreitung von kristallinem Wirtsgestein, im gesamten Teilgebiet, insbesondere die Bereiche, in denen dieses in ausreichender Mächtigkeit, günstiger Tiefenlage und Ausbildung vorhanden ist, erfordert absehbar jedoch ein Vielfaches der für den Schritt der Methodenentwicklung veranschlagten Zeit und der Personalressourcen.

5. Kurzer Vergleich mit anderen Teilgebieten für kristallines Wirtsgestein

Auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland sind im Zwischenbericht Teilgebiete (BGE 2020a) insgesamt sieben Teilgebiete mit dem Wirtsgestein Kristallin ausgewiesen worden. Bei der Bewertung ihrer Eignung als Gebiete zur Methodenentwicklung hat der Verfasser vor allem die Möglichkeiten der Integration geologischer Daten mit Bohrungsdaten und geophysikalischen Daten (vor allem seismischer Daten) in Betracht gezogen. Dies sind die Informationen, die bei der Erstellung der Geosynthese eines Untersuchungsraums zuvorderst wichtig erscheinen. Zieht man die nötige Größe von einschlusswirksamen Gebirgsbereichen mit in Betracht, sind die Bohrungen mit Endteufen größer als 1000 m als wichtig anzusehen, sowie die Größe von Teilgebieten selbst. Beides begrenzt die Eignung einiger der unten beschriebenen Teilgebiete als GzM. Weiter sollte in einem GzM möglichst die gesamte Bandbreite von Kristallingesteinen zur Verfügung stehen, um für die Mindestanforderungen nach §23 StandAG Kriterienkataloge für die rvSU entwickeln zu können

Zuerst wird das Teilgebiet 014_00TG_199_00IG_K_g_NPZ betrachtet. Es handelt sich hier um ein Vorkommen der Nördlichen Phyllitzone in Südhessen (BGE 2020a). Die Abmessungen betragen etwa 10x3 km, bei einer Gesamtgröße von 10 km^2. Es schließt sich nordwestlich an das Saxothuringium an. Dieser Teil der Nördlichen Phyllitzone ist eine schmale Zone schwach metamorpher Phyllite, Serizit-Gneise und Grünschiefer, die sich vorherrschend aus Tonsteinen und Vulkaniten gebildet haben (z.B. Klügel et al., 1994). Diese Gesteinstypen sind durchwegs auch im Licht der Einschätzung der BGE (BGE 2021e) als wenig geeignet für die Errichtung eines Endlagers anzusehen (siehe oben). Hinzu kommt die geringe Ausdehnung des Teilgebietes, die Definition und Teilung von UR nicht wirklich ermöglicht und deswegen eine Verwendung als GzM als nicht ratsam erscheinen lässt.

Teilgebiet 010_00TG_193_00IG_K_g_MKZ (Mitteldeutsche Kristallinzone, ca. 10066 km^2)
Das Teilgebiet erstreckt sich von Südwesten nach Nordosten über Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Bayern, Hessen nach Thüringen, Sachsen- Anhalt und Brandenburg.
Das Teilgebiet befindet sich im Grundgebirge der Mitteldeutschen Kristallinzone (z.B. von Gaertner, 1960), das vom Untergrund des permo-karbonischen Saar-Nahe Beckens über den westlichen Rheintalgrabens, den Odenwald, den Spessart, das Ruhlaer Kristallin, den Kyffhäuser bis zu den Bohrungen im Dessauer Kristallin reicht. Weiter östlich ist die MKZ nur aus Bohrungen bekannt. Das Teilgebiet der MKZ ist sehr vorherrschend aus meist hochgradig metamorphen Gneisen und Graniten zusammengesetzt. Diese Gesteine kommen als kristalline Wirtsgesteine größtenteils in Frage. Was das Teilgebiet jedoch nicht

besitzt ist die gesamte Spanne von Kristallingesteinen. Es fehlen vor allem niedriggradig und mittelgradig umgewandelte Sedimente. Die macht das Gebiet insgesamt weniger geeignet als GzM. An Bohrungen mit einer Endteufe von mehr als 1000 m gibt es in der MKZ an veröffentlichten und unveröffentlichten Daten im Datenraum der BGE insgesamt 51, deren Mehrzahl auf das Gebiet des Bundeslandes Thüringen entfällt.

Das Teilgebiet 011_00TG_200_00IG_K_g_SPZ umfasst die Südliche Phyllitzone in den Bundesländern Sachsen-Anhalt und Brandenburg und ist 991 km^2 groß. Das Teilgebiet erstreckt sich entlang der Landesgrenze zwischen Sachsen-Anhalt und Sachsen bis in das Bundesland Brandenburg. Die Südliche Phyllitzone besteht ganz überwiegend aus sehr niedriggradig bis niedriggradig umgewandelten Phylliten und Metavulkaniten, die als kristalline Wirtsgesteine im Sinne der Mindestanforderungen nach §23 StandAG von der BGE als ungeeignet betrachtet werden (BGE 2020e). In der Stellungnahme des Landesamts für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB, 2020) zum Zwischenbericht Teilgebiete ist zudem zu lesen, dass (Zitat) „die Interpretation der Grundgebirgsoberfläche nicht im Sinne einer „Kristallin-Oberfläche“ zur Anwendung der Mindestanforderungen nutzen lässt. Die vorhandenen Bohrungen können die Konturen der Teilgebiete der Mitteldeutschen Kristallin-zone, Südlichen Phyllitzone und des Saxothuringikums nicht zwingend bestätigen. Aufgrund der hohen Menge an Bohrungen sind die Teilgebiete aber gut genug erforscht, um Kristallin in Endlager-relevanten Teufen auszuschließen“. Insgesamt kommt der Verfasser zur Einschätzung, dass dieses Teilgebiet als GzM vor allem wegen des Fehlens geeigneter Gesteine nicht sinnvoll nutzbar ist.

Das Teilgebiet 198_01IG_K_g_RHE umfasst Gesteine des Rhenoherzynikums im Harz in den Bundesländern Sachsen-Anhalt und Niedersachsen. Es ist 175 km^2 groß und umfasst zwei Flächen von ca. 15x10 km und 10x3 km, die durch Ausschlusskriterien voneinander getrennt sind. Die vorkommenden Gesteine sind hauptsächlich der Brocken-Granit, der Eckergneis, der Harzburg-Norit und der Ramberggranit. Außer der grundsätzlichen Eignung der Gesteinstypen hinsichtlich der Mindestanforderungen nach §23 StandAG sprechen mehrere Gründe gegen eine Auswahl als GzM. Es gibt im Teilgebiet keine Bohrungen von mehr als 100 Metern Endteufe (LAGB, 2020) und die angetroffene Spannbreite von Gesteinstypen ist sehr gering. Die geringe Größe der beiden Teilflächen macht die Definition von Untersuchungsräumen und ihre Abgrenzung für eine Geosynthese schwierig, genau wie ihre Nutzung zur Anwendung von Kriterienkatalogen bei einer rvSU.

Das Teilgebiet 012_02TG_198_02IG_K_i_RHE befindet sich im Grundgebirge der Rhenoherzynischen Zone und bezieht sich auf einen Intrusionskörper von kristallinen

Wirtsgestein aus dem Grundgebirge (Flechtingen-Granit) mit Teilen einer kontaktmetamorphen Aureole, Es liegt im Flechtinger Höhenzug und besitzt eine Größe von 52 km^2 bei einer Ausdehnung von ca. 20x5 km). Das Teilgebiet liegt im Westen von Sachsen-Anhalt, nahe der Grenze zu Niedersachsen. Die Oberfläche des Teilgebiets befindet sich in einer Teufenlage von 580 Metern bis 1 290 Metern unterhalb der Geländeoberkante (BGR 2020a). Es existiert eine Tiefbohrung, die über eine Strecke über mehreren 100 Metern Granit durchteuft hat. In weiteren Bohrungen wurden im Nebengestein Anzeichen einer Kontaktmetamorphose gefunden hat (LAGB, 2020). Die genaue Dimension des oberflächlich nicht aufgeschlossenen Kristallinvorkommens ist unsicher. Die Definition von Untersuchungsräumen für ein GzM wird vom Verfasser als schwierig angesehen. Die Datendichte ist heterogen und gering, die Spannbreite der vorgefundenen Gesteinstypen ist gering

Das Teilgebiet 013_00TG_195_00IG_K_g_MO „Moldanubikum“ (BGE 2020a) besitzt mit 36836 km^2 eine sehr große Ausdehnung und ist durch Vorkommen von Kristallingesteinen an der Erdoberfläche im Schwarzwald (Baden-Württemberg) und in Ostbayern gekennzeichnet (z.B. Martinez Catalan et al., 2020). Das flächenmäßig häufigste Gestein sind aus Sedimenten, aber auch aus Graniten durch Metamorphose entstandene Gneise, die in enger struktureller Assoziation mit Metabasiten und wenigen Serpentiniten zuletzt vor etwa 380 – 320 Millionen Jahren tief versenkt, intensiv deformiert und teilweise aufgeschmolzen worden sind. Am Ende dieses Zeitabschnitts sind regional granitische und lokal granodioritische bis dioritische Schmelzen in die Komplexe aus Gneisen und Metabasiten eingedrungen, kristallisiert und abgekühlt. Bei den Gneisen handelt es sich um strukturell und von der stofflichen Zusammensetzung her mäßig bis stark heterogen aufgebaute Gesteinskomplexe, in denen jedoch größere Vorkommen von niedriggradig umgewandelten Gesteinen fehlen. Dies würde die nötige Entwicklung von Kriterienkatalogen hinsichtlich der Mindestanforderungen nach §23 StandAG erschweren. Die Granitmassive, deren größte an der Erdoberfläche Ausdehnungen bis über 500 km^2 besitzen, zeigen generell stoffliche Homogenität, Einfachheit im Bau und die Abwesenheit durchgreifender Deformation. Vor allem im bayerischen Teil des Teilgebiets gibt es tektonische Überprägungen durch Scherzonen (siehe auch Bayerisches Geologisches Landesamt (1996a,1996b) mit intensiver Deformation und Mineralisierung, vor allem durch Quarz. All diese Gesteine befanden sich bei Beginn der Zeit des Perms vor ca. 300 Millionen Jahren) bereits in der Nähe der heutigen Landoberfläche und sind in ihrer relativen Lage nicht mehr signifikant verändert worden. Jüngere tektonische Bewegungen mit Ausbildung großer Verwerfungszonen ereigneten sich in der Kreide- und Tertiärzeit (z.B. Peterek & Schröder, 1997) und dauern am Westrand des Schwarzwaldes zum Oberrheingraben hin bis heute an (z.B. Behrmann et al., 2003). Für das

Teilgebiet gibt es an veröffentlichten und unveröffentlichten Daten im Datenraum der BGE insgesamt 11 Bohrungen mit mehr als 1000 m Endteufe (Bayern 7, Baden-Württemberg 4). Dies ist für ein Gebiet dieser Größe eine sehr geringe Dichte relevanter Bohrdaten.

6. Eignung des Teilgebiets zur Methodenentwicklung

Ein wichtiges Kriterium für die Eignung eines GzM ist seine Größe. Drei der Teilgebiete (Saxothuringikum, Moldanubikum, Mitteldeutsche Kristallinzone) hält der Verfasser für groß genug um Methoden sowie die Kriterienkataloge für Untersuchungsräume (UR) und Sub-Untersuchungsräume (Sub UR) praktikabel zu entwickeln. Die anderen vier sind zu klein um eine ausreichende Anzahl von UR und Sub UR zu kreieren.

Tektonische Überprägung ist beim GzM wichtig um das methodische Instrumentarium zu entwickeln, einen UR oder Sub UR aufgrund der Intensität der Deformation nach der Gesteinsgenese zu differenzieren. Ein gut geeignetes GZM sollte also eine ausreichend komplexe Geschichte tektonischer Überprägung aufweisen. Dieses Kriterium erfüllen fast alle Teilgebiete wenigstens gut, mit Ausnahme der Südlichen Phyllitzone. Hauptgrund hierfür sind die Strukturen, die bei der Inversionstektonik vor allem in der jüngeren Kreidezeit gebildet worden sind, die sich aber teilweise auch mit älteren Scherzonen räumlich überdecken.

Eine heterogene Datendichte ist in allen sieben Teilgebieten gegeben. Die Existenz verborgener Körper von geeigneten Wirtsgesteinen in der Tiefe unter Bedeckung von nicht geeigneten Gesteinen ist in allen Teilgebieten denkbar, jedoch im Teilgebiet Saxothuringikum in der größten Ausdehnung vorhanden.

Betrachtet man abwägend die Beschreibungen in den vorangegangenen Abschnitten 4 und 5, so ist offenbar, dass das Teilgebiet Saxothuringikum das einzige Teilgebiet mit der kompletten Bandbreite an kristallinen Gesteinstypen ist, die als Wirtsgesteine entweder ohne Einschränkungen, mit Einschränkungen oder aber nicht in Frage kommen. Es existiert eine große Anzahl großvolumiger, plutonischer Körper von Granit oder Granodiorit aus mehreren Erdzeitaltern, die aus der Sicht des Verfassers sämtlich für eine Definition als Untersuchungsräume (UR) in Frage kommen. Dies gilt besonders für die Granite und Granodiorite, die am Ende der Variszischen Gebirgsbildung in größerer Tiefe in der Erdkruste intrudiert sind, jedoch weniger für die oberflächennahen und subvulkanischen

Intrusivkörper. Ebenso sind die ebenfalls vorhandenen, komplex gegliederte Plutone gesondert zu betrachten. Für die Methodenentwicklung stellt diese Vielgestaltigkeit und große Auswahl an Plutonen einen Vorteil dar, denn auf diese Weise lassen sich transparente Kriterienkataloge optimal entwickeln. Auch kann dort das Vorgehen der Untergliederungen in Sub-Untersuchungsräume (Sub UR) gut und nachvollziehbar entwickelt werden.

Andere Teilgebiete, besonders 013_00TG_195_00IG_K_g_MO „Moldanubikum“ und 010_00TG_193_00IG_K_g_MKZ „Mitteldeutsche Kristallinzone“ enthalten ebenfalls plutonische Gesteinskörper, die sich in Größe und Diversität zur Methodenentwicklung eignen. Jedoch sind Anzahlen und Größenspektren kleiner. Die Teilgebiete 198_01IG_K_g_RHE im Harz und 012_02TG_198_02IG_K_i_RHE im Flechtinger Höhenzug enthalten zwar Granite, jedoch sind die Plutone relativ klein und teils geometrisch auch nicht genau definiert bzw. definierbar. Dies schränkt sowohl die Möglichkeiten zur Methodenentwicklung als auch die Definition von UR und die Auswahl von Sub UR ganz erheblich ein.

Hochgradig metamorph umgewandelte Gesteine (Gneise und Migmatite), die zweite Kategorie geeigneter kristalliner Wirtsgesteine, sind im Teilgebiet Saxothuringikum ebenfalls großflächig und in großer Diversität vorhanden. Die Bandbreite reicht von ehemals teilgeschmolzenen Gneisen (Migmatiten) über Granulite (Gesteine mit wenigen wasserhaltigen Mineralphasen) bis zu bei hoher Temperatur umgewandelten und plastisch verformten ehemaligen Sedimentgesteinen oder magmatischen Gesteinen. Sie fallen unter den Sammelbegriff „Gneise“, der vor allem die kompakte Textur und Struktur bezeichnet. Gleichzeitig gibt es im ausgewählten Teilgebiet zur Methodenentwicklung aber auch weit verbreitet kristalline Gesteine (z.B. Glimmerschiefer, Phyllite, andere gering oder nicht metamorphe Gesteine) die die Mindestanforderungen für ein Kristallines Wirtsgestein absehbar nicht erfüllen werden. Die Mineralzusammensetzungen, sowie die kleinmaßstäbliche Textur und Struktur dieser Gesteinstypen sind ein einfaches und nachvollziehbares Ausschlusskriterium, das im Rahmen der Methodenentwicklung angewandt, getestet und verfeinert werden kann. Darüber hinaus sind beim Zuschnitt des Teilgebietes hinsichtlich der erwarteten Tiefenlage Kristalliner Wirtsgesteine in beträchtlichem Umfang Fehler gemacht worden (siehe Diskussion oben), deren Korrektur ansteht und die bei der Auswahl von UR und Sub UR ebenfalls eine Rolle spielen sollte.

Die fünf anderen Teilgebiete sind hinsichtlich des großräumigen Vorkommens von Gneisen aller Art deutlich im Nachteil gegenüber dem als GzM ausgewählten Teilgebiets Saxothuringikum. Eine markante Ausnahme bildet das Teilgebiet Moldanubikum, das Gneise

in sehr großflächiger und vielgestaltiger Ausbildung enthält. Was in diesem Teilgebiet jedoch weitgehend fehlt ist das Vorhandensein als kristallines Wirtsgestein absehbar ungeeigneter Gesteinstypen, die in einem Prozess der Definition von UR und Sub UR ausgeschlossen werden könnten. Das heißt die gesamte Bandbreite von geeigneten bis zu ungeeigneten Gesteinstypen ist hier eingeschränkt. Dem Teilgebiet Mitteldeutsche Kristallinzone fehlt ebenfalls die nötige Bandbreite von geeigneten und nicht geeigneten kristallinen Wirtsgesteinen. Beiden eben genannten Teilgebieten ist zudem zu eigen, dass die strukturelle Komplexität geringer ist als im Fall des Saxothurigikums. Gleichermaßen ist das Ausmaß der tektonischen Überprägung am Ende der Gesteinsgenese oder deutlich danach geringer.

Dreien der anderen vier Teilgebiete (Nördliche Phyllitzone, Harz, Flechtinger Höhenzug) fehlt es entweder an den geeigneten kristallinen Wirtsgesteinen, der Größe oder der strukturellen Komplexität. Einzig das methodische Instrumentarium für tektonische Überprägung könnte hier gut entwickelt werden. Im Teilgebiet Südliche Phyllitzone hält der Verfasser keines der diskutierten Kriterien für wenigstens gut erfüllt.

In diesem Abschnitt der hier vorgelegten Stellungnahme hat der Verfasser auf die Nennung von bestimmten Gesteinskörpern oder Ortsnamen bewusst verzichtet. Solche Nennungen werden Thema des fortschreitenden Prozesses der Definition und Findung von Untersuchungsräumen und Standortregionen in zukünftigen Phasen der Untersuchung sein.

In der unten folgenden tabellarischen Aufstellung wird für das Teilgebiet Saxothuringikum, aber auch für die sechs anderen Teilgebiete des Wirtsgesteins Kristallin die potenzielle Eignung für ein Gebiet zur Methodenentwicklung (GzM) anhand der oben beschriebenen fünf Kriterien in Form einer Matrix dargestellt und hinsichtlich ihrer Eignung nach Ansicht des Verfassers und in Ableitung des oben Geschriebenen bewertet. Es ergibt sich ein deutlicher Vorzug für das Teilgebiet Saxothuringikum. Die getroffene Wahl der BGE für dieses Teilgebiet hält der Verfasser deswegen für nachvollziehbar und begründbar.

Tabelle: Überblick über die Eignung als Gebiet zur Methodenentwicklung

Teilgebiet	Plutonite	Gneise etc.	Komplexität	Überprägung	Größe
Saxothuringikum	sehr gut	sehr gut	gut	gut	sehr gut
Moldanubikum	gut	sehr gut	weniger gut	weniger gut	sehr gut
Mitt. Kristallinzone	gut	gut	weniger gut	weniger gut	gut
Harz	weniger gut	weniger gut	ungeeignet	sehr gut	ungeeignet
Flechtinger Höhenz.	weniger gut	ungeeignet	weniger gut	sehr gut	ungeeignet
Nördl. Phyllitzone	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	sehr gut	ungeeignet
Südl. Phyllitzone	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	weniger gut	weniger gut

7. Verfügbare und geeignete Methoden und Methodenkombinationen

In diesem Abschnitt sollen die Methoden und Methodenkombinationen vorgestellt werden, die nach Ansicht des Verfassers die Entwicklung von Geosynthesen und die Durchführung der weiteren Module der rvSU in kristallinen Wirtsgesteinen voranbringen können. Hinsichtlich der Methodenentwicklung kann es weniger um die Erfindung und Erprobung generisch neuer Methoden gehen, sondern um die testweise Anwendung und Optimierung bereits bekannter Methoden im GzM. Eine gute Übersicht über das methodische Instrumentarium gibt die Datenbank GeM-DB (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021), die derzeit von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe im Auftrag der BGE entwickelt wird. GeM-DB ist die Weboberfläche einer recherchierbaren Datenbank der geophysikalischen und geowissenschaftlichen Methoden für die übertägige Erkundung gemäß § 16 StandAG. Aus GeM-DB lässt sich destillieren, dass die zunächst wichtigste Methode zur Erstellung von Geosynthesen in UR in kristallinem Wirtsgestein sicher die geologische Kartierung ist, unterstützt von Daten aus Bohrungen und den Ergebnissen geophysikalischer Tiefensondierung (Seismik, Magnetik, Gravimetrie). Bei der Erstellung von 3D-Modellen aus diesen Daten ist jedoch zu berücksichtigen, dass Befunde geologischer Kartierungen und Daten aus Bohrungen zunächst einmal „analog“ generierte Datensätze sind, die auf der Basis umfangreicher Papierarchive digital konstruiert bzw. rekonstruiert werden müssen. Die fehlende Verfügbarkeit genau dieser Daten ist gegenwärtig nach Ansicht des Verfassers eines der großen Probleme für die Gesamtheit der verfügbaren veröffentlichten und unveröffentlichten im Datenraum der BGE, der naturgemäß nur die digital verfügbaren Daten enthalten kann. Diese sind aber nur ein unbekannt großer

oder kleiner Teil der tatsächlich vorhandenen Daten. Es besteht zwischen Bund und Ländern derzeit offensichtlich kein Einvernehmen darüber, ob, wie und von wem dieses Problem grundlegend zu lösen ist. Für das Stadium der Methodenentwicklung selbst ist deshalb derzeit ein Rekurs auf bereits vorhandene 3D-Modelle zu empfehlen (siehe Diskussion auf Seite 7 dieser Stellungnahme), die auch bereits auf einer qualitativen Integration geologischer und geophysikalischer Daten aufgebaut sind. Diese Möglichkeit wird jedoch ihre Grenzen finden, wenn im Zuge der Standortauswahl Geosynthesen aller Teilgebiete bzw. Untersuchungsräume erarbeitet werden müssen.

Im Weiteren ist die Schaffung einer Geosynthese eines UR oder Sub UR 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 schwierig sein, UR oder Sub UR in einem Teilgebiet anhand der Mindestanforderungen vergleichend bewerten zu können. Eine Ausnahme machen dabei qualitative Bewertungen, die sich zum Beispiel aus dem Kartierbefund (Vorhandensein von Kluftsystemen, Verwerfungen und Scherzonen, Variationen in Mineralbestand, Verwitterung oder hydrothermaler Alteration) ergeben. Im Stadium der Methodenentwicklung ist es sicher sinnvoll, im GzM zunächst mit Schwerpunkt auf diesen qualitativen Daten zu operieren. Die BGE bemüht sich derzeit, im Rahmen des extern vergebenen Forschungsvorhabens AMPEDEK (BGE 2021f) 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). Hier liegt ein durchaus vielversprechender Ansatz, die Anwendung der rvSU-Module zukünftig stärker mit quantitativen Daten zu den Eigenschaften kristalliner Wirtsgesteine zu hinterlegen.

Sehr unklar bleibt allerdings weiterhin, wie der Prozess der Erstellung einer Geosynthese und die Anwendung der anderen rvSU-Module im Standortauswahlprozess genau funktionieren soll. Ist die Anwendung iterativ? Kann der Prozess der rvSU selbst „lernend“ sein, wenn neue Daten zur Verfügung stehen? Wie werden derzeit nicht digital verfügbare Daten in das Verfahren eingebunden? Eine Klärung dieser Fragen durch die BGE ist dringend erforderlich, wenn das Stadium der Methodenentwicklung planmäßig im Frühjahr 2022 zu Ende kommen sollte.

8. Handlungsempfehlungen

Aus der oben unternommenen Erörterung ergeben sich folgenden Handlungsempfehlungen:

Es wird empfohlen, dass ein Vorgehen vergleichender Bewertung anhand transparenter Kriterienkataloge und Bewertungssysteme bei der Behandlung großer Untersuchungsräume im gewählten Gebiet zur Methodenentwicklung möglichst umfassend erprobt und angewendet wird. Dies könnte dabei helfen, die Verfahrensgerechtigkeit zu erhalten und gleichzeitig die Praktikabilität der Standortsuche in künftigen Schritten und Phasen in den sieben Teilgebieten im Kristallin sicherzustellen.

Weiterhin wird empfohlen, dass die BGE die bei der räumlichen Definition des Teilgebietes Saxothuringikum aufgetretenen, deutlichen Fehler hinsichtlich des Vorhandenseins geeigneter kristalliner Wirtsgesteine im Untergrund berichtigt. Der Prozess der Methodenentwicklung und die Definition der Untersuchungsräume könnte bei der anstehenden Berichtigung produktiv eingesetzt werden.

Es wird schließlich empfohlen, die BGE möge der Öffentlichkeit für Laien verständlich kommunizieren und erklären, wie die Erstellung einer Geosynthese und die Anwendung der anderen rvSU-Module im Standortauswahlprozess genau funktionieren. Ist die Anwendung iterativ? Kann der Anwendungsprozess der rvSU selbst „lernend“ sein, wenn neue Daten zur Verfügung stehen? Wie werden derzeit nicht digital verfügbare Daten in das Verfahren eingebunden? Dem Nationalen Begleitgremium wird empfohlen, gegenüber der BGE hinsichtlich dieser für die Öffentlichkeit sehr wichtigen Fragen immer wieder Transparenz einzufordern.

9. Zusammenfassung

Die Antworten auf die beiden im Rahmen der Beauftragung der vorliegenden Stellungnahme gestellten Fragen sind wie folgt.

1. Die Kriterien, anhand derer das Gebiet zur Methodenentwicklung (GzM) „Saxothuringikum“ (009_00TG_194_00IG_K_g_SO) ausgewählt wurde, sind generell geeignet, die Methoden für die Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) gem. § 14 Abs. 1 i.V.m. § 27 StandAG für das kristalline Wirtsgestein zu entwickeln.

2. Das GzM „Saxothuringikum“ ist unter den sieben Teilgebieten mit Blick auf das kristalline Wirtsgestein nach einer vergleichenden Bewertung am besten geeignet, die Methoden zu entwickeln, die für die rvSU benötigt werden.

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) hat für das GzM nachvollziehbar die richtige Wahl getroffen.

Fragen bleiben offen hinsichtlich der Qualität der Kommunikation und der Erklärung der Auswahl gegenüber der Öffentlichkeit. Auch ist nicht klar, anhand welcher transparenten Kriterienkataloge die Auswahl und Bewertung von Untersuchungsräumen durch eine Geosynthese und die weiteren Module der rvSU erfolgen soll. Die zu verwendenden Methoden und Methodenkombinationen sollten benannt und nachvollziehbar erklärt werden.

10. Zitierte Literatur

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

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. H., Hermann, O., Horstmann, M., Tanner, D. C., & Bertrand, G. (2003). Anatomy and kinematics of oblique continental rifting revealed: a three-dimensional case study of the southeast Upper Rhine graben (Germany). AAPG Bulletin, 87(7), 1105-1121.

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.

Beushausen, M., Bebiolka, A., Kloke, R., Kuhlmann, G., Noack, V., Reinhold, K., Röhling, S., Sönnke, J. (2020) Abschlussbericht zum Konzept zur generellen Vorgehensweise zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien - Schritt 2. Hannover: BGR

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) Schreiben an Landraete Oberbuergermeister Steckbriefe zu Gebieten zur Methodenwicklung. pdf, geschwaerzt, barrierefrei https://www.bge.de/fileadmin/userupload/Standortsuche/WesentlicheUnterlagen/Methodik/2021-07-14SchreibenanLandraeteOberbuergermeisterSteckbriefezuGebietenzurMethodenwicklungeschwaerztbarrierefrei.pdf

BGE (2021d) Schreiben an Landraet in Standortauswahlverfahren Gebiete zur Methodenwicklung in Schritt 2 der Phase 1. Pdf, geschwaerzt, bar https://www.bge.de/fileadmin/userupload/Standortsuche/WesentlicheUnterlagen/Methodik/2021-07-02SchreibenanLandraetinStandortauswahlverfahrenGebietezurMethodenwicklunginSchritt2derPhase1geschwaerztbar.pdf

BGE (2021e) Meldung – Standortsuche, 08. Juli 2020: BGE definiert die Wirtsgesteine für ein Endlager. https://www.bge.de/de/endlagersuche/meldungen-und-pressemitteilungen/archiv/meldung/news/2020/7/468-endlagersuche/, zuletzt geöffnet am 24.11.2021

BGE (2021f) Atlas der Mineralogischen und Petrophysikalischen Eigenschaften Deutscher Kristalliner Wirtsgesteine (AMPEDEK) https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Forschung/2021-05-

28_BGE_Projektskizze_OEffentlichkeit_AMPEDEK_barrierefrei.pdf. Zuletzt geöffnet am 29.11.2021

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2021) GeM-DB - https://gemdb.bgr.de/login.php?e=1. Zuletzt geöffnet am 29.11.2021

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., Kämmlein, M., Gabriel, G., Bestmann, M. & Scharfenberg, L. (2019) Subsurface granites in the Franconian Basin as the source of en-hanced 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

Franke, W., Żelázniewicz, A., Porćebski, 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

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., JKeppie, J.D. & Hynes, A.J. (eds.) Ancient Origens and Modern Analogues, Geological Society, London, Special Publications ,327: 197, http://dx.doi.org/10.1144/SP327.10

Klügel, T., Ahrendt, H., Oncken, O., Schäfer, F., Käfer, N., Weiß, B. (1994) Alter und Herkunft der Sedimente der Phyllitzone - der Taunussüdrand. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 145, 172-191.

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).

LAGB (2020) Stellungnahme des Landesamtes für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) zum „Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG“ der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) vom 28.09.2020 – zur Betroffenheit des Landes Sachsen-Anhalt. https://www.bge.de/fileadmin/userupload/Standortsuche/WesentlicheUnterlagen/Fachdiskussionen/Stellungnahmen/Fachstellungnahmen/2021-06-03StellungnahmeLAGBStellungnahmezumZwischenberichtTeilgebietegeschwaerztbarrierefrei.pdf. Zuletzt geöffnet am 25.11.2021.

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,

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

von Gaertner, H.R. (1960) Über Gebirgszusammenhänge in den mitteleuropäischen Varistischen Ketten (Geosynklinale und Lineament). Geol Rundsch 50, 433–438. https://doi.org/10.1007/BF01786857

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