Gutachten zu den Fragen:

Sind die Kriterien, anhand derer das Gebiet zur Methodenentwicklung (GzM) „Thüringer Becken“ (Teilgebiet 078_02TG_197_02IG_S_f_z) ausgewählt wurde, geeignet, die Methoden für die Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) gem. § 14 Abs. 1 i.V.m. § 27 StandAG für das Wirtsgestein „Steinsalz (flache Lagerung)“ zu entwickeln?

Ist das GzM „Thüringer Becken“ geeignet, die Methoden zu entwickeln, die für die rvSU mit Blick auf das Wirtsgestein „Steinsalz (flache Lagerung)“ benötigt werden?

GzM Gebiet zur Methodenentwicklung

TG Teilgebiet

StandAG Standortauswahlgesetz

rvSU repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen

Auftraggeber:

Nationales Begleitgremium Geschäftsstelle,
Buchholzweg 8, 13627 Berlin

Gutachter:

Prof. Dr. Michael Kühn,
Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ),
Telegrafenberg, 14473 Potsdam

Projektnummer 153434-07

Potsdam, 30. November 2021

Zusammenfassung der Beurteilung der Modellregion Thüringer Becken

Im Auftrag des Nationalen Begleitgremiums (NBG), das den Prozess der Endlagersuche für hochradioaktive Abfälle unabhängig und vermittelnd begleitet, wurden die Kriterien, die zur Auswahl des Thüringer Beckens als Gebiet zur Methodenentwicklung (GzM) geführt haben, überprüft. Weiterhin wurde untersucht, ob sich das ausgewählte Gebiet eignet, um daran die Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) für das Wirtsgestein „Steinsalz in flacher Lagerung“ zu entwickeln. Das resultierende Verfahren stellt eine wesentliche Grundlage zur Ermittlung der Standortregionen für die übertägige Erkundung gemäß dem Standortauswahlgesetz (StandAG) dar.

Die Begutachtung erfolgte anhand des von der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) veröffentlichten „Zwischenbericht[s] Teilgebiete [...]“ und ergänzender Unterlagen. Darüber hinaus fand im November 2021 eine umfangreiche Akteneinsicht von nicht öffentlichem Material im Datenarchiv der BGE statt. Im Vorfeld dazu, beim Besuch selber und im Nachgang wurden Fragen mit Mitarbeiter*innen der BGE ausführlich erörtert.

Das GzM Thüringer Becken befindet sich in den Bundesländern Thüringen, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen und Hessen. Es umfasst 6.200 km^2 und ist damit das größte der 14 Teilgebiete (TG) Steinsalz in flacher Lagerung. Es ist eines von acht TG, die räumlich und strukturell der geologischen Einheit des Zechsteins zugeordnet werden.

Die Auswahl des GzM erfolgte aufgrund seines für Steinsalz typischen und komplexen Aufbaus mit verschiedenen Schichten, die mächtig genug sind, um ausreichend Raum für einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG, wesentliche Barriere eines Endlagers) zu bieten. Im gesamten TG ist das Steinsalz im Wesentlichen flach gelagert. Das TG Thüringer Becken zeichnet sich durch eine unterschiedliche Datendichte in verschiedenen Gebieten aus. Aufgrund der stellenweise intensiven Rohstofferkundung und -gewinnung sind einige Bereiche sehr gut untersucht, während in anderen nur sehr wenige Daten vorliegen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die von der BGE angewandten Auswahlkriterien geeignet sind, um am Thüringer Becken die Methoden für die rvSU zu entwickeln.

Die BGE entwickelt zurzeit Arbeitsmethoden und ein Konzept zur Anwendung der rvSU. Das beinhaltet u. a. eine umfangreiche Analyse der vorliegenden geologischen Daten in der sogenannten Geosynthese als auch die Erprobung von numerischen Modellierungsmethoden für die Beurteilung eines potenziellen Endlagersystems. Der Prozess ist wissens- und datenbasiert und sehr gut nachvollziehbar. Teil der Methodenentwicklung wird eine öffentliche Diskussion der erarbeiteten Herangehensweise im Frühjahr 2022 sein. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das GzM Thüringer Becken geeignet ist, um die benötigten Methoden für das Wirtsgestein Steinsalz in flacher Lagerung zu entwickeln.

Es wird empfohlen, im Rahmen der aktuellen Arbeiten den Fokus auf die qualitative und quantitative Bewertung der jeweils vorliegenden Datendichte der TG zu schärfen. Darüber hinaus müssen Verfahren zur Kontrolle der Plausibilität von Modellen und Konzepten erarbeitet werden. Nur so wird sich eine nicht hinreichende Datenlage beurteilen lassen, um daraus resultierende Ungewissheiten und Erkundungsbedarfe zu ermitteln.

Summary of the assessment of the Thuringian Basin model region

On behalf of the National Citizens' Oversight Committee (NBG), which accompanies in an independent and mediating manner the site-selection process for a final repository for high-level radioactive waste, the criteria were reviewed that led to the selection of the Thuringian Basin as an area for method development (GzM). Furthermore, it was investigated whether the selected area is suitable to develop the implementation of the representative preliminary safety analyses (rvSU) for stratiform rock salt as host rock. The resulting procedure represents an essential basis for the identification of siting regions for surface exploration according to the Site Selection Act (StandAG).

The assessment was carried out on the basis of the Subareas Interim Report and its supporting documents published by the Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE). In addition, an extensive inspection of non-public material took place in the BGE data archive in November 2021. In the run-up to the visit, during itself and afterwards, questions were discussed in detail with BGE staff.

The GzM Thuringian Basin is located in the federal states of Thuringia, Saxony-Anhalt, Lower Saxony and Hesse. It covers 6,200 km^2 and is thus the largest of the 14 sub-areas (TG) of stratiform rock salt. It is one of eight TGs that are spatially and structurally assigned to the Zechstein geological unit.

The GzM was selected because of its typical and complex structure for rock salt, with various layers that are thick enough to provide sufficient space for a containment-providing rock zone (ewG). In the entire TG, the rock salt is essentially deposited stratiformly. The Thuringian Basin is characterised by varying data densities in different regions. Due to the intensive exploration and extraction of raw materials, some areas are very well explored, while in others only few data are available. In summary, the selection criteria applied by the BGE are suitable for developing methods for rvSU in the Thuringian Basin.

The BGE is currently developing working methods and a concept for the application of rvSU. This includes a comprehensive analysis of the available geological data in the so-called geosynthesis as well as the testing of numerical modelling for the assessment of a potential repository system. The process is knowledge- and data-driven and very comprehensible. Part of the method development will be a public discussion of the approach in spring 2022. In summary, it can be said, that the GzM Thuringian Basin is suitable for developing the required methods for stratiform rock salt as host rock.

It is recommended to sharpen the focus on the qualitative and quantitative assessment of the respective data density of the subareas within the framework of the current approach. In addition, procedures for testing plausibility of models and concepts must be developed. Only in this way, it will be possible to assess an insufficient data situation in order to identify resulting uncertainties and exploration needs.

1. Hintergrund und Bezug zum Standortauswahlgesetz

„Mit dem Standortauswahlverfahren soll in einem partizipativen, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbsthinterfragenden und lernenden Verfahren für die im Inland verursachten hochradioaktiven Abfälle ein Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für eine Anlage zur Endlagerung [...] in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt werden. Der Standort mit der bestmöglichen Sicherheit ist der Standort, der im Zuge eines vergleichenden Verfahrens […] bestimmt wird und […] den dauerhaften Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung und sonstigen schädlichen Wirkungen dieser Abfälle für einen Zeitraum von einer Million Jahren gewährleistet“ (StandAG § 1, Satz 2, https://www.gesetze-im-internet.de/standag_2017/).

Das **Nationale Begleitgremium (NBG)** ist ein unabhängiges, pluralistisch zusammengesetztes Gremium, welches die Bandbreite der gesamten Gesellschaft widerspiegelt. Die Aufgabe des NBG ist gemäß des StandAG (§ 8, Satz 1) die vermittelnde und unabhängige Begleitung des Verfahrens, insbesondere mit Blick auf die Öffentlichkeitsbeteiligung. Nicht alle vorhandenen geologischen Daten, die im Standortauswahlverfahren gesammelt und verwendet werden, sind für die Öffentlichkeit zugänglich. Daher hat das NBG seine Möglichkeit genutzt, eine **Sachverständigengruppe** zu beauftragen, um Daten einsehen und bewerten zu lassen, mit dem Ziel die Transparenz im Verfahren zu erhöhen. Aufgabe der Sachverständigen ist die **stichprobenartige Qualitätskontrolle** der Daten und Verfahren und die diesbezügliche **Information der Öffentlichkeit** vonseiten des NBG.

Die **Durchführung** des **Standortauswahlverfahrens** wird durch das StandAG vorgegeben. Die **Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)** ermittelt im 2. Schritt der Phase I aus den Teilgebieten (TG) nach § 13 die **Standortregionen für die übertägige Erkundung** gemäß § 14 (Seidel und Wengler, 2021). Alle TG, die günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen, sind im „Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE, 2020) zusammengefasst.

Für die TG werden laut § 27 **repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen** (rvSU) durchgeführt. Gegenstand der rvSU ist die Bewertung, inwieweit der **sichere Einschluss** der **radioaktiven Abfälle** unter Ausnutzung der **geologischen Standortgegebenheiten** erwartet werden kann. Das **Endlagersystem** wird in dem Rahmen in seiner Gesamtheit betrachtet und entsprechend dem **Stand von Wissenschaft und Technik bewertet**. Die rvSU bilden eine der Voraussetzungen für die Entscheidung, ob ein Gebiet weiter im Auswahlverfahren betrachtet wird. Auf Grundlage der daraus ermittelten Ergebnisse werden unter erneuter Anwendung der **geowissenschaftlichen Abwägungskriterien** (geoWK) **Standortregionen** bestimmt. Ziel ist es, am Ende den Standort mit bestmöglicher Sicherheit zu ermitteln.

Für die konkrete Ermittlung der Standortregionen für die übertägige Erkundung entwickelt die BGE zunächst Methoden, um die rvSU anhand von exemplarisch ausgewählten TG durchzuführen. Diese werden **„Gebiete zur Methodenentwicklung“** (GzM) genannt. **Jedes Wirtsgestein** bzw. jede Wirtsgesteinskonfiguration ist dabei **vertreten**. Mit der Auswahl ist laut BGE keine Aussage bezüglich einer möglichen Eignung des Teilgebietes als Standortregion verbunden.

Das TG **„Thüringer Becken“** wurde von der BGE als GzM für das Wirtsgestein **Steinsalz in flacher Lagerung** ausgewählt. Das **NBG** hat mit Bezug zur Auswahl der zukünftigen Standortregionen im Rahmen des Standortauswahlverfahrens die folgenden **Fragen**, die mit diesem Gutachten beantwortet werden:

- Sind die **Kriterien**, anhand derer das **Gebiet zur Methodenentwicklung** (GzM) „Thüringer Becken“ (Teilgebiet 078_02TG_197_02IG_S_f_z) ausgewählt wurde, geeignet, die Methoden für die Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) gem. § 14 Abs. 1 i.V.m. § 27 StandAG für das Wirtsgestein „Steinsalz (flache Lagerung)“ zu entwickeln?
- Ist das **GzM „Thüringer Becken“** geeignet, die Methoden zu entwickeln, die für die rvSU mit Blick auf das Wirtsgestein **„Steinsalz (flache Lagerung)“** benötigt werden?

2. Vorgehensweise bei der Begutachtung

Der Zwischenbericht Teilgebiete wurde von der BGE am 28. September 2020 zusammen mit einer Vielzahl ergänzender Unterlagen publiziert. Diese finden sich alle leicht zugänglich auf den Internetseiten der BGE (https://www.bge.de/de/endlagersuche/wesentliche-unterlagen/zwischenbericht-teilgebiete/). **Grundlagen** des hier vorliegenden Gutachtens sind neben dem **Zwischenbericht** selber (BGE, 2020) das **Standortauswahlgesetz** (StandAG), die **Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung** (EndlSiUntV) und die **Endlagersicherheitsanforderungsverordnung** (EndlSiAnfV). Hinzu kommt der **„Steckbrief für ein Gebiet zur Methodenentwicklung – Thüringer Becken“** der unter dem Geschäftszeichen SG01201/18-3/1-2021#1 mit Stand vom 12. Juli 2021 im Internet verfügbar ist.

Am 10. und 11. November 2021 erfolgte eine umfangreiche **Akteneinsicht** von nicht öffentlichem Material im Datenarchiv der BGE. Im Vorfeld dazu, beim Besuch selber und im Nachgang wurden u. a. die folgenden **Fragen mit Mitarbeiter*innen der BGE ausführlich erörtert**:

- Wie und nach welchen **Kriterien** (Prozesse und Methodik) wurde das GzM ausgewählt?
- Welche **Daten** liegen in welcher Form für das TG Thüringer Becken vor?
- Welche geologischen **Modelle** und **Dokumentationen** des TG sind verfügbar?
- Gibt es eine **statistische Auswertung** z. B. der Datendichte des TG?
- Wie ist der aktuelle Stand der **Methodenentwicklung** zur Auswahl der Standortregionen?

Des Weiteren wurden **Stichproben** der verwendeten **Datensätze** zur Einsicht nachgefragt, die bei der Beantwortung der beiden Fragestellungen von Bedeutung sind.

3. Gebiet zur Methodenentwicklung Thüringer Becken

Das **TG** (078_02TG_197_02IG_S_f_z) befindet sich im **Thüringer Becken** und wird der räumlichen und strukturellen **geologischen Einheit Zechstein** zugeordnet, die das Wirtsgestein **Steinsalz in flacher Lagerung** enthält und wurde als solches von der BGE als GzM ausgewählt. Es erstreckt sich über die Bundesländer Thüringen, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen und Hessen. Es umfasst eine **Fläche** von **6.200 km^2** und hat eine maximale **Mächtigkeit** von **1.200 m**. Die Basisfläche des TG befindet sich in einer **Tiefe** von **400 bis 1.500 m** unterhalb der Geländeoberkante. Basierend auf der Anwendung der **geowissenschaftlichen Abwägungskriterien** im 1. Schritt der Phase I des **Standortauswahlverfahrens** und der verbalargumentativen Bewertung, wurde dem TG eine **günstige geologische Gesamtsituation** für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle bescheinigt (BGE, 2020).

Das **Thüringer Becken** als geologische Struktur erstreckt sich über eine Fläche von ca. 10.000 km^2 und nimmt den größten Teil Thüringens ein. Es wird im Norden, Süden und Osten von Harz, Thüringer Wald und Thüringer Schiefergebirge eingerahmt. Sein **geologischer Aufbau** ist der einer weiten, flachen Schüssel. Den größten Raum nehmen die Gesteine der Trias ein: Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper. Darunter liegen die **Salz- und Gipsablagerungen des Zechsteins**. Die heutige Beckenform entstand vor etwa 80 Millionen Jahren, als sich das Thüringer Becken senkte, während die umliegenden Gebiete empor gepresst wurden. Im Becken entstanden dabei Bruchzonen, an denen die Gesteine gegeneinander versetzt, gekippt und manchmal gefaltet wurden.

Das GzM weist den typischen geologischen Aufbau des Zechsteins mit mehreren flach gelagerten **Steinsalzschichten der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formationen** auf. Für dieses verhältnismäßig große TG variiert die Datenlage. Durch Rohstofferkundungen in einigen Teilen Thüringens und Sachsen-Anhalts ist die Datendichte hoch, während in anderen Bereichen nur wenige Daten vorliegen.

Für das Thüringer Becken liegt ein **dreidimensionales Modell der geologischen Struktur** vor. Dieses wurde der BGE, wie alle anderen Modelle auch, von den Staatlichen Geologischen Diensten, in diesem Fall dem Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz, für die Ermittlung von TG (StandAG § 13) bereitgestellt. Die geologischen Modelle waren in dem Rahmen eine wichtige **Datengrundlage** und wurden als **entscheidungserheblich** eingestuft und veröffentlicht. Das Thüringer Modell „INFLUINS 3D“ ist über die Internetseiten der BGE einsehbar (https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/3d-viewer/).

Das **Projekt INFLUINS** (Integrierte Fluiddynamik in Sedimentbecken) war ein strategisches Bündnis aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Landes- und Bundesbehörden sowie Unternehmen mit finanzieller Unterstützung des Bundesforschungsministeriums. Ziel war es, das **Fluidsystem** im Modellfall **Thüringer Becken** und die Kopplung zwischen oberflächennahen Grundwässern und Tiefenwässern vollständig zu verstehen. Neben der Geometrie der **Grundwasserleiter und -geringleiter** spielen tiefreichende **Bruchzonen** eine bedeutende Rolle, da vor allem in ihnen Fluide vertikal zirkulieren können. Im Rahmen des Projekts wurden bilanzierte, geologische Profile der Störungszonen, aber auch die weitestgehend undeformierten Bereiche des Thüringer Beckens als Grundlage der Modellbildung erstellt.

Für jegliche **Modellinterpretation** gilt es, die **Einschränkungen** und **Hinweise** zu berücksichtigen, die auch für das „INFLUINS 3D“ Modell gegeben werden: *„Das auf dieser Webseite präsentierte 3D-Modell stellt eine Vereinfachung der realen Geologie dar. Das 3D-Modell basiert auf der Interpretation von verschiedenen Daten (Seismik, Bohrungen, Schnitte, Karten etc.) aus unterschiedlichen Jahren mit unterschiedlichen Graden an Qualität und Detail. Weiterhin basiert das endgültige Modell auf vielen verschiedenen Datensätzen, die ursprünglich nicht aufeinander abgestimmt wurden und daher weitere Vereinfachung benötigen. Zu guter Letzt hat das geologische Wissen und der [fachspezifische] Hintergrund der verschiedenen Mitarbeiter Einfluss auf die Modellentwicklung.“*

Das **Wissen** über den **Aufbau** des **TG Thüringer Becken** basiert auf diversen **Daten**. Es gibt Informationen aus **Bohrungen** zu den verschiedenen Schichten und deren physikalische und chemischen Gesteinseigenschaften. Weiterhin existiert umfangreiches **Kartenmaterial** zur räumlichen und strukturellen Ausbildung der Gesteinsschichten. Es liegen darüber hinaus auch bislang noch gar nicht berücksichtigte **seismische Daten** vor.

4. Kriterien zur Auswahl des Teilgebiets

Mit dem **Standortauswahlverfahren** soll ein Endlager für hochradioaktive Abfälle mit der bestmöglichen Sicherheit in einem vergleichenden Verfahren ermittelt werden. Dies soll darüber hinaus u. a. **transparent und wissenschaftsbasiert** stattfinden (StandAG § 1, Satz 2). Die Transparenz war der Hauptgrund für das NBG das hier vorgelegte **Gutachten** in Auftrag zu geben. Es war die **Frage** zu beantworten, ob die **Kriterien**, die zur **Auswahl** des TG Thüringer Becken als **GzM** geführt haben, geeignet sind, die Methoden für die Durchführung der rvSU für das Wirtsgestein Steinsalz in flacher Lagerung zu entwickeln.

Ziel der **Methodenentwicklung** ist eine **generelle, systematische Herangehensweise** zur Durchführung der rvSU. Die Arbeiten dazu sind vielfältig, umfangreich und stark **abhängig** von den zugrunde liegenden **Daten**. Dies macht es notwendig, die **Entwicklung** und **Erprobung** der Methoden an **realen Gebieten** durchzuführen.

Für die **Anwendung** der neuartigen **rvSU** hat die BGE vier **TG ausgewählt**. Diese bilden dann nach erfolgreicher Methodenentwicklung die Grundlage für die Durchführung der rvSU in allen 90 ermittelten TG des Zwischenberichts (BGE, 2020). Nach Angaben der BGE gab es im Wesentlichen **drei Kriterien** anhand derer die Auswahl erfolgte:

- Jedes **Wirtsgestein** sollte vertreten sein (Tongestein, Kristallin, Steinsalz).
- Die ausgewählten TG sollen eine heterogene **Datenverfügbarkeit** aufweisen.
- In den GzM soll eine Variabilität z. B. der geologischen **Komplexität** gegeben sein.

Im **Zwischenbericht Teilgebiete** (BGE, 2020) werden insgesamt **14 TG ausgewiesen**, die eine günstige geologische Gesamtsituation für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle im Wirtsgestein **Steinsalz in flacher Lagerung** erwarten lassen. Von geologisch jung nach alt befinden sich diese im **Malm/Oberjura** (1 TG, 5.000 km^2), **Keuper** (2 TG, 60 und 500 km^2), **Röt/Muschelkalk** (3 TG, 100-2.100 km^2) und **Zechstein** (8 TG, 30-6.200 km^2). Das als GzM ausgewählte **Thüringer Becken** ist von allen hier aufgeführten TG mit **6.200 km^2** das **Größte**.

Die **Datenverfügbarkeit** und **-dichte** ist **in Deutschland** und somit auch im Thüringer Becken sehr **unterschiedlich**. Die **Basisdaten**, die z. B. für die Erstellung des Modells „INFLUINS 3D“ genutzt wurden, sind im Wesentlichen **Erkundungsdaten** der Industrie und damit auf Gebiete konzentriert, die für Erdöl, Erdgas, Grundwasser, Kalisalz, Uran und Buntmetalle von Interesse waren. Berücksichtigt wurden in dem Rahmen **Erfahrungen** aus 2.800 **Bohrungen** mit einer Tiefe von mehr als 100 m. Die heterogene **Verteilung** der Bohrungen im TG und damit die **Datendichte**, wurden durch die BGE nicht **quantifiziert**. An dieser Stelle fehlt auch jeglicher **Vergleich** zwischen den verfügbaren 14 TG, die grundsätzlich als GzM zur Verfügung stehen. Die **Stichprobe** der verwendeten **Datensätze** und die Gesamtschau des **Modells Thüringer Becken** zeigen eine **sehr gute und heterogene Datenverfügbarkeit**, ohne dass diese genauer definiert sind.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die von der BGE angewandten **Auswahlkriterien** für das GzM (TG Thüringer Becken) **geeignet** sind, um an diesem die **Methoden** für die rvSU **zu entwickeln**.

5. Beurteilung der Eignung zur Methodenentwicklung

Das **NBG** hat mit Blick auf das Standortauswahlverfahren die **Frage** gestellt, ob das von der **BGE** ausgewählte **GzM Thüringer Becken** geeignet ist, die **Methoden** zu **entwickeln**, die für die **rvSU** (StandAG §27) mit Blick auf das Wirtsgestein Steinsalz in flacher Lagerung benötigt werden.

Im Rahmen der rvSU (Hoyer et al., 2021a) sind **Untersuchungsräume** (UR) auszuweisen (EndlSiUntV § 3), die zur Bewertung als möglicher Endlagerstandort vorgesehen werden können. Für jeden UR ist eine **Geosynthese** zu erstellen, die eine **Dokumentation und Interpretation aller geowissenschaftlichen Informationen** enthält (EndlSiUntV §5; Hoyer et al., 2021b). Ziel der Geosynthese ist eine **konsistente Darstellung** insbesondere der für die **Sicherheit** des Endlagers relevanten geowissenschaftlichen Gegebenheiten (Reiche et al., 2021). Weiterhin ist in einem **Sicherheitskonzept** darzulegen, wie der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle erreicht werden soll (EndlSiAnfV § 10). Basis für dessen Erstellung sind die zu erwartenden **Entwicklungen** des Endlagersystems im **Bewertungszeitraum** von einer Million Jahre. In Verbindung mit der vorläufigen **Auslegung des Endlagers** sind anhand überschlägiger Abschätzungen und Analogiebetrachtungen die räumliche Charakterisierbarkeit des Systems, die langfristige Stabilität der geologischen Bedingungen, die thermischen Verhältnisse im Endlagersystem, der Flächenbedarf zur Realisierung des Endlagerbergwerkes und die Möglichkeit zur Ausweisung eines ewG zu bewerten (EndlSiUntV §7). Ausgehend von den Ergebnissen dieser **Analyse des Endlagersystems** sind dessen Sicherheit und Robustheit umfassend zu bestimmen (EndlSiUntV §10). Die zum Zeitpunkt der Erstellung der jeweiligen vorläufigen Sicherheitsuntersuchung bestehenden **Ungewissheiten** sind systematisch auszuweisen und dahingehend zu charakterisieren, auf welchen Sachverhalten oder Kenntnisdefiziten sie beruhen. Der Umgang mit den Ungewissheiten und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse der rvSU, insbesondere der Einfluss auf die Zuverlässigkeit der sicherheitsgerichteten Aussagen, sind zu dokumentieren (EndlSiUntV §11). Aufbauend auf den geowissenschaftlichen Kenntnisdefiziten im Untersuchungsraum sind **standortbezogene Erkundungsbedarfe** zu identifizieren (EndlSiUntV §12). Über die Anwendung der rvSU werden **Standortregionen** aus UR innerhalb größerer TG **definiert** und liefern die Grundlage für die Entscheidung, ob ein Gebiet in der nächsten Phase des Standortauswahlverfahrens für eine **übertägige Erkundung** in Betracht gezogen wird.

Anhand u. a. des **TG Thüringer Becken** wird von der BGE zurzeit die **Methodenentwicklung** für die rvSU vorangetrieben. Über strukturelle (z. B. Mulden), tektonische (z. B. Störungszonen), lithologische (z. B. zusätzliche natürliche Barrieren) und paläogeografische (z. B. Schwellen) **Grenzen** erfolgte die **Aufteilung** des TG in mehr als 20 **UR**. Die UR können sich überlappen und beziehen sich in diesem Fall auf die **Werra- und Straßfurt-Formationen des Zechsteins**. Die Leine- und Aller-Formationen weisen grundsätzlich eine zu geringe Mächtigkeit auf. Die **Größe der UR variiert** zwischen 10 km^2 und 700 km^2. Die durchschnittliche Größe liegt bei 160 km^2 und der Median bei 100 km^2.

Für den Zwischenbericht Teilgebiete (BGE, 2020) erfolgte die Bewertung einer günstigen geologischen Gesamtsituation ausschließlich basierend auf der zeitlichen Zuordnung der geologischen Schichten (stratigrafisch). Für die erweiterte Anwendung der **Ausschlusskriterien** und **Mindestanforderungen** (StandAG §§ 22-23) werden nun die ortsspezifischen physikalischen Eigenschaften der Wirtsgesteine durch die BGE berücksichtigt (lithologisch). Damit steigt der **Informationsgewinn** für das TG Thüringer Becken erheblich. Als Folge kann es dann dazu

kommen, dass UR ausgeschlossen werden für die kein ewG mehr ausgewiesen werden kann. Mit der **Überlagerung** der **geoWK** innerhalb der UR werden die **günstigen Bereiche** ermittelt.

Die **Geosynthese** enthält eine **Beschreibung** der **regionalen Geologie** mit dem Fokus auf das Wirtsgestein Steinsalz für das TG Thüringer Becken und liefert so eine Spezifizierung der geowissenschaftlichen Charakterisierung. Die verwendeten **Daten** für die Geosynthese stammen zum überwiegenden Teil vom **Thüringer Landesamt** für Umwelt Bergbau und Naturschutz und umfassen insbesondere auch das **geologische Modell** „INFLUINS 3D“. Die vorliegenden seismischen Daten sind bislang nur zu einem unwesentlichen Teil mit eingeflossen. Diese müssen im Verlauf des Standortauswahlverfahrens noch digitalisiert, aufbereitet und unter Einbeziehung wissenschaftlicher Literatur interpretiert werden.

Bei der bisherigen **Auswertung** der **geologischen Daten** durch die BGE liegt der Schwerpunkt darauf, den bisher gewählten stratigrafischen Ansatz durch eine **lithologische Herausarbeitung** der **Steinsalz-Formationen** im Zechstein innerhalb des TG Thüringer Becken zu präzisieren. Gebietsteile, die ein Steinsalzvorkommen in ausreichender Mächtigkeit und Tiefenlage zeigen, werden im Weiteren detailliert geowissenschaftlich beschrieben.

Numerische Modellierungen sollen eingesetzt werden, um **Entwicklungsszenarien** zu prüfen. In einem UR ausgewiesene ewG werden auf den sicheren Einschlusses einzulagernder radioaktiver Abfälle hin untersucht. Das vorgesehene **Endlagersystem** hat dies **passiv und wartungsfrei** durch ein robustes, gestaffeltes System verschiedener Barrieren mit unterschiedlichen Sicherheitsfunktionen zu gewährleisten. Die **wesentliche Barriere** ist dabei der ewG. Für die zu erwartenden Entwicklungen ist zu prüfen und darzustellen, dass im **Bewertungszeitraum** insgesamt höchstens ein Anteil von 10^{-4} und jährlich nicht mehr als 10^{-9} sowohl der Masse als auch der Anzahl der Atome aller ursprünglich eingelagerten **Radionuklide entweicht** (EndlSiAnfV §4). Die **Simulationsverfahren** befinden sich zurzeit in der **Entwicklung**.

Die **BGE** arbeitet zurzeit an **Methoden** und **Konzepten** zur Anwendung der **rvSU**. Das beinhaltet u. a. eine umfangreiche Analyse der vorliegenden geologischen Daten in der sogenannten Geosynthese als auch die Erprobung von numerischen Modellierungsmethoden zur Beurteilung eines potenziellen Endlagersystems. Der Prozess ist **wissens- und datenbasiert** und sehr gut **nachvollziehbar**. Wesentliche Kritikpunkte am Zwischenbericht Teilgebiete (BGE, 2020) u. a. des Thüringer Landesamts für Umwelt Bergbau und Naturschutz werden jetzt aufgegriffen und berücksichtigt. Teil der **Methodenentwicklung** wird in dem Rahmen auch eine **öffentliche Diskussion** der entwickelten Herangehensweise im Frühjahr 2022 sein.

Zusammenfassend lässt sich nach Prüfung der verfügbaren Unterlagen und Datensätze sagen, dass das **GzM Thüringer Becken geeignet** ist, um die benötigten **Methoden** für das Wirtsgestein Steinsalz in flacher Lagerung **zu entwickeln**.

6. Empfehlungen für die weitere Methodenentwicklung

Das **Standortauswahlverfahren** ist gemäß StandAG ein sehr gutes Suchverfahren, weil es eine Fehlerkultur beinhaltet. Es ist explizit ein **lernendes Verfahren**, was in jeder Phase, für jeden Schritt und zu jeder Zeit genutzt werden muss. Insofern ergeben sich aus dem hier vorgelegten Gutachten die folgenden **Empfehlungen** für die **nächsten Schritte**:

- Es wird empfohlen im Rahmen der aktuellen Arbeiten den Fokus auf die **qualitative und quantitative Bewertung** der jeweils vorliegenden **Datendichte** der TG zu schärfen.

- Strategien müssen erarbeitet werden, **wie methodisch mit der variierenden Datenlage umgegangen werden kann** bzw. werden muss. In dem Rahmen muss auch eine Definition der Qualität der Datenverfügbarkeit erfolgen.
- Der **Einfluss** einer **inhomogenen Datenbasis** mit vielen Daten an wenigen Punkten auf die entwickelte Methode der rvSU muss **abgeschätzt und bewertet** werden.
- Verfahren zur Kontrolle der **Plausibilität** von **Modellen** und **Konzepten** sollten erarbeitet werden. Nur so wird sich eine **nicht hinreichende Datenlage beurteilen** lassen, um daraus resultierende **Ungewissheiten** und **Erkundungsbedarfe** zu ermitteln.
- Die durch die Staatlichen Geologischen Dienste bereitgestellten **Modelle** dienten ursprünglich **anderen Aufgaben**. Es muss geprüft und belegt werden, ob sie im Rahmen der Standortsuche in gleicher Art und Weise eingesetzt werden können.
- Das **Wirtsgestein Steinsalz** hat den Vorteil einer vergleichsweise umfangreichen und guten Datenlage aufgrund des historischen, **wirtschaftlichen Interesses** an den Formationen. Die **Übertragbarkeit** bzw. **Anwendbarkeit** der entwickelten Methoden auf andere Wirtsgesteine muss geprüft werden.

Literaturverzeichnis

BGE (2020) Zwischenbericht Teilbiete gemäß § 13 StandAG. Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine, Deutschland (Stand 28.9.2020)

Hoyer E.-M., Kreye P., Lohser T., Rühaak W. (2021a) Preliminary safety assessments in the high-level radioactive waste site selection procedure in Germany, Saf. Nucl. Waste Disposal, 1, 37–38, https://doi.org/10.5194/sand-1-37-2021.

Hoyer E.-M., Müller P., Kreye P., Behrens C., Wengler M., Wengorsch T., Rühaak W. (2021b) Development of a database for the analysis of the disposal system in the representative preliminary safety analysis, Saf. Nucl. Waste Disposal, 1, 39–40, https://doi.org/10.5194/sand-1-39-2021.

Reiche S., Fink R., Nilius N.-P. (2021) Geoscientific Characterization and Interpretation (Geosynthesis) within the Preliminary Safety Assessment in the German Site-Selection Procedure for a High-level Nuclear Waste Repository , Saf. Nucl. Waste Disposal, 1, 45–46, https://doi.org/10.5194/sand-1-45-2021.

Seidel L., Wengler M. (2021) Section 14 StandAG – Identification of siting regions and associated challenges, Saf. Nucl. Waste Disposal, 1, 49–50, https://doi.org/10.5194/sand-1-49-2021.