

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Postfach 32 09 · D-65022 Wiesbaden

Aktenzeichen (*Bitte bei Antwort angeben*)
89e-32-154/22

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)
Eschenstraße 55
31224 Peine

Bearbeiter/in:

Durchwahl: 0611/6939
E-Mail: @hlnug.hessen.de
Fax: 0611/6939
Ihr Zeichen:
Ihre Nachricht:
Datum: 26. April 2022

Fachliche Stellungnahme des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) zu dem Bericht der BGE zur Methodenent- wicklung vom 28.03.2022

Veranlassung

Die *Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH* (BGE) hat am 28.03.2022 ihr Konzept für die Durchführung der rvSU gemäß den Vorgaben der Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndlSiUntV) vorgelegt. Es besteht aus einer Kurzfassung „Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“, in dem der prozessuale Ablauf dargestellt wird sowie einer sehr umfassenden Anlage 1 „Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“. Im Rahmen der Konzepterstellung hatte die BGE vier repräsentative Gebiete zur Methodenentwicklung ausgewählt, in denen alle in Frage kommenden Wirtsgesteine verbreitet sind (GzME). Die Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) wurden aufgefordert, zum Konzept, zur Durchführung der rvSU und zur Anlage 1 der Methodenbeschreibung Stellung zu nehmen. Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie als staatlicher geologischer Dienst nimmt hierzu nachfolgend Stellung:

Formale Anmerkungen

Die Gliederung des Inhaltsverzeichnisses des „Konzeptes zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“ und der Anlage 1 „Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“ sind unterschiedlich, so dass der Zusammenhang zwischen beiden Dokumenten unübersichtlich ist.



Gütesiegel
Familienfreundlicher
Arbeitgeber
Land Hessen

Rheingaustraße 186, 65203 Wiesbaden
Telefon 0611 69 39-0
Telefax 0611 69 39-555
Besuche bitte nach Vereinbarung



Für eine lebenswerte Zukunft

1. Anmerkungen zum „Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“

Nachfolgend wird auf die Kapitelnummern im „Konzept“ Bezug genommen. Das Konzept ist sehr umfangreich und detailliert dargestellt. Die Abbildungen mit Ablaufdiagrammen und Workflows unterstützen die textlich beschriebene Vorgehensweise. Somit werden die geplante Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung sowie die einzelnen Bearbeitungsschritte hinreichend und umfassend erläutert (Abb. 1 und 2).

Zu 5) Sicherheitsprinzipien und -anforderungen für vorläufige Sicherheitsuntersuchungen

Das HLNUG weist darauf hin, dass die nach § 14 Abs. 1 EndlSiAnfV zu gewährleistende Möglichkeit der *„Bergung der eingelagerten Endlagergebäude während der Stilllegung und für einen Zeitraum von 500 Jahren nach dem vorgesehenen Verschluss des Endlagers“* in Steinsalzschiechten aufgrund der visko-plastischen Verformung von Steinsalz höchstwahrscheinlich nur sehr aufwendig technisch zu realisieren sein wird.

Zu 7) Ablauf der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen

Der geplante Bearbeitungsablauf sowie die Vorgehensweise der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen werden detailliert und nachvollziehbar dargestellt. Dabei wird jedoch davon ausgegangen, dass der Fokus der Bearbeitung auf den potenziell als Standortregion in Frage kommenden Gebieten liegt.

Zu 8) Methoden der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen

Das HLNUG unterstützt die Aussage aus **Kapitel 8.3 Vorläufiges Sicherheitskonzept (§ 6 Abs. EndlSiUntV1)**, dass *„das Konzept des überlagernden einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, bei dem eine Ton- oder Steinsalzeinheit über einem Kristallinkörper das Ziel der Isolation der Radionuklide von der Biosphäre sicherstellen soll (siehe AkEnd (2002))“*, nicht über den gesamten Bewertungszeitraum nach § 4 Abs. 4 EndlSiAnfV das Ziel der Konzentration und des sicheren Einschlusses am Einlagerungsort gewährleisten kann, da eine seitliche Entweichung der Radionuklide nicht ausgeschlossen werden kann.

Es stellt sich die Frage, wie ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich, der hier definiert ist als *„der Teil eines Gebirges, der bei Endlagersystemen, die wesentlich auf geologischen Barrieren beruhen, im Zusammenwirken mit den technischen und geotechnischen Verschlüssen den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle in einem Endlager gewährleistet“* rechnerisch bestimmt werden kann.

In Hessen liegt ein Teilgebiet mit dem Wirtsgestein Kristallin (193_00IG_K_g_MKZ), daher stellt sich uns zum **Kapitel 8.3.1 Umgang mit den vorläufigen Sicherheitskonzepten beim Wirtsgestein Kristallin** die Frage, wie angesichts der heterogenen und unzureichenden Datenlage

im Bereich dieses Teilgebietes die Anwendung der Ausschlusskriterien sowie der Mindestanforderungen erfolgen kann, ohne dass neue Daten erhoben werden.

Es werden zwei Typen von Endlagersystemen angesprochen (Typ 1: einschlusswirksamer Gebirgsbereich; Typ 2: technische/geotechnische Barriere). In diesem Kapitel heißt es: „*Ein Sicherheitskonzept ohne einschlusswirksamen Gebirgsbereich soll grundsätzlich nur dann zur Anwendung kommen, wenn kein einschlusswirksamer Gebirgsbereich im kristallinen Wirtsgestein ausgewiesen werden kann. Dies impliziert, dass zunächst geprüft werden muss, ob in einem Untersuchungsraum in kristallinem Wirtsgestein ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich ausgewiesen werden kann.*“ Diese Vorgehensweise erscheint sinnvoll, da eine natürliche Barriere sehr wahrscheinlich gegenüber einer technischen zu bevorzugen ist, im Kristallin stellt sich jedoch die Frage, ob dies überhaupt verwirklicht werden kann.

Ist es somit doch möglich, dass für das Kristallin der sichere Einschluss mittels eines oder mehrerer einschlusswirksamer Gebirgsbereiche gewährleistet werden kann (siehe Blatt 29), wenn andererseits (auf Blatt 28) gesagt wird, dass *„Das Konzept des überlagernden einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, bei dem eine Ton- oder Steinsalzeinheit über einem Kristallinkörper das Ziel der Isolation der Radionuklide von der Biosphäre sicherstellen soll (siehe AkEnd (2002)), über den gesamten Bewertungszeitraum nach § 4 Abs. 4 EndlSiAnfV nicht das Ziel der Konzentration und des sicheren Einschlusses am Einlagerungsort gewährleisten kann“?*

Muss somit nicht auf jeden Fall Endlagertyp 2 im Wirtsgestein Kristallin vorausgesetzt werden?

Das dargestellte Vorgehen scheint uns daher erfolgversprechend, wenn es konsequent durchgeführt wird. Zunächst wird geprüft, ob für den Untersuchungsraum im Wirtsgestein Kristallin die Möglichkeit eines einschlusswirksamen Gebirgsbereiches Endlagersystem Typ 1 vorhanden ist. Wenn das nicht der Fall ist, wird das Gebiet in die Kategorie C eingestuft. Sollte es aber Gebiete mit der Möglichkeit Typ 1 geben, die mit Kategorie A oder B bewertet wurden, dann wird kein weiteres Gebiet mit Endlagersystem Typ 2 ausgewiesen. Typ 2 ist nachrangig.

Wurden keine Gebiete mit Möglichkeit Typ 1 ausgewiesen, dann erfolgt erneut eine rvSU im Hinblick auf eine Ausweisung unter den Bedingungen des Typ 2 (technische Barriere). Es ist also zwingend vorgesehen, dass zunächst geprüft werden muss, ob in einem Untersuchungsraum in kristallinem Wirtsgestein ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich ausgewiesen werden kann. Das angestrebte Verfahren muss sehr genau für alle Teiluntersuchungsgebiete im Wirtsgestein Kristallin dokumentiert werden, damit es nachvollziehbar bleibt.

Die in **Kapitel 8.4** beschriebene **Ausweisung von Untersuchungsräumen (§ EndlSiUntV 3)** unterstützen wir ausdrücklich. Es macht Sinn, die jetzigen sehr großräumigen Teilgebiete zu untergliedern und neben den Untersuchungsräumen auch Teiluntersuchungsräume anhand der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen und weiterer geologischer Kriterien auszuwählen. Ebenso wichtig ist es unserer Ansicht nach, für jeden ausgewiesenen Untersuchungsraum eine rvSU durchzuführen und ein vorläufiges Sicherheitskonzept zu erstellen.

Nur für das Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung ist vorgesehen, dass sogenannte Betrachtungsräume regelmäßig definiert werden. Wir möchten zur Diskussion stellen, Betrachtungsräume auch für die anderen Wirtsgesteinstypen regelmäßig zu definieren. Die jetzigen Teilgebiete wurden über bekannte geologische oder nutzungsbedingte Grenzen ermittelt. Damit nun im Schritt 2 der Phase I eine Untergliederung dieser in Untersuchungsräume und Teiluntersuchungsräume erfolgen kann, ist es nach Ansicht des HLNUG wichtig, die möglichen Auswirkungen auch außerhalb der relativ grob abgegrenzten Teilgebiete in die Betrachtungen einzubeziehen und zumindest immer auch zu prüfen, ob die Gebiete nicht durch überregionale Prozesse beeinflusst werden. Diese Prüfung sollte dokumentiert werden.

Im **Kapitel 8.5** wird die **Geosynthese** beschrieben. Die Geosynthese ist eine der wichtigsten Methoden der rvSU. Sie liefert die geowissenschaftlichen Grundlagen und die Datenbasis für alle weiteren Arbeitsschritte der rvSU sowie der Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien. Neben der Dokumentation aller vorhandenen geologischen Daten erfolgt mit der Geosynthese auch eine Interpretation dieser Informationen zu einem Untersuchungsraum/Teiluntersuchungsraum. Sie ist somit maßgeblich für die Ausweisung von Standortregionen. Die Staatlichen Geologischen Dienste können sich mit ihrer Expertise und ihrer Kenntnis über die geologischen Daten sowie ihres Wissens um die Datenqualität gerade bei der Geosynthese einbringen und haben das größte Interesse daran, die Geosynthese zu begleiten.

Die wichtige Kernaussage des Konzeptes zur Geosynthese ist daher *„die geowissenschaftlichen Informationen sind eine Voraussetzung, um ortsspezifisch, innerhalb des Untersuchungsraums, das Endlagersystem zu analysieren und zu bewerten.“*

Die Grundlage für die Geosynthese stellen geowissenschaftliche Daten dar, die die BGE in erster Linie von den Staatlichen Geologischen Diensten erhalten hat. Hierin ist auch das Interesse der SGD an der Geosynthese begründet. Weiterhin fließt verfügbare Fachliteratur in die Geosynthese ein. Inwieweit Daten von Dritten (z. B. der Industrie), die den geologischen Diensten eventuell nicht vorliegen, in den Prozess mit einfließen, wird nicht genannt. Hier ist es Aufgabe der BGE im Laufe der rvSU transparent darzustellen, welche staatlichen und nichtstaatlichen Daten in den Prozess eingegangen sind. Begrüßt wird, dass die Fachstellungen der Staatlichen Geologischen Dienste, die nach Veröffentlichung des Zwischenbericht Teilgebiete an die BGE übermittelt wurden, berücksichtigt werden sollen.

Wichtig ist es zu wissen, dass für die Durchführung der rvSU keine neuen Daten generiert werden. Die Datenlage bleibt somit teilweise auch weiterhin heterogen und ungenügend.

Hier besteht nun unserer Meinung nach die dringende Notwendigkeit, die vorhandenen Daten einer Qualitätskontrolle zu unterziehen und ungenügende Daten aus dem Verfahren zu nehmen. Über die Qualität der Daten und deren Verwendungsmöglichkeiten haben vor allem die SGD Kenntnis. Gerade bei den SGD sind Daten aus 150 Jahren geologischer Datenerfassung hinterlegt. Diese sind der BGE ungefiltert übermittelt worden. Daten Dritter, also nichtstaatliche Daten, aber auch die staatlichen Daten der SGD sind vor Verwendung bei der teiluntersuchungsraumspezifischen Durchführung der rvSU sehr genau auf ihre Aussagekraft hin zu prüfen. Das Prüfschema sollte über alle Daten ein ähnliches sein, sodass nicht Daten aus der einen Region gegenüber anderen Daten anderer Regionen bevorzugt oder aber nachteilig in das Verfahren einfließen. Zu dieser Arbeit der Qualitätskontrolle der eingehenden Daten wurden bisher von der BGE nur wenige Konzeptionen vorgestellt, u. a. das geplante automatisierte Qualitätsmanagement von Schichtenverzeichnissen bzw. Bohrdokumentationen anhand ihrer Beschreibungsdichte bei den petrologischen und stratigraphischen Beschreibungen. Ob dieses Verfahren wirklich zu einer Trennung von qualitativ guten und weniger guten Daten führt, bleibt streng zu überwachen. Es sollte nicht sein, dass Daten auf diese Weise vom Verfahren ausgeschlossen werden, die diesem neg. Kriterium nicht standhalten. So ist bekannt, dass z. B. Schichtenverzeichnisse von Lagerstättenbohrungen im Tiefen-Bereich der Lagerstätte bzw. des Wertstoffs sehr differenziert aufgenommen und außerhalb der Lagerstätte weniger intensiv aufgenommen worden sind. Diese und viele andere Kriterien sind bei der Qualitätskontrolle zu beachten.

Das Konzept sieht vor, dass **Untersuchungsräume in Teiluntersuchungsräume eingeteilt werden (Kap. 8.5.1)** mit dem Ziel die rvSU nachvollziehbarer und repräsentativer zu gestalten. Das HLNUG begrüßt diese von der BGE eingeführte Vorgehensweise ausdrücklich. Nur so können in den Teiluntersuchungsräumen spezielle lithologische, tektonische oder stratigraphische Charakteristika besser berücksichtigt werden.

Die zunächst sehr großen Teilgebiete aus Schritt 1 der Phase I waren in den Stellungnahmen der SGD zum Teil deutlich bemängelt worden. Nun ist schon im ersten Schritt der rvSU mit der Geosynthese die Möglichkeit gegeben, Gebiete, die den Ausschlusskriterien oder aber den Mindestanforderungen nicht entsprechen, durch das Einstufen in die Kategorie D aus dem weiteren Verfahren abzugrenzen. Positiv ist auch, dass mit dem Abgrenzen von Teiluntersuchungsräumen in einem Teilgebiet/Untersuchungsraum die Möglichkeit geschaffen wird, homogene Bereiche abzutrennen, die in Bezug auf die geologische Entwicklung, die Mächtigkeit der Wirtsgesteinsbereiche und der vorhandenen einschlusswirksamen Gebirgsbereiche in sich einheitlich ausgebildet sind. Diese Teiluntersuchungsräume können folglich viel besser eine gebietspezifische rvSU und die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen durchlaufen.

Unklar bleibt jedoch, wie die Unterteilung in Teiluntersuchungsräume von Statten geht, welche Parameter dafür verwendet werden und wie dies dokumentiert wird. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass die Kriterien, die für das Abtrennen von Teiluntersuchungsräumen erkannt werden und Anwendung finden, wie z. B. unterschiedliche Stratigraphie, Lithologie, besondere Störungsverläufe o.ä., transparent dokumentiert und dann in gleicher Weise auf alle Teiluntersuchungsräume angewendet werden, auch dann, wenn diese in anderen Teilgebieten liegen. Ein einmal angewendetes Kriterium muss, damit alle Teilgebiete gleichermaßen behandelt werden, auf alle vorhandenen Teilgebiete zumindest eines Wirtsgesteins abgeprüft werden.

Hierbei ist zu bedenken, dass es innerhalb der BGE zu ganz unterschiedlichen Bewertungen hinsichtlich des Abtrennens von Teiluntersuchungsgebieten kommen kann. Daher muss die BGE wirtsgesteinsspezifische und untersuchungsraumspezifische Teams bilden, die in einheitlicher Weise die Geosynthese erarbeiten und die rvSU durchführen.

Die **Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen im Rahmen der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (Kap. 8.5.2)** ist sinnvoll. Es werden alle Untersuchungsgebiete im Rahmen der rvSU nochmals geprüft. Die Gebiete, die eine Mindestanforderung nicht erfüllen oder bei denen ein Ausschlusskriterium zutrifft, werden dann als ungeeigneter Endlagerstandort identifiziert und in eine Kategorie D eingestuft. Die Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen erfolgt nun zielgerichtet und nicht unbedingt auf das ganze Teilgebiet bezogen, sondern auf die mit der Geosynthese abgegrenzten Teiluntersuchungsräume eines Untersuchungsraumes. Die Anwendung erfolgt in diesem Rahmen nun sehr viel punktueller z. B. bezüglich der Einflussgebiete ehemaligen Bergbaus oder tiefergehender Bohrungen. Insgesamt wird der von den SGD in ihren Stellungnahmen angemahnte Detaillierungsgrad der Prüfungen stark erhöht. Dies ist sehr zu begrüßen, da dies in Schritt 1 der Phase I noch nicht stattgefunden hat.

Die **geowissenschaftliche Langzeitprognose (Kap. 8.5.3)** wird im Rahmen der Arbeiten zur Ermittlung der Standortregionen erfolgen und dabei insbesondere geogene Prozesse und deren Auswirkung auf das Endlagersystem immer wieder betrachten. Geogene Prozesse wirken oftmals nicht nur punktuell, lokal, regional, sondern können von außen, also überregional auf ein Teilgebiet, Teiluntersuchungsraum einwirken. Dies spricht für die generelle Anlage von Betrachtungsräumen nicht nur beim Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung, sondern für alle Untersuchungsräume und Wirtsgesteine.

Wie geogene Prozesse in der rvSU berücksichtigt werden, ist nicht eindeutig dargestellt. Es sollte zumindest ein Verweis auf Kap. 1.3 und 5.3. (Langzeitprognose) der Anlage 1 erfolgen. Im Thüringer Becken wäre hier z. B. zu beachten, dass dort mehrere Horizonte des Deckgebirges subrodierbare Gesteinsschichten enthalten, die aufgrund ihrer Mächtigkeit nicht als Wirtsgestein in Betracht kommen, aber bei der Langzeitbetrachtung sicher einen Einfluss auf die

Deckgebirgsmächtigkeit in Form einer räumlich sehr unterschiedlich stark ausgeprägten Subrosionsgeschwindigkeit haben.

Eine **vorläufige Auslegung des Endlagers für jeden Untersuchungsraum (§ 6 Abs. Endl-SiUntV4) (Kap. 8.6)** sehen wir aufgrund der zumindest in Hessen, aber auch in vielen anderen Teilgebietsregionen heterogenen und unzureichenden Datenlage als schwierig an.

Das **Ziel der Analyse des Endlagersystems (Kap. 8.7.1)** wird „bestimmt von den Ergebnissen der Geosynthese, der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen und der vorläufigen Auslegung des Endlagers für jedes Untersuchungsgebiet sind die Grundlagen für eine Analyse des Endlagersystems nach § 7 EndlSiUntV sowie für die umfassende Bewertung des Endlagersystems (§ 10 EndlSiUntV, Kapitel 8.8). Weiterhin ist die Möglichkeit des sicheren Betriebs darzustellen. Zusätzlich soll beurteilt werden, ob die Endlagerung größerer Mengen schwach- und mittelradioaktiver Abfälle in einem benachbarten Endlager möglich ist. Letztendlich ist die Relevanz der einzelnen geoWK für die auf Basis der rvSU Ergebnisse stattfindende erneute Anwendung zu bewerten. Die Abb. 7, Blatt 42 gibt einen schematischen Überblick der zu erarbeitenden Inhalte der Analyse des Endlagersystems gemäß § 7 Abs. 6 EndlSiUntV für die rvSU.“

Es ist somit von essentieller Bedeutung, dass die Geosynthese für jeden Untersuchungsraum und für jeden Teiluntersuchungsraum mit einer hohen Datendichte und bestmöglicher Datenqualität erfolgt und kritischen Fragen standhält. Zweifel an den Ergebnissen der Geosynthese würden die Ergebnisse der Analyse des Endlagersystems belasten. Vor allem die Langzeitprognose anhand der geogenen, exogenen und endogenen geologischen Prozesse hat hier einen Einfluss auf mögliche abweichende Entwicklungen des Endlagers.

Es ist daher zu begrüßen, dass das Konzept wie in **Kapitel 8.7.2** beschrieben, eine systematische Betrachtung von nationalen und vor allem internationalen FEP-Katalogen vorsieht. Wichtig ist für die genaue Beschreibung von geogenen Prozessen mit Langzeitwirkung die Einrichtung von wirtsgesteinsspezifischen FEP-Katalogen.

In **Kapitel 8.9** wird die **Bewertung von Ungewissheiten (§ 11 EndlSiUntV)** beschrieben. Bei der Bewertung von Ungewissheiten sollte die Datendichte und -qualität als eine der wichtigen Kategorien (neben textlicher Darlegung auf jeden Fall kartenmäßig) dargestellt werden, da eine geringe Datendichte oder -qualität einen Mangel an Information darstellt (vgl. Anlage 1, 5. Geosynthese, 5.1 Umgang mit heterogener Datenlage). Es ist darüber hinaus wichtig jedwede Ungewissheiten im Prozess zu benennen und zu dokumentieren, wie damit umgegangen wurde. Dies ist für bereits bestehende Daten und Methoden sowie für neu zu entwickelnde von großer Bedeutung. Daher wird die vorgesehene Vorgehensweise der BGE begrüßt. Die vorgesehenen Sensitivitäts- und Ungewissheitsanalysen sind für qualitative Bewertungen der verschiedenen Ungewissheiten und der daraus abgeleiteten Modelle unverzichtbar.

Die **Ableitung des Erkundungs-, Forschungs- und Entwicklungsbedarfe (Kap. 8.10.2)** ist ein wichtiger Prozess, der laufend erfolgen muss.

So besteht erhöhter Erkundungsbedarf in den sehr komplexen und gesteinstypvariablen kristallinen Wirtsgesteinen zu Verbreitung und Mächtigkeit der wirtsgesteinsspezifischen kristallinen Einheiten. Auch gibt es Erkundungsbedarfe bezüglich der Subrosionsprozesse und allgemein für geologische Verhältnisse schnell ablaufende Prozesse, die unmittelbare Auswirkung auf das Umgebende, im Regelfall das hangende Gebirge, haben. Gebiete mit auslaugungsfähigen Gesteinen sind unterschiedlich gut untersucht, meist liegen den SGD keine oder unzureichende

Daten und Untersuchungen zu Geschwindigkeit und räumlichen Verlauf von Subrosionsprozessen vor.

Zu 9) Umgang mit Gebieten ohne hinreichende Informationen (§ 14 Abs. 2 StandAG)

Der Umgang mit Gebieten ohne hinreichende Informationen lässt die Frage offen, was genau die Prüfkriterien sind, damit ein Gebiet diesbezüglich eingestuft werden soll. Ist angedacht, dass die Prüfung eher verbal-argumentativ abläuft?

Gebiete ohne hinreichende Informationen sollen auf eine Empfehlung zur weiteren Erkundung in Phase II bewertet werden. Es bleibt unklar, anhand welcher Kriterien eine solche Einstufung möglich sein soll und wie die Eignungsfähigkeit ohne hinreichende Informationen als „gleichwertig“ oder „besser“ als die ermittelten Standortregionen ermittelt werden soll.

2. Anmerkungen zu Anlage, „Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“

Zu 1) Einleitung

Zu Abb. 7 auf Blatt 67 (**Kap. 1.2.2 Datenflussdiagramm – Zusammenspiel von Daten, Interpretationen und Bewertungen in den rvSU**) merken wir an, dass die Datenquellen „Erdbebenkatalog“ und „Datenbanken zu bergbaulichen Aktivitäten und Bohrungen“ ohne Bezug zu den weiterführenden Arbeiten unter dem Reiter „Daten/Interpretation/Synthese und Modelle“ erscheinen. Dies ist nicht nachvollziehbar.

Zu **Kapitel 1.4.2 Weiterentwickelte Anwendung der Ausschlusskriterien** schlägt das HLNUG vor, bei Vorhandensein von subrosionsanfälligen Gesteinsschichten im Deckgebirge dies als mögliches Ausschlusskriterium hinzuzunehmen.

Der Tabelle 1 auf Blatt 71 ist zu entnehmen, dass das Ausschlusskriterium seismische Aktivität aufgrund des statischen Verweises auf den Anhang der DIN EN 1998-1 im StandAG keine weitere Anwendung findet. Aus geophysikalischer Sicht ist dies nicht nachvollziehbar, der Einfluss von seismischen Aktivitäten über einen Zeitraum von 1 Mio. Jahren muss auch im weiteren Prozess Berücksichtigung finden. Siehe dazu auch: WENZEL, F. (2020): Gutachten für das Bundesumweltamt zu § 22 Abs. 2 Nr. 4 Standortauswahlgesetz. Geophysikalisches Institut, KIT, Karlsruhe.

Bei der **Weiterentwickelten Anwendung der Mindestanforderungen (Kap. 1.4.3)** wäre im Thüringer Becken z. B. zu beachten, dass dort mehrere Horizonte des Deckgebirges subrodierbare Gesteinsschichten enthalten, die aufgrund ihrer Mächtigkeit nicht als Wirtsgestein in Betracht kommen, aber bei der Langzeitbetrachtung sicher einen Einfluss auf die Deckgebirgsmächtigkeit in Form von räumlich sehr unterschiedlich stark ausgeprägter Subrosionsgeschwindigkeit haben.

Zu 3) Ausweisung von Untersuchungsräumen (§ 3 EndlSiUntV)

In diesem Kapitel heißt es im Text: *„Die Ausweisung eines in Bezug auf das Teilgebiet deckungsgleichen Untersuchungsraums gilt, wie oben dargestellt, auch für Teilgebiete des Wirtsgesteinstyps „Steinsalz in steiler Lagerung“. Die Besonderheit im Vergleich zu den Teilgebieten der anderen Wirtsgesteinstypen besteht nach gegenwärtigem Stand jedoch darin, dass einerseits zusätzlich zum Untersuchungsraum ein individueller sogenannter „Betrachtungsraum“ (Erläuterung siehe unten) definiert wird und andererseits im Anschluss an die Ausweisung der Untersuchungsräume voraussichtlich keine weitere Untergliederung in Teiluntersuchungsräume erforderlich ist (ggf. Ausnahme bei Salzmauern, siehe die folgenden Ausführungen).“* Hierzu merken wir an, dass Betrachtungsräume in allen Wirtsgesteinstypen regelmäßig definiert werden sollten, da die Teilgebiete über bekannte geologische oder nutzungsbedingte Grenzen von potenziellen Wirtsgesteinen abgegrenzt wurden, aber auch mögliche Auswirkungen von außerhalb beschrieben werden müssen.

Des Weiteren heißt es: *„Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Formulierung eines Betrachtungsraums liegt darin begründet, dass das regional-hydrogeologische Regime Einfluss auf die Grundwasserströmungen am Rand des Untersuchungsraums ausübt und diese Bedingungen einen durchaus bedeutenden Faktor in einer numerischen Betrachtung des Radionuklidtransports darstellen können.“* Dies trifft gleichermaßen für die Ränder von Teilgebieten mit Salz in flacher Lagerung zu (Salzhangbereiche).

Zu 4) Vorläufiges Sicherheitskonzept und vorläufige Endlagerauslegung (§ 6 EndlSiUntV)

Im Hinblick auf die **Methodik zur Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen in den rvSU (Kap. 4.1.3.3)** erscheint uns eine *„wirtsgesteinsspezifische Darstellung der Barrieren“* sinnvoll, da beispielsweise bei Steinsalz in flacher Lagerung aufgrund des Schichtaufbaus andere Ansätze zur Bewertung der geogenen Prozesse angenommen werden müssen als bei Steinsalz in steiler Lagerung.

Zu 5) Geosynthese (§ 5 EndlSiUntV)

Für jeden Untersuchungsraum und jeden Teiluntersuchungsraum wird eine Geosynthese erstellt. Darin werden alle relevanten geogenen Prozesse beschrieben sowie die geologische Entwicklungsgeschichte des Untersuchungsraumes bezogen auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich und die Langzeitsicherheit eines Endlagers darin.

Die geplante Vorgehensweise im Rahmen der Geosynthese räumlich als auch von der Arbeitstiefe immer detaillierter zu werden, erscheint plausibel. Dies sollte konsequent umgesetzt werden. Die Datengrundlage, die für die Geosynthese herangezogen wird, sollte zwingend alle vorhandenen Daten einbeziehen und z. B. bei den vorhandenen Kartenwerken sich von kleinmaßstäbigen Übersichtskarten zu den großmaßstäbigen Karten der Deutschen Geologischen Grundkarte (GK 25) im Maßstab 1:25 000 vorarbeiten. In den bisherigen Erläuterungen und bei der Ausweisung von Teilgebieten hat sich die BGE auf Übersichtskartenwerke GÜK 500 bis GÜK 100 bezogen. Bei dem geplanten schrittweisen Vorgehen können dann Bereiche eines Untersuchungsraums/ Teiluntersuchungsraums, die eine Mindestanforderung nicht erfüllen, in die Kategorie D verschoben werden und entfallen somit aus der weiteren Bearbeitung. Dafür wird nur auf schon vorhandene Daten zurückgegriffen (Daten der SGD, Fachliteratur). Eine Neuerfassung von Geodaten wird erst zu einem späteren Zeitpunkt in Phase II eingeplant. Dazu ist festzuhalten, dass die Datenlage in den hessischen Teilgebieten in der Teufenlage > 300 m als nur mäßig bis teilweise ungenügend anzusehen ist. Einzig im Bereich des Abbaus

von Kalisalzen in Osthessen (Teilgebiet 197_03IG_S_f_z) ist eine gute Datenlage zu verzeichnen. Dagegen ist die Datenlage in Nordhessen nahe der hessisch-niedersächsischen Grenze (Teilgebiet 197_04IG_S_f_z) und im Bereich des Teilgebietes in Südosthessen (193_00IG_K_g_MKZ) meist sehr dünn. Hier fehlen gebietsspezifische Informationen, die das potenzielle Wirtsgestein Salz in flacher Lagerung bzw. Kristallin durchteufen und Mächtigkeits- und Verbreitungsangaben bzw. Informationen zur Petrographie zum Wirtsgestein sowie der Barrierefunktion hergeben. Vor allem im Teilgebiet 197_04IG_S_f_z ist zu vermuten, dass das Mächtigkeitskriterium für Wirtsgesteine (100 m) im Salz nicht erreicht wird.

Mit der Geosynthese wird der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion selbst als auch das Neben- und Deckgebirge betrachtet. Die geplanten Hauptinterpretationsschritte im Rahmen der Geosynthese scheinen erfolgversprechend für eine genaue Beschreibung des geologischen Inventars eines Teiluntersuchungsraumes im Hinblick auf eine Charakterisierung und Bewertung des Wirtsgesteinsbereiches mit Barrierefunktion. Auf dieser Grundlage werden die Prüfschritte erfolgen, mit denen die Gebiete in die Kategorien D, C, B, A eingestuft werden sollen.

Die in **Kapitel 5.1** vorgestellte Vorgehensweise bezüglich des **Umgangs mit heterogener Datenlage** ist aus Sicht des HLNUG der richtige Schritt die Quantität und Qualität der Daten bewerten zu können. Es bleibt abzuwarten, wie die Umsetzung erfolgt und welche Ergebnisse daraus hervorgehen.

Wir möchten jedoch darauf hinweisen, dass nicht nur wie im Text beschrieben „*innerhalb der Gebiete die Datendichte ungleich verteilt ist.*“, sondern auch die Qualität der Daten sehr heterogen ist. Schichtenverzeichnisse (SV) aus den Jahren vor 1930 sind beispielsweise anders zu bewerten als aktuelle SV. Vornehmlich die Datendichte ist aber meist sehr gering, vor allem in den Teilgebieten Nordhessens (197_04IG_S_f_z) und Südosthessens (193_00IG_K_g_MKZ).

Eine auf mathematischen Methoden basierende Modellierung kann nach unserer Auffassung in Gebieten mit komplexen geologischen Bedingungen und sich auf geringer Distanz ändernden geologischen Verhältnissen wie z. B. im Thüringer Becken eine klassische Erkundung nicht ersetzen. Solche theoretischen Modellierungen können nur durch klassische direkte und indirekte Erkundungen validiert werden.

In **Kapitel 5.1.2.1** werden vier **Kenngößen** definiert, „*um eine Bewertung der Ableitbarkeit der Untergrundbeschaffenheit methodisch zu entwickeln*“. Die in einem Teiluntersuchungsraum vorliegende Datenlage soll anhand der verfügbaren direkten (z. B. Bohrungen) und indirekten (hier: reflexionsseismische Daten) Nachweise bewertet werden. Bei reflexionsseismischen Daten ist zu beachten, dass ältere Daten mit neueren Auswertemethoden (die zur Zeit der Erstbearbeitung nicht zur Verfügung standen) einen erheblichen Mehrwert liefern können. Die Ergebnisse des von der BGE initiierten Forschungsprojektes GeoBlocks werden mit großem Interesse verfolgt werden. Die Methode zur Bewertung der Quantität von reflexionsseismischen Daten wird aktuell noch entwickelt, daher kann zum jetzigen Zeitpunkt keine Einschätzung abgegeben werden.

Die Kenngröße 1 „Datenqualität (DQL)“ wird bei Bohrungsdaten nach der Menge an vorliegenden digitalen Schichtinformationen bezogen auf Petrologie- und Stratigraphie-Angaben in der Bohrdatenbank herangezogen. Das ist eine mögliche Vorgehensweise. Dies birgt allerdings Ge-

fahren, denn die Menge der vorliegenden Schichtinformationen muss nicht zwangsläufig mit einer besseren Datenqualität übereinstimmen. Der Detailgrad kann innerhalb einer einzigen Bohrungsaufnahme stark variieren, z.B. durch das Explorationsziel. In Erdölbohrungen sind z.B. oft nur die Reservoirs detailliert beschrieben, während das Hangende meist viel weniger genau beschrieben wird. Daher sollte die Bewertung des Detailgrads für das potenzielle Wirtsgestein sowie die weiteren Barrieren höher gewichtet werden. Zudem hängt die Datenqualität im Falle von Bohrungen stark von dem Zweck der jeweiligen Bohrung ab und davon, wer bzw. welche Institution das SV erstellt hat. Schichtenverzeichnisse von Bohrmeistern sind z. B. eher von geringer Qualität, SV von ausgebildeten Geowissenschaftlern dahingehend als sehr viel besser einzustufen. SV von Forschungsbohrungen sind ebenfalls von hoher Qualität und mit großer Aussagekraft, ebenso die SV der Kohlenwasserstoffindustrie mit zahlreichen weiteren bohrlochgeophysikalischen Daten. Hier ist allerdings zu beachten, dass diese teilweise nicht mit konstanter Qualität über das gesamte Bohrprofil hinweg aufgenommen sind. Wie in Hessen, so ist in Thüringen bekannt, dass sich die im Deckgebirge zu beobachtenden tektonischen Strukturen von denen des Grundgebirges im Liegenden des Zechsteins deutlich unterscheiden. Dies führt dazu, dass man nicht nur über die räumliche Verteilung von Oberflächen- und Bohrungsdaten unterschiedliche Informationsdichten erhält, sondern auch noch unterschiedlich tektonische Strukturen je nach Tiefenlage. Da Steinsalzformationen nicht nur von oben, sondern von ihrer Basis und den Seiten her gelöst werden können, ist dies bei der Beurteilung ablaufender geogener Prozesse zu berücksichtigen. Der Kenntnisstand darüber ist aber eher gering.

Die Vorgehensweise für die Kenngröße 2 „Datenquantität (DQN)“, nur *„solche Bohrungen zu bewerten, die auch Informationen zum betrachteten Horizont liefern können“* sowie relevante Bohrungen außerhalb des Teiluntersuchungsraums erscheint sinnvoll.

Zu Kenngröße 3 „Interpretative Daten und weitere (indirekte) Nachweise (IDN)“ hat das HLNUG keine Anmerkungen.

Zu Kenngröße 4 „Geologische Komplexität (KX)“ ist anzumerken, dass die auf den geologischen Karten im Maßstab 1:25 000 eingetragenen tektonischen Lineationen zum Teil Interpretationen der geologischen Situation darstellen und somit deren Lage sehr vom jeweiligen Bearbeiter und dem Erscheinungsjahr der Kartierung abhängig ist. Teilweise ist das tektonische Inventar viel zu stark überzeichnet, teilweise unterschlagen worden („Kartierstil“). Daher wird von einer automatisierten Auswertung abgeraten.

Die Kenngrößen sind teilweise in Ihrer Bedeutung voneinander abhängig, z. B. Kenngröße 3: interpretative Daten und weitere (indirekte) Nachweise (IDN) von Kenngröße 4: geologische Komplexität (KX), da für geologisch komplexe Gebiete interpretative Daten wesentlich dichter vorliegen müssen.

Zu **Kapitel 5.1.3.2 Repräsentative Profile** ist anzumerken, dass die Bestimmung repräsentativer, vertikaler Profile in Gebieten mit wenig Tektonik und flacher Lagerung möglich ist. Im Kristallin der MKZ ist sie aufgrund der Verschuppung der Gesteinseinheiten nicht möglich, zumal man nicht davon ausgehen kann, dass Störungen senkrecht in den Untergrund verlaufen.

In **Kapitel 5.1.4** wird der **Umgang mit Gebieten ohne hinreichende Informationen nach § 14 StandAG** beschrieben. Im Rahmen der Geosynthese werden die Gebiete ohne hinreichende

Informationen identifiziert und ausgewiesen. Es wird dargelegt, wie mit diesen Gebieten weiterhin verfahren wird. Nicht hinreichende Daten alleine können kein Grund für den Ausschluss im weiteren Verfahren sein (StandAG §14 (2)). „*Der Umgang mit den Gebieten ohne hinreichende Informationen wird deshalb in Schritt 2 der Phase I gesondert behandelt (§ 14 StandAG).*“ Sie sollen auf eine Empfehlung zur weiteren Erkundung in Phase II bewertet werden.

Es folgt mit **Kapitel 5.1.4.1** die **Grundlegende Definition von nicht hinreichenden Informationen**. Für Gebiete mit nicht hinreichenden Informationen ist zu prüfen, ob die Datenlage eine geowissenschaftliche Begründung darüber zulässt, „*ob eine Wirtsgesteinsformation in einem Gebiet mit hoher Wahrscheinlichkeit angetroffen werden kann oder nicht. Darüber hinaus sollten Informationen vorliegen, anhand derer die Mächtigkeit, Teufenlage sowie die lithologische Ausprägung des Wirtsgesteinskörpers abgeschätzt werden können.*“ Erst wenn dies ausgeschlossen werden kann, wird die Region nicht weiter in dem Verfahren rvSU und mit der Anwendung der Kriterien nach den §§ 22 bis 24 StandAG behandelt. Eine neue Datenlage kann durch Auswertung von vorhandenen Daten z. B. Geophysik (Magnetik, Gravimetrie) erarbeitet werden. Damit Aussagen über die Mächtigkeit und die Verbreitung von Wirtsgesteinen möglich sind. Am Beispiel des Gebietes GzME „Saxothuringikum“ wird die nicht hinreichende Informationslage beschrieben. Es bleibt unklar anhand welcher Kriterien eine solche Einstufung möglich sein soll und wie die Eignungsfähigkeit ohne hinreichende Informationen als „gleichwertig“ oder „besser“ als die ermittelten Standortregionen ermittelt werden soll.

Der **Umgang mit Gebieten mit nicht hinreichender Information** wird in **Kapitel 5.1.4.2** beschrieben. Gebiete ohne hinreichende Informationen werden im Folgenden während der rvSU, geowissenschaftlichen und planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien nicht weiterbearbeitet, sondern erst mit dem Standortregionen-Vorschlag bewertet. Mit dem Standortregionen-Vorschlag durch die BGE wird der weitere Umgang mit den betroffenen Gebieten ohne hinreichende Informationen individuell empfohlen und fachlich begründet. Dabei bleibt offen, wie das möglich sein soll, da die Datenlage nicht hinreichend ist. Die Bewertung kann also nur anhand von Analogieschlüssen erfolgen. Es ist daher davon auszugehen, dass der größte Teil der Gebiete mit unzureichender Datenlage aus dem Verfahren ausscheiden wird.

Zu der **Charakterisierbarkeit von Salzstrukturen (Kap. 5.2.3)** ist zu beachten, dass wie in dem Beispiel Salzstock Bahlburg erkenntlich wird, 2D-seismische Messungen für den Erkenntnisgewinn des Internaufbaus von Salzstöcken nur bedingt aussagekräftig sind. In diesen Fällen sind mit Sicherheit weiterführende 3D-seismische Erkundungen zusammen mit weiteren Erkundungsdaten notwendig. Hier können weiterführende geophysikalische Methoden (vor allem Gravimetrie, Magnetik) wichtige Informationen liefern.

In Kapitel **5.3 Geowissenschaftliche Langzeitprognose – Beschreibung geogener Prozesse** wird dargelegt, wie mit der geowissenschaftlichen Langzeitprognose analysiert werden soll, welche geologischen Prozesse in der Vergangenheit aufgetreten sind und wie diese voraussichtlich im Bewertungszeitraum von einer Million Jahren in einem Gebiet auftreten werden (Prognose).

Es werden die Prozesse Transgression/Regression, magmatische und vulkanische Aktivität, Diagenese, Erosion, Subrosion und Salzdiapirismus in der geowissenschaftlichen Langzeitprognose betrachtet, was z. B. zur Erfüllung des Ausschlusskriteriums „Vulkanismus“ oder der Nicht-Erfüllung der Mindestanforderung „Erhalt der Barrierewirkung“ führen kann (siehe Kapitel 5.4.4).

Im Dokument heißt es: *„Die geologischen Verhältnisse einer Region sind das Ergebnis des Wirkens einer Vielzahl geologischer Prozesse, die fortwährend mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Intensitäten zur heutigen Gestalt des geologischen Baus einer Region geführt haben. In der geowissenschaftlichen Langzeitprognose werden diese Prozesse als geogene Prozesse zusammengefasst und umfassen sowohl endogene Prozesse wie Magmatismus und Tektonik als auch exogene Prozesse wie z. B. glaziale Erosion. Für die Langzeitsicherheit eines Endlagers werden Standorte bevorzugt, in denen geologische Prozesse die heutigen geologischen Verhältnisse mitsamt ihren sicherheitsrelevanten Eigenschaften über den Nachweiszeitraum der nächsten eine Million Jahre möglichst wenig ändern werden. Als Grundlage dazu wird in der geowissenschaftlichen Langzeitprognose analysiert, welche geologischen Prozesse in der Vergangenheit aufgetreten sind und wie diese voraussichtlich im Bewertungszeitraum von einer Million Jahren in einem Gebiet auftreten werden (Prognose). Dabei liegt der Fokus auf den geogenen Prozessen, die zu einer Änderung von sicherheitsrelevanten Eigenschaften führen können. In den rvSU betrifft dies insbesondere geogene Prozesse, die das Potenzial haben, die Funktionsfähigkeit der geologischen Barriere zu beeinträchtigen.“* Vor diesem Hintergrund sollten aus Sicht des HLNUG seismische Einwirkungen genauer betrachtet werden. Gängige Erdbebenkataloge umfassen in der Regel maximal einen Zeitraum von 1000 Jahren, tatsächlich verlässliche Zeiträume sind noch einmal deutlich geringer (eher die letzten 50-100 Jahre). Geologisch gesehen sind dies sehr kurze Zeiträume. In einigen Gebieten gibt es paläoseismische Informationen, die darauf schließen lassen, dass deutlich stärkere Erdbeben als in der im StandardAG genannten DIN-Norm (DIN EN 1998-1), in Deutschland in der Vergangenheit aufgetreten sind. Der reine Verweis auf eine Baunorm für Hochbauten ist hier nicht zielführend, zumal deren Aussagekraft für unterirdische Bauwerke und für einen Zeitraum von 1 Mio. Jahren nicht geeignet ist. Dies wurde bereits mehrmals festgestellt, u.a. im Gutachten von WENZEL (2020). Es ist zu betrachten, wie die Auswirkungen signifikanter Erdbeben auf die Sicherheit (langfristige Stabilität) eines Endlagers und vor allem auf die Barrierefunktion sind.

Weiter heißt es: *„Für die Langzeitsicherheit eines Endlagers werden Standorte bevorzugt, in denen geologische Prozesse die heutigen geologischen Verhältnisse mitsamt ihren sicherheitsrelevanten Eigenschaften über den Nachweiszeitraum der nächsten eine Million Jahre möglichst wenig ändern werden.“* Dies ist in vielen Gebieten mit flacher Salzlagerung eher unwahrscheinlich, da reguläre und irreguläre Subrosionsprozesse ständig weiterlaufen. Durch Steinsalzlösung und -abfuhr werden also Oberfläche und Volumen ständig verändert bzw. verkleinert werden, mit entsprechenden Folgen für das Deckgebirge. Ebenfalls zu beachten ist die CO₂ Problematik bei Kontakt von Vulkaniten mit Steinsalzschiechten, z.B. im Werra-Kaligebiet („Ausbläser“, „Racheln“, Schnitte (Störungen im Salz), Basaltgänge, Laugenstellen).

Die BGE nimmt als Grundlage der Bewertung Subrosionsgefährdung eine Tiefenlage der löslichen Gesteine ab einer Tiefe von 300 m unter GOK an. Aus Sicht von Hessen sind auch alle löslichen Gesteinsschichten oberhalb dieser von der BGE festgelegten Tiefenlage maßgeblich. Die Bildung von Hohlräumen im Steinsalz und deren Auswirkungen auf die Erdoberfläche unterscheiden sich prinzipiell von den Vorgängen im Sulfatkarst. Vorzugsweise werden flache weitgespannte Hohlräume gebildet, die zur Durchbiegung des hangenden Deckgebirges und zu Instabilitäten führen. Der Bewegungsverlauf von Senkungsmulden über Chloridkarst lässt sich grundsätzlich nach der Trogtheorie von LEHMANN (1919) beschreiben. Die Senkung wird dadurch gekennzeichnet, dass sich jedes Bodenteilchen auf dem kürzesten Weg in Richtung zum unterirdischen Hohlraum bewegt. Dies bedeutet, dass am Rande des Troges Zugspannungen auftreten, die sich als Zerrungszonen mit Rissen, Spalten, Gräben und Erdfällen äußern.

Die Überschreitung des Bruchwinkels führt zu diesen Zerrungsspalten, die eine bruchhafte Deformation nach sich führen. Diese Aufweitungsstrukturen bedingen neben der **geomechanischen Schwächung** der Gebirgsfestigkeit des hangenden Gebirges über dem möglichen Einschlussbereich auch eine insgesamt sehr viel **höhere Wasserwegsamkeit bzw. Gebirgsdurchlässigkeit** in die signifikanten Bereiche.

In hessischen Gebieten konnte durch geoelektrische Vertikalsondierungen und hammerseismische Ergebnisse eine starke Zerrüttung des Untergrundes von Senkungsmulden nachgewiesen werden (z.B. Rotenburg an der Fulda, GK 5024 oder an der Breitendelle, MOTZKA & LAEMMLEN 1974).

Wannen- und kesselförmige Senkungsmulden sind charakteristisch für den Bereich zwischen dem inneren und äußeren Salzhang. Dabei treten in Hessen rezente, meist runde Senkungskessel vor allem im Bereich von Störungskreuzungen auf und zeigen rasante Absenkgeschwindigkeiten (2005). Die Absenkbeträge der einzelnen Mulden liegen zwischen einigen Millimetern und Dezimetern im Jahr am aktiven Salzhang. Nach ADERHOLD (2005) werden als Beispiele hierfür die Senkungsmulden in Altmorschen (GK Hessen 4923), Werda und Rothenkirchen (GK Hessen 5224) und Schlotzau (GK Hessen 5323) angeführt.

Für Hessen ist nachgewiesen, dass in den seismisch ermittelten subrosiven Reduktionszonen des Salinars von erheblichen Lagerungsstörungen auszugehen ist.

Das Deckgebirge ist insgesamt als stark aufgelockert anzusehen. Hohe Gefährdungen im Bereich von aktiver Verkarstung ergeben sich durch Senkungen, Krümmungen, Pressungs- und Zerrungserscheinungen sowie Spannungskonzentrationen. Eine Bruchgefährdung des Gebirges liegt insbesondere am Übergang von der konvexen zur konkaven Senkungsmulde vor.

Gemäß § 3 Abs. 2 EndlSiAnfV sind alle zukünftigen Entwicklungen des Endlagersystems und der geologischen Situation am Endlagerstandort im Bewertungszeitraum von 1 Mio. Jahre zu berücksichtigen. Damit schlägt Hessen vor, alle löslichen Gesteine im Untergrund auch oberhalb des möglichen Einschlussbereiches für die Methodenentwicklung und alle weiteren Untersuchungen zu berücksichtigen. Dies sollte als generelle Empfehlung gemäß Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß EndlSiUV für die Methodenentwicklung stratiformes Steinsalz verstanden werden.

Für eine der Geosynthese angemessene **Beschreibung des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion in Hinblick auf die zielgerichtete Anwendung der Mindestanforderungen (Kap. 5.4)** sollten nach Möglichkeit gebietsspezifische Informationen verwendet werden. Dies wird problematisch werden bei heterogener bzw. unzureichender Datenlage wie wir sie z. B. in Hessen im Teilgebiet 193_00IG_K_g_MK (Kristallin) oder aber in Nordhessen im Teilgebiet 197_04IG_S_f_z (Steinsalz in flacher Lagerung) vorfinden.

Im Schritt 2 der Phase I soll der Detaillierungsgrad der Aussagen und der Datengrundlagen noch einmal wesentlich erhöht werden. Für die Methodenentwicklung Wirtsgestein Kristallin im Gebiet Saxothuringikum wurde als Datengrundlage nur die GÜK 400 verwendet (Abb. 67, Blatt 245). Bei diesem Schritt sollten jedoch vor allem die Karten der Deutschen Geologischen Grundkarte im Maßstab 1:25 000 Verwendung finden.

In Schritt 1 der Phase I wurden stratigraphische Einheiten identifiziert, die Wirtsgesteine mit mindestens 100 m Mächtigkeit erwarten ließen. Die **Mindestanforderung „Mächtigkeit“ (Kap. 5.4.1)** wird von heterogenen Schichtfolgen, welche nur kumuliert eine Mächtigkeit über 100 m erreichen, nicht erfüllt (z. B. eine Abfolge aus 50 m Tongestein und 50 m Steinsalz oder eine Abfolge aus 50 m Steinsalz, 10 m Kalisalz und 50 m Steinsalz).

So gesehen, war die Auswahl von Teilgebieten in Schritt 1 der Phase I nur eine sehr grobe Annäherung an die wirklichen Gegebenheiten. Mit den rvSU im 2. Schritt der Phase I bei dem die vorhandenen Daten im Detail ausgewertet werden, sollten viele Gebiete entfallen, da die tatsächliche Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs in Bezug auf die Formation/Petrographie vielfach nicht vorhanden ist (z. B. ist die stratigraphische Gesteinsformation Werra-Salz in Hessen in ein vielfaches an unterschiedlichen Gesteinseinheiten gegliedert: Unteres Werra-Steinsalz, Kaliflöz Thüringen, Mittleres Werra-Steinsalz, Kaliflöze Hessen, Hattorf, Oberes Werra-Steinsalz).

Damit werden vermutlich große Bereiche der hessischen Teilgebiete mit flachen Salzhorizonten aus dem weiteren Verfahren ausscheiden. Hier befinden sich in der stratigraphischen Einheit Werra-Salz Einschaltungen von Tonlagen, Anhydrit Horizonte und mehrere Kalisalz-Flöze. Das Untere, Mittlere oder Obere Werra-Steinsalz haben eigentlich keine entsprechend große Mächtigkeit von > 100 m für einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich im hessischen Verbreitungsraum.

In Abb. 74, Blatt 266 sind in der Profilsäule nicht die **Steinsalz**-Formationen, sondern die **Salz**-Formationen von Werra- und Staßfurt-Formation ausgehalten. Dies ist irreführend und entspricht nicht den Ansprüchen an die Mindestanforderung „Mächtigkeit“. Werra- und Staßfurt-Salz-Formation werden durch Kalisalz-Flöze untergliedert. Das Werra-Salz besteht somit aus einem Unteren-, Mittleren- und einem Oberen-Werra-Steinsalz. Diese homogenen Steinsalz-Formationen haben entsprechend geringere Mächtigkeit. Dieser Umstand wird in der Abbildung und im Text nicht richtig wiedergegeben und berücksichtigt.

Ob die von der BGE verwendeten Datengrundlagen diesen Umstand berücksichtigt haben, ist nicht nachvollziehbar. Detaillierte Daten darüber sind in den Schichtenverzeichnissen der Tiefbohrungen im Bereich des Kalibergbaus und des SGD sicherlich vorhanden.

Aus dem „Anwendungsbeispiel im GzME „Thüringer Becken“ (03_00UR) – Bearbeitung des Indikators 3.1a“ findet sich ein Beispiel, dass eine differenzierte Betrachtung der Formationen erfolgt ist!

Ein sicherer Nachweis kann nur durch Bohrungen oder aber evtl. mit Hilfe von Seismik geführt werden. Viele Gebiete werden daher über unzureichende Datenlagen verfügen.

Im Falle des Wirtsgesteins Steinsalz in flacher Lagerung ist zudem zu bedenken, dass dessen Mächtigkeit bei Zutritt von Wasser durch Subrosion sehr schnell reduziert wird. Bei Oberrohn in Thüringen beispielsweise sind 0,5 m/a Senkungen an der Oberfläche infolge von aktiver Subrosion im Steinsalz zu verzeichnen, es muss also davon ausgegangen werden, dass in derselben Geschwindigkeit die Salzoberfläche gelöst wird. Das entspricht einer Lösungsgeschwindigkeit von 100 m in 200 Jahren!

In **Kapitel 5.4.2 Beispiele zur Überprüfung der Mindestanforderung „Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs“** heißt es in „Beispiel GzME „Thüringer Becken“ (03_00UR)“: „Das Auftreten von geringmächtigen Zwischenschichten innerhalb einer Steinsalz-Formation und...“. Es geht aus dem Text nicht hervor, wie „geringmächtig“ in diesem Zusammenhang definiert ist. Auf Blatt 265 beispielsweise wird angeführt, dass bei 10 m Kalisalz die hangenden und liegenden Steinsalzmächtigkeiten getrennt gewertet werden. Wo ist die Untergrenze für die Mächtigkeit einer Kalisalzlage oder eingeschalteten Tonlagen, dass sie keine Trennung bewirkt? Wenn Kalisalzlagen mit geringen Mächtigkeiten im Steinsalz nicht als trennende Lagen gewertet werden, muss zumindest deren Salzzusammensetzung (Hartsalz, Kainit, Carnallit etc.) berücksichtigt werden, da diese sowohl auf die Löslichkeit als auch auf die gebirgsmechanischen Eigenschaften hohen Einfluss haben.

In dem „*Beispiel GzME Saxothuringikum (009_00TG)*“ des **Kapitels 5.4.3 Minimale Teufe des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs** wird beschrieben, dass „*Tektonisch sowie lithologisch abgrenzbare Gebiete mit gleicher geologischer Entwicklung [...] so zu regionalgeologischen Räumen zusammengefasst*“ wurden. Im hessischen Odenwald ist dies jedoch nicht der Fall. Hier sollten die einzelnen Teilräume wie z. B. Böllsteiner Odenwald und Bergsträßer Odenwald mit den einzelnen Regionen (z. B. Frankenstein-Pluton, Eberstadt-Roßdorf-Schieferzug, usw.) getrennt behandelt werden. Als Grundlage empfehlen wir unbedingt das Kartenwerk der GK 1:25.000 zu verwenden. Tiefbohrungen liegen in der Regel selten vor. Weitere Hinweise könnten durch geophysikalische Untersuchungen (siehe auch Anmerkung zu Kap 5.7.1) erzielt werden.

In **Kapitel 5.5 Zielgerichtete Anwendung der Ausschlusskriterien** wird beschrieben, dass bei den Ausschlusskriterien „seismische Aktivität“ und „großräumige Vertikalbewegungen“ keine weiterentwickelte Anwendung stattfinden soll. Diese werden nach aktuellem Kenntnisstand in der Bearbeitung im Rahmen des § 14 StandAG als abgeschlossen angesehen. Zum Ausschlusskriterium „seismische Aktivität“ gelten die unter Kapitel 5.3 genannten Bedenken.

Bei der **Anwendung des Ausschlusskriteriums Aktive Störungszonen (Kapitel 5.5.1)** werden „*sowohl aktive Störungszonen als auch atektonische Vorgänge*“ berücksichtigt. Zu dem Punkt „**Aktive Störungszonen**“ geben wir zu bedenken, dass Aussagen darüber, ob Bewegungen innerhalb der letzten 34 Millionen Jahren stattgefunden haben, in den seltensten Fällen vorliegen. Ebenso verlaufen die wenigsten Störungen senkrecht in den Untergrund, die genaue Raumlage und Geometrie kann anhand der vorliegenden Daten meist nicht bestimmt werden. Auch hier könnten geophysikalische Untersuchungen helfen. Somit begrüßen wir die Durchführung des Forschungsprojekts „BGE 2021g“.

Atektionische Vorgänge wie z. B. relevante Subrosionserscheinungen an der Erdoberfläche sind im Gebiet zur Methodenentwicklung „Thüringer Becken“ bereits berücksichtigt worden. Diese Vorgänge sind in Hessen für das Deckgebirge über Zechsteinsalzen bekannt und müssen für die hessischen Teilgebiete (197_04IG_S_f_z und 197_03IG_S_f_z) ebenfalls geprüft und aktualisiert werden. Hier stellt sich die Frage, wie im Fall von Steinsalz in flacher Lagerung die ständige Fortbewegung des Salzhangs (als aktive Störungszone) in das intakte Salinar hinein, d.h. flächenhaftes Weglösen des Salinars mit Wanderung von Subrosionserscheinungen im Deckgebirge über die Betrachtungszeit von 1 Mio. Jahren gewertet wird und ob dabei ein Sicherheitsabstand von 1000 m ausreicht. Nach Ansicht des HLNUG sind 1000 m Sicherheitsabstand nur dann sinnvoll, wenn bekannte Subrosionsstrukturen als Fläche erfasst sind, da es Subrosionssenken mit mehreren Kilometern Durchmesser gibt. Die Auflockerung und Störung des Deckgebirges ist abhängig von der Tiefenlage des Subrosionshorizonts. Wir begrüßen ausdrücklich, dass in den aufgezeigten Beispielen dieses Kapitels Anmerkungen der SGD aufgegriffen wurden. Dies sollte bei allen Teilgebieten weiterhin stattfinden.

Bei dem Ausschlusskriterium „**Einflüsse aus gegenwärtiger oder früherer bergbaulicher Tätigkeit**“ (**Kap. 5.5.2**) müssen bei der Methodenanwendung auf die hessischen Teilgebiete Anpassungen erfolgen. Im Werra-Salinar z. B. werden bei der Kalisalzgewinnung in Osthessen bis über 3 km lange Horizontalbohrungen durchgeführt, die dem Abbau vorausgehen. Diese müssen komplett in einer 3-D-Betrachtung berücksichtigt werden. Daten (selbst Nachweisdaten) dieser Bohrungen liegen dem HLNUG nicht vor.

Für Schritt 2 der Phase I ist keine Änderung der Vorgehensweise aufgrund des statischen Verweises des StandAG auf die DIN EN 1998-1/NA:2011-01 vorgesehen. **Seismische Aktivitäten (Kap. 5.5.3)**, die außerhalb der Erdbebenzonen 2 und 3 liegen, sollen jedoch im Rahmen der Arbeiten der geogenen Entwicklungen berücksichtigt und hinsichtlich potenzieller Auswirkungen auf die Sicherheitsfunktionen bewertet werden. Auch hier gelten die Anmerkungen aus Kapitel 5.3 (siehe oben). Es sollten sämtliche Quellen zu seismischen Ereignissen (Erdbebenkataloge, Paläoseismologie) in die Bewertungen eingehen und Auswirkungen seismischer Ereignisse auf die Sicherheitsfunktionen eines untertägigen Endlagerstandortes modelliert werden. Daher sollte für jedes Teilgebiet/Untersuchungsgebiet eine Einzelfallbewertung vorgenommen werden. Herdflächenlösungen und Momententensoren abgeleitet von Erdbebenereignissen können wichtige Informationen über das aktuelle Spannungsfeld und aktuelle tektonische Prozesse enthalten. Für Deutschland (z. B. World Stress Map, HEIDBACH ET AL. 2008) und Hessen gibt es entsprechende Publikationen (z. B. HOMUTH ET AL. 2014, HOMUTH & RÜMPKER 2017). Solche Informationen sollten in die Bewertungen mit einbezogen werden.

Zum **Grundwasseralter (Kap. 5.5.5)** ist die Datenlage sehr heterogen und auch für Hessen unzureichend. Für das Werra-Salinar existieren in Hessen einige wenige Daten aus dem existierenden Abbau über die chemische Beschaffenheit und z.T. das Alter der Formationswässer von „Laugenstellen“ in Kaliflözen. Für Kristallingesteine gibt es keine Daten aus den Tiefen, die für einen EWG in Betracht kommen könnten.

Aufgrund der großflächigen und in ihrem geologischen Aufbau teilweise sehr heterogenen Untersuchungsräume ist eine Bewertung der Übertragbarkeit von Informationen durch die **Unterteilung von Untersuchungsräumen in Teiluntersuchungsräume (Kap. 5.6)** praktikabel. Aus diesen Überlegungen lassen sich folgende Aspekte für die Unterteilung eines Untersuchungsraums in Teiluntersuchungsräume ableiten:

Ein Teiluntersuchungsraum stellt ein geographisch zusammenhängendes Gebiet dar; prägende geologische Strukturen können Teiluntersuchungsräume begrenzen; lithologische, lithofazielle oder paläogeographische Grenzen können einen Teiluntersuchungsraum begrenzen; ein Teiluntersuchungsraum bezieht sich auf einen Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion.

Wir begrüßen die in **Kapitel 5.6.1 Beispiele zur Unterteilung von Untersuchungsräumen in Teiluntersuchungsräume** anhand von Beispielen illustrierte Unterteilung von Untersuchungsräumen, also von Teilgebieten in Teiluntersuchungsräume. Kriterien, die dabei herangezogen werden, müssen aber für alle Teilgebiete gelten und sich nicht nur auf ein Teilgebiet beschränken. Dies ist transparent und nachvollziehbar zu dokumentieren. Es darf nicht der Eindruck entstehen, dass die Teilgebiete bei einer Unterteilung unterschiedlich behandelt worden sind und somit bestimmte Regionen bevorzugt oder benachteiligt werden.

Im „*Beispiel zur Anwendung im GzME „Thüringer Becken“*“ erscheint die Untergliederung des Teilgebietes / Untersuchungsraums Thüringer Becken in 27 Teiluntersuchungsräume zunächst sehr detailliert und muss genau begründet sein. Aus der Tabelle geht hervor, dass für die Unterteilung vorwiegend Störungen herangezogen wurden. Eine so kleinteilige Untergliederung erfordert einen hohen Aufwand in der Prüfung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen. Es bleibt fraglich, ob die herangezogenen Störungen und deren Verläufe wirklich alle entsprechend gut erforscht sind und nachweislich mit Daten belegbar.

In Abbildung 85 ist der Untersuchungsraum 078_02TG_197_02IG_S_f_z dunkelblau dargestellt, die definierten TUR in anderen Farben. Hier stellt sich die Frage, ob nicht der gesamte Untersuchungsraum in TUR gegliedert werden müsste? Was ist mit dem „übriggebliebenen“ dunkelblauen Rest? Wird er wie ein Teiluntersuchungsraum behandelt, auch wenn er nicht räumlich zusammenhängende Bereiche beinhaltet?

Im „*Beispiel zur Anwendung im GzME „Saxothuringikum“ (009_00TG)*“ werden Gebiete im Saxothuringium durch lithologische (unterschiedliche Gesteinsformationen) oder strukturelle Grenzen (v. a. überregionale Hauptstörungen) voneinander abgegrenzt. Die Unterteilung der Teilgebiete im Wirtsgestein Kristallin anhand dieser Kriterien ist sinnvoll um die sehr großen Gebiete zu verkleinern und anhand der Kriterien eine Vorauswahl zu treffen.

In Hessen wurde nur ein Teilgebiet (193_00IG_K_g_MKZ) im Wirtsgestein Kristallin ausgehalten:

Kristallines Wirtsgestein wurde in Hessen mit dem Teilgebiet 193_00IG_K_g_MKZ ausgehalten. Mit dem Teilgebiet soll die Verbreitung der kristallinen Gesteine der Mitteldeutschen Kristallinzone (MKZ) abgedeckt werden. Diese Zone liegt zwischen dem südöstlichen Teilgebiet des Saxothuringikums und der Taunus-Südrandstörung am Südrand des Rheinischen Schiefergebirges. Die kristallinen Gesteine treten im kristallinen Odenwald und kristallinen Spessart in Hessen an der Erdoberfläche zu Tage. In allen anderen Landesteilen, die von dem Teilgebiet betroffen sind, sind die kristallinen Gesteine der MKZ in größeren Tiefen liegend von mächtigem Deckgebirge jüngerer Gesteine überlagert. Die MKZ ist eine von Südwest nach Nordost streichende Zone, die sich von den Nord-Vogesen und den Pfälzer Wald im SW über Odenwald, Spessart und das Ruhlaer Kristallin im Thüringer Wald bis zum Kyffhäuser erstreckt und an diesen Orten an der Erdoberfläche ansteht (REISCHMANN 2021).

Eine Untergliederung des Teilgebietes (193_00IG_K_g_MKZ) in Hessen in Bereichen, in denen die kristallinen Gesteine an der Erdoberfläche anstehen, also im Odenwald und Spessart, ist anhand des Kriteriums unterschiedliche Gesteinsformationen möglich und vor allem für den Odenwald notwendig. Für Gebiete, die allerdings von Deckgebirge überlagert sind, ist eine Untergliederung nicht möglich. Hier ist die Datenlage so schwach, dass Aussagen über die Verbreitung von Störungen oder von unterschiedlichen Gesteinsformationen nicht möglich sind. Trotz der Deckgebirgsüberlagerung sind die kristallinen Gesteinen im tieferen Untergrund stellenweise durch Bohrungen nachgewiesen (z. B. Großwallstadt, Hochspessart, WEINELT et al. (1985)); in der Rhön ergibt sich ein Nachweis durch die aus größeren Tiefen mitgebrachten Einschlüsse in pyroklastischen Gesteinen EHRENBERG & HICKETHIER (2002), FRANZ & SEIFERT (1998)). Die Untergliederung des hessischen Spessarts ist in der Fachpublikation „Geologie von Hessen“ (HLNUG 2021) in Kap. 3.8.3 textlich und mit Kartendarstellung (Abb. 3.8.1) modifiziert nach HIRSCHMANN & OKRUSCH (1988) dargestellt.

Kristalliner Spessart:

Die kristallinen Gesteinseinheiten des Spessarts sind metamorphe Gneise, Amphibolithe und Glimmerschiefer, in die Metabasitzüge und Orthogneise zwischengeschaltet sind. Im Süden sind mit den Orthogneisen des Rotgneis-Komplex und des Haibacher Gneis sowie mit dem jüngeren Paragneis Quarzdiorit-Granodiorit-Komplex Gesteinskomplexe verbreitet, die zu den sog. S- als auch I-Typ Plutoniten gezählt werden können. Mit der Intrusion des jüngeren Quarzdiorit-Granodiorit-Komplexes in Verbindung mit der Variskischen Orogenese war die Entwicklungsgeschichte des Grundgebirges abgeschlossen (ANTHES & REISCHMANN (2001)).

Die Deformation der metamorphen Gesteine führte zu einer intensiven Faltung, Schieferung und Scherung der Gesteinsformationen im kristallinen Spessart. Die Orthogneise bilden dabei eine sattelartige Struktur, die von Glimmerschiefern und Paragneisen umgeben ist bzw. mit diesen verfaltet und verschuppt auftritt. Diese umhüllenden Gesteinsformationen werden als Deckenstapel interpretiert (WEINELT 1962, OKRUSCH & WEINELT 1965, BEHR & HEINRICHS 1987, OKRUSCH & WEBER 1965, REISCHMANN 2021). Zahlreiche Nordwest – Südost verlaufende Störungszonen mit Sprunghöhen von 200 – 500 m durchschlagen die kristallinen Gesteinsformationen im Spessart. An den sog. Spessartrandverwerfungen ist das Kristallin gegen das umgebende und überdeckende Deckgebirge von Rotliegend, Zechstein und Buntsandstein begrenzt. Nach Hessen ragt nur die nordwestliche Spitze des kristallinen Spessarts hinein, hier sind die metamorphen Gesteine der Alzenau-Formation, Geiselbach-Formation und der Mömbris-Formation verbreitet. Der größere Teil des kristallinen Spessarts befindet sich im Bundesland Bayern.

Kristalliner Odenwald:

Der kristalline Odenwald kann anhand seiner unterschiedlichen Gesteinsformationen und den vorhandenen Hauptstörungszonen in verschiedene Teiluntersuchungsräume gegliedert werden. Der größte Aufschluss der MKZ besteht aus den tektonischen Großeinheiten Bergsträßer Odenwald (Westen) und Böllsteiner Odenwald (Osten) mit jeweils deutlich unterschiedlichen magmatischen, metamorphen und tektonischen Entwicklungen.

Vorschläge für eine Unterteilung sind in den Kartendarstellungen der Abb. 3.7.1 und 3.7.2, Kap. 3.7 (NESBOR (2021)) anschaulich dargestellt. Die Großgliederung muss anhand von tektonischen Kriterien (Otzberg-Störungzone) in Bergsträßer Odenwald, Otzberg-Zone und Böllsteiner Odenwald vorgenommen werden. Weitere Untergliederungen ergeben sich aus den differenzierten Gesteinsformationen also lithologischen Kriterien. Der kristalline Odenwald besteht aus metamorphen Gesteinen und jüngeren Plutoniten.

Bergsträßer Odenwald (von S nach N): Heidelberg-Pluton mit Weinheim-Wald-Michelbach Schieferzug, Tromm-Pluton, Weschnitz-Pluton, Neunkirchen-Komplex, Neutsch-Komplex, Melibokus-Pluton, Frankenstein-Pluton, Darmstadt-Pluton und Mainzer-Berg-Pluton sowie Eberstadt-Roßdorf-Schieferzug

Otzberg-Scherzone: Ein markantes tektonisches Lineament der MKZ (WILL 2015), bestehend aus Gneisen, Amphiboliten und Gabbros, die tektonische Scherkörper bilden.

Böllsteiner Odenwald: Kern aus granodioritischem und granitischem Orthogneis, Schieferhülle aus Metasedimentgesteinen und Meta-Magmatitserien (ALTENBERGER & BESCH 1993)

Alle Gesteinsformationen werden ausführlich von NESBOR (2021) erläutert.

Bei der **Geosynthese auf Teiluntersuchungsraumbene (Kap. 5.7)** ist das Vorgehen bei Auswahl und Bewertung von Teiluntersuchungsräumen mit den vorliegenden Daten ist aus Sicht des HLNUG nachvollziehbar beschrieben.

Zu Kapitel **5.7.1 Räumliche Konfiguration der Gesteinskörper** ist anzumerken, dass neben geologischen Strukturmodellen auch aus geophysikalischen Daten abgeleitete Modelle, die räumliche Konfiguration von Gesteinskörpern abbilden bzw. Hinweise auf deren räumliche Lage liefern können. In Hessen wurde dies z.B. in Teilgebieten des Odenwaldes und des Rheinischen Schiefergebirges durchgeführt (HOMUTH 2021).

In **Kapitel 5.7.1.1 Beschreibung der geologischen Barrieren des Endlagersystems für die Erstellung des vorläufigen Sicherheitskonzeptes und der vorläufigen Auslegung des Endlagers für Teiluntersuchungsräume** ist zu „*Räumliche Konfiguration der Gesteinskörper im Untergrund – Beispiel Teiluntersuchungsraum 04_11UR im GzME „Saxothuringikum“ (009_00TG)*“ anzumerken, dass in Hessen Bohrungen und Schichtenverzeichnisse fehlen, die das Wirtsgestein Kristallin im Teilgebiet genauer beschreiben. In Hessen fehlt daher die gute Datenlage, die im zur Methodenentwicklung untersuchte Teilraum vorlag. Lediglich eine tiefe Bohrung im kristallinen Gestein des Odenwaldes, die Bohrung Heubach (Mitteltiefe Erdwärmehohlung, 772 m, (ALTENBERGER 2012, KÖTT ET AL. 2014, LOECKLE ET AL. 2016)), gibt Anhaltspunkte. Die genaue Verbreitung von kristallinen Gesteinsformationen ist nur in denjenigen Gebieten bekannt und sichtbar, in denen das Wirtsgestein an der Erdoberfläche ansteht. Das ist im kristallinen Odenwald und im kristallinen Spessart der Fall.

Die genaue Tiefenerstreckung der Wirtsgesteine Kristallin im Odenwald und Spessart kann ebenso nur geschätzt werden und ist aufgrund der Verschuppung der Gesteinseinheiten regional zum Teil unmöglich.

In **Kapitel 5.7.2.1 Beispiele zur Ausarbeitung und Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper (Anlage 2 (zu § 24 Abs. 3) StandAG)** werden im „*Anwendungsbeispiel Teiluntersuchungsraum 03_21UR im GzME „Thüringer Becken“ (03_00UR)*“ die Kriterien am Beispiel des Wirtsgesteins Steinsalz in flacher Lagerung des Steinsalzes der Staßfurt-Formation bewertet. Alle Kriterien werden als günstig bewertet. Eine ähnliche Situation ist im Steinsalz flacher Lagerung für Hessen nicht zu erwarten. In Hessen wäre nur das Steinsalz der Werra-Formation vorhanden. Hier ergeben sich aber aufgrund der Einschaltung von 3 Kalisalz-Flözen keine über weite Flächen vorhandenen homogenen Steinsalzmächtigkeiten > 100 m. Zudem ist ein großer Teil der hessischen Gebiete mit Steinsalz im Untergrund durch ehemaligen und heute noch aktiven Bergbau für ein Endlager nicht nutzbar.

Im „*Anwendungsbeispiel Teiluntersuchungsraum 04_11UR im GzME „Saxothuringikum“ (009_00TG)*“ werden die Kriterien am Beispiel des Wirtsgesteins Kristallin des Saxothuringikums bewertet. Auch in Hessen sind kristalline Wirtsgesteine im Bereich der Mitteldeutschen Kristallinzone MKZ verbreitet (193_00IG_K_g_MKZ). Sie sind im kristallinen Odenwald und Spessart an der Erdoberfläche aufgeschlossen und in den Bereichen zwischen diesen Gebirgen unter einer Bedeckung von Deckgebirgseinheiten vorhanden. Wie im Beispiel des Teiluntersuchungsraumes 04_11UR sind ähnliche Verhältnisse bezüglich der Kriterien Barrieremächtigkeit, Teufenlage der oberen Begrenzung und flächenhafte Ausdehnung in Teiluntersuchungsräumen des in Hessen ausgewiesenen Teilgebietes 193_00IG_K_g_MKZ voraussichtlich als „günstig“ zu bewerten.

Eine **Charakterisierung des Internbaus des Wirtsgesteinsbereiches mit Barrierenfunktion (Kap. 5.7.3)** ist nur anhand einer guten bis sehr guten Datenlage in dem jeweiligen Untersuchungsraum möglich.

In Hessen ist die Datenlage in großen Bereichen des unter Deckgebirge vorhandenen Wirtsgesteins Kristallin im Teilgebiet 193_00IG_K_g_MKZ ungenügend. Detaillierte Aussagen über den Internbau sind daher ohne neue Daten, z. B. mit Hilfe von Bohrungen oder geophysikalischen Messungen nicht realistisch. In den Gebieten, wo das Kristallin an der Oberfläche verbreitet ist, sind Daten zum Internbau vorhanden (GK25, GÜK300, Schichtenverzeichnisse, Fachpublikationen z. B. „Geologie von Hessen“ (HLNUG 2021), „Geologie des Spessarts“ (LORENZ, J. 2010)). Der Internbau im Bereich des Wirtsgesteins Steinsalz in flacher Lagerung, also im Teilgebiet 197_03IG_S_f_z, ist für die Bereiche, in denen Bergbau stattfindet, sehr genau bekannt. Im

zweiten Teilgebiet 197_04IG_S_f_z in Nordhessen ist die Datenlage allerdings sehr heterogen und ungenügend. Hier kann nur auf Analogieschlüsse zu in Niedersachsen vorhandenen Bohrdokumentationen Bezug genommen werden.

Die **Kriterien zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG (Kap. 5.7.4)** im Endlagerbereich sind nur mit entsprechend guter Datenlage möglich. Diese ist in Hessen nur im Teilgebiet Steinsalz in flacher Verbreitung 197_03IG_S_f_z dort vorhanden, wo durch den aktiven Bergbau entsprechende Daten (Bohrdokumentationen, Untertage Kartierungen, Geophysikalische Daten zum Wirtsgesteinsbereich) vorhanden sind. In den Bereichen ohne bergbauliche Erkundung ist die Datenlage sehr heterogen bis ungenügend, das betrifft sowohl das komplette Teilgebiet 197_04IG_S_f_z als auch das Teilgebiet im kristallinen Wirtsgestein 193_00IG_K_g_MKZ.

In Kapitel **5.7.4.1 Indikator 3.1a „Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich** heißt es: *„Daher wird für die Bewertung der Variationsbreite der Eigenschaften in diesem Schritt des Verfahrens meist auf petrographische Beschreibungen der vorhandenen Gesteinstypen in den Schichtenverzeichnissen der Bohrungen zurückgegriffen.“* Dazu ist anzumerken, dass diese in der Regel in ausreichender Qualität nur von Forschungsbohrungen vorliegen. Des Weiteren heißt es: *„Bestehen Abfolgen aus mehreren Gesteinstypen bzw. Wechsellagerung, kann man davon ausgehen, dass sie eine erhebliche Variationsbreite der Eigenschaften aufweisen. Und sind daher als bedingt günstig zu bewerten.“* Dies kommt z.B. im Böllsteiner Odenwald sehr häufig vor, wo z.B. Gneise, Glimmerschiefer, Amphibolite usw. wechsellagern (siehe Bohrung Heubach, ALTENBERGER 2012, KÖTT ET AL. 2014, LOECKLE ET AL. 2016).

In Kapitel **5.7.4.2 Beispiele zu Indikator 3.1a „Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich“** wird *„die Vorgehensweise bei der Bewertung des Indikators „Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich“ hinsichtlich der Spannbreite bzw. Ermittelbarkeit der für die Abwägung relevanten Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich“* anhand von Anwendungsbeispielen illustriert.

Die in *„Anwendungsbeispiel im GzME „Thüringer Becken“ (03_00UR) – Bearbeitung des Indikators 3.1a“* beschriebene Methodik kann bei entsprechender Datenlage zu einer ausreichend guten Bewertung des Indikators 3.1a führen. Das wichtigste Kriterium ist zunächst einmal, dass eine Steinsalzformation mit einer Mächtigkeit von > 100 m vorhanden ist, was anhand der vorhandenen Bohrdokumentationen für das Thüringer Becken gut nachgewiesen werden kann. Die Beschreibungen der vorhandenen SV belegen die als günstig einzustufenden Eigenschaften des Indikators 3.1a.

Für Hessen ist die Datenlage nur in den von Bergbau betroffenen Gebieten entsprechend gut. Ob das Kriterium eines homogenen > 100 m mächtigen Wirtsgesteinsbereiches innerhalb eines Bereichs von ausreichender Größe gegeben ist, muss noch nachgewiesen werden.

Wie im *„Anwendungsbeispiel im GzME „Saxothuringikum“ (04_00UR)“* liegen auch in Hessen für das Teilgebiet Wirtsgestein Kristallin 193_00IG_K_g_MKZ keine oder nur sehr wenige ortsspezifische, detaillierte Eigenschaften und Gesteinsparameter für den Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion vor und die Bewertung der Variationsbreite der Eigenschaften im Schritt 2 der Phase I des Standortauswahlverfahrens auf petrographische Beschreibungen der vorhandenen Gesteinstypen der kristallinen Wirtsgesteinsformation ist angewiesen auf wenige detaillierte Beschreibungen von Schichtenverzeichnissen und geophysikalischen Bohrlochdaten der Bohrungen (Bohrung Heubach (ALTENBERGER 2012, KÖTT ET AL. 2014, LOECKLE ET AL. 2016)) und aus der geowissenschaftlichen Literatur.

Es heißt im Text: „Die vulkanischen Gänge intrudierten in strukturelle Schwächezonen (tiefreichende Störungssysteme) im kristallinen Wirtsgestein ...“ Dies ist in Hessen ebenfalls der Fall, beispielsweise sind im Odenwald reichlich vulkanische Gänge, Lamprohyre, Aplite, Barytgänge usw. vorhanden. In der Bohrung Heubach (ALTENBERGER 2012, KÖTT ET AL. 2014, LOECKLE ET AL. 2016) tritt gangförmiger Rhyolith auf.

In Kapitel **5.7.4.4 Beispiele zur Bearbeitung des Indikators 3.1b „Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften“** wird „Die Vorgehensweise bei der Bewertung des Indikators „Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften““ anhand von Anwendungsbeispielen erläutert.

Zu „Anwendungsbeispiel im GzME „Thüringer Becken“ (03_00UR)“ ist anzumerken, dass im Gegensatz zum Steinsalz in stratiformer Lagerung im Zechstein des Thüringer Beckens das Steinsalz im Zechstein von Hessen in mehreren Teilbecken abgelagert worden ist. Dazu zählen das Werra-, Fulda-, Haune- und Mellrichstädter Becken. Das Salz hat somit weniger großflächige Verbreitung. Zu den Beckenrändern ändert sich die Steinsalzmächtigkeit. Zusätzlich ist in Bezug auf das Kriterium Indikator 3.1b zu beachten, dass laterale lithologische Änderungen durch die postzechsteinzeitliche Lösung des Steinsalzes zur Ausbildung des sog. Salzhanges geführt haben. Die Verbreitung des Salzhanges ist somit in die Betrachtungen in Hessen einzu beziehen. Von einer lateralen Gleichförmigkeit kann daher nicht im gesamten Teilgebiet 197_03IG_S_f_z ausgegangen werden, es müssen in Hessen die zechsteinzeitlichen Teilbecken betrachtet werden.

In „Anwendungsbeispiel im GzME „Saxothuringikum“ (04_00UR)“ wird beschrieben, dass während die Gebiete, in denen Plutonite wie z. B. Meißner Pluton auftreten, als „günstig“ in Bezug auf die räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften bewertet werden, Gebiete mit hochgradig regionalmetamorphen Gesteinen aufgrund ihres komplexen Gesteinsaufbaus und Internbaus als „bedingt günstig“ und „ungünstig“ zu bewerten sind. Dies wird voraussichtlich auch auf das in Hessen ausgewiesene kristalline Teilgebiet „193_00IG_K_g_MKZ“ zutreffen. Die Plutonite im kristallinen Odenwald, vor allem wenn es sich um variszische plutonische Gesteinstypen handelt, wie Heidelberg-Pluton, Tromm-Pluton, Wechnitz-Pluton, Melibokus-Pluton, Frankenstein-Pluton, Darmstadt-Pluton und Mainzer-Berg-Pluton werden bezüglich des Indikators 3.1b sicherlich besser bewertet als die hochgradig metamorphen Gesteinsformationen Weinheim-Wald-Michelbach Schieferzug, Neunkirchen-Komplex, Neutsch-Komplex, Eberstadt-Roßdorf-Schieferzug im Bergsträßer Odenwald oder der Kern aus granodioritischem und granitischem Orthogneis und die Schieferhülle aus Metasedimentgesteinen und Meta-Magmatitserien des Böllsteiner-Odenwaldes und die kristallinen hochmetamorphen Gesteine des kristallinen Spessarts LORENZ (2010).

Im Abschnitt „Bewertung des Teiluntersuchungsraums 04_11UR im GzME „Saxothuringikum““ des **Kapitels 5.7.4.6 Beispiele Indikator 3.1c „Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit“** heißt es: „Der Teiluntersuchungsraum 04_11UR „Meißener Pluton“ befindet sich im tektonischen Großraum der Elbezone, zwischen dem Lausitzer Block und dem Granulit-Erzgebirgs-Block (Abbildung 134).“ Die Datenlage weist nachgewiesenermaßen für diesen tektonischen Großraum darauf hin, dass bezogen auf den Indikator 3.1c das Ausmaß der tektonischen Überprägung der geologischen Einheit als „ungünstig“ zu bewerten ist. Hierzu sowie zu dem folgenden **Kapitel 5.7.4.6.1 Tektonische Überprägung und Gebirgsdurchlässigkeit im kristallinen Wirtsgestein** lässt sich zusammenfassend anmerken, dass sich stark überprägte tektonische Großstrukturen auch in den in Hessen ausgewiesenen Teilgebieten befinden. Im Teilgebiet der MKZ 193_00IG_K_g_MKZ befindet sich im kristallinen Odenwald z. B.

die Otzberg-Scherzone ein markantes tektonisches Lineament der MKZ (WILL 2015), bestehend aus Gneisen, Amphiboliten und Gabbros, die tektonische Scherkörper bilden. Diese Zone wäre eines der Beispiele im Teilgebiet, die bezogen auf den Indikator 3.1c sicherlich als „ungünstig“ bewertet werden muss.

Das **Kapitel 5.7.4.8 Beispiele zu Indikator 3.2 „Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)“** beschreibt „die Vorgehensweise bei der Bewertung des Indikators „Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)““ anhand von Anwendungsbeispielen.

Im Anwendungsbeispiel „Bewertung des Indikators 3.2 „Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)“ am Beispiel des Teiluntersuchungsraums 03_21UR im GzME „Thüringer Becken“ (03_00UR)“ wird die Anwendung des Indikators 3.2 auf einen Teiluntersuchungsraum anschaulich dargestellt. Ein ähnlich charakterisiertes Teilgebiet befindet sich in Hessen.

Die Ablagerung von Steinsalz in Hessen hat im Wesentlichen nur während der Werra-Formation im Zechstein stattgefunden. Zu dieser Zeit war der damalige hessische Ablagerungsraum in mehrere Teilbecken, auch als die hessischen Becken bezeichnet, untergliedert. Darunter werden die Teilbecken des Werra-, Fulda-, Haune- und Mellrichstädter-Beckens bezeichnet. Dieser Ablagerungsraum stellt wie auch der parallel existierende Ablagerungsraum des Thüringer Beckens ein Nebenbecken des Zentraleuropäischen Zechsteinbeckens dar und gliedert sich in verschiedene Fazieszonen (Deutsche Stratigraphische Kommission 2020). Jedes dieser Becken besteht aus einem beckeninneren Ablagerungsraum, in dem unter anderem die Steinsalze der Werra-Formation abgelagert worden sind und einem Plattformhang. An den Plattformhang schließt sich die Fazies der Plattform und Lagunen an, diese Zone geht in eine litorale bis fluviatile Randfazies über, die weitaus größeren Bereich Hessens einnimmt als die Teilbecken. Die Ablagerungsbereiche des Beckenzentrums und des Plattformhangs innerhalb der Teilbecken lassen derzeit auf überwiegend regional einheitliche Faziesmuster schließen. Die Bewertung des Indikators 3.2 „Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)“ des Kriteriums zur Bewertung der „Übertragbarkeit der Eigenschaften im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ wird daher für diese Bereiche eher günstig ausfallen.

Die „Bewertung des Indikators 3.2 „Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)“ am Beispiel des Teiluntersuchungsraums 04_11UR im GzME „Saxothuringikum““ hat gezeigt, dass Gebiete mit kristallinem Wirtsgestein durch eine deutlich differenzierte Gesteinsausbildung/Gesteinsfazies charakterisiert sind, die zum einen als „ungünstig“, „nur bedingt günstig“ oder aber als „günstig“ bezogen auf den Indikator 3.2 eingestuft werden können.

Schon dieser Umstand, der sich auch schon bei der Anwendung bzw. Bewertung anderer Indikatoren gezeigt hat, macht deutlich, dass eine Untergliederung der jetzigen Teilgebiete in Teiluntersuchungsräume sehr sinnvoll ist.

Dies gilt ebenso für das in Hessen ausgewiesene Teilgebiet in kristallinem Wirtsgestein. Dazu ist festzuhalten, dass Daten über die Gesteinsausbildung im Teilgebiet 193_00IG_K_g_MKZ nur aus den Gebieten des kristallinen Odenwalds und des kristallinen Spessarts vorhanden sind also in denjenigen Gebieten, in denen das kristalline Gestein an der Erdoberfläche ansteht. Wie sich bei der Anwendung der Methoden zur Bewertung des Indikators 3.2 im GzME „Saxothuringikum“ gezeigt hat, gibt es Parallelen zum Teilgebiet kristallines Wirtsgestein in Hessen.

Auch im kristallinen Odenwald und Spessart finden sich hier magmatische Gesteine / Plutonite mit einem homogenen mittel- bis grobkörnig ausgebildetem magmatischen Gefüge, die in Bezug auf den Indikator 3.2 eher als „günstig“ anzusprechen sind. Andere großflächig vorhandene Gebiete wie z. B. der Böllsteiner Odenwald, der kristalline Spessart, aber auch die hochgradig

metamorphen Gesteinsformationen im Bergsträßer Odenwald mit ihrer komplexen Gesteinsausbildung, weisen in Bezug auf den Indikator 3.2 eher auf „ungünstige“ bzw. „weniger günstige“ Verhältnisse hin.

In **Kapitel 5.7.6 Geologische Modelle für die quantitative Analyse des sicheren Einschusses** heißt es: *„Die Geosynthese stellt als Grundlage für die numerischen Transportrechnungen geologische Modelle für Teiluntersuchungsräume bereit. Dafür werden in der Geosynthese eindimensionale repräsentative geologische Profile, 2D-Profileschnitte oder geologische 3D-Modelle erstellt.“* Sowie des Weiteren: *„Der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion sowie die weiteren geologischen Modelleinheiten werden hinsichtlich ihrer Gesteinsparameter nachvollziehbar beschrieben – also bezüglich ihrer mineralogischen, geochemischen, hydrogeologischen und petrophysikalischen Merkmale durch Parameter charakterisiert.“*

Erfahrungsgemäß ist die Datenlage in den allermeisten Gebieten für eine derart detaillierte 3D-Modellierung sehr heterogen bis ungenügend. Es erscheint daher sehr fraglich, ob ohne weitere Datengewinnung durch Bohrungen, Gesteinsproben, Gesteinsanalysen, Modelle erstellt werden können, die Aussagen über die quantitative Analyse des sicheren Einschusses ermöglichen. Auch für Hessen ist die Datenlage in den für Hessen ausgewählten Teilgebieten unzureichend.

Zu 7) Umfassende Bewertung anhand der qualitativen Bewertung des sicheren Einschusses (§ 10 EndlSiUntV)

In diesem Kapitel erfolgt eine Gesamtbewertung je Untersuchungsraum, die jedoch gebietspezifisch ausdifferenziert wird, sofern bewertungsrelevante Größen räumlich variieren (Einstufung der Gebiete in unterschiedliche Kategorien A bis D). Die umfassende Bewertung (§ 10 EndlSiUntV) wird in Kapitel 9 ganzheitlich erläutert (siehe Abbildung 143). In Ergänzung dazu wird im Folgenden das Vorgehen erläutert, welches zur Einstufung von Gebieten in die Kategorien D und C führt.

In **Kapitel 7.3 Übersicht zur Umfassenden Bewertung der GzME** wird dieses Vorgehen anhand von Beispielen illustriert.

In *„Beispiel 72: Übersicht zur umfassenden Bewertung im GzME „Saxothuringikum““* werden Einstufungen von Gebieten in die Kategorie D und C im östlichen Teil des Untersuchungsraums des GzME „Saxothuringikum“ dargestellt. Dabei können alle Gebiete, für die noch keine Einstufung erfolgt ist, zukünftig in der Umfassenden Bewertung noch allen Kategorien A–D zugeordnet werden.

In *„Beispiel 73: Übersicht zur umfassenden Bewertung im GzME „Thüringer Becken““* heißt es: *„Teile des Untersuchungsraums, welche nicht die Mindestanforderung „Mächtigkeit“ oder „Flächenbedarf“ erfüllen oder in denen die Ausschlusskriterien „Aktive Störungszonen“ – „Atektonische Vorgänge“ – oder „Bergwerke“ greifen, werden in Kategorie D eingestuft (vgl. Kapitel 5.4 und 5.5). Einige Teiluntersuchungsräume im GzME „Thüringer Becken“ werden der Kategorie C zugeordnet, da diese keine überwiegend günstige Bewertung der Anlagen 1 bis 4 (zu § 24 StandAG) aufweisen (Abbildung 146). In diesen Teiluntersuchungsraum erfolgt eine bedingt/weniger günstige Bewertung z. B. bei Indikator 2.1 a „Barrierenmächtigkeit“, Indikator 2.2 a „Tiefenlage der oberen Begrenzung“, Indikator 2.3 a „Flächenhafte Ausdehnung“, Indikator 3.1 a „Variationsbreite der Eigenschaften“ oder 3.1 c „Tektonische Überprägung“, und zwar in der Form, dass das Prüfkriterium nicht erfüllt ist und eine Einstufung in Kategorie C erfolgt. Dies wird beispielhaft anhand des Teiluntersuchungsraums 03_03UR gezeigt (Beispiel 77).“*

Die Argumentation der Einstufung von Teiluntersuchungsgebieten in die Kategorien D und C erscheint schlüssig.

In **Kapitel 7.4** werden **Anwendungsbeispiele zur Einstufung einzelner Gebiete in die Kategorie C** gegeben.

In „*Beispiel 76: Anwendungsbeispiel im Teiluntersuchungsraum 04_02UR im GzME „Saxothuringikum“*“ heißt es: „*Die Bewertung der Anlagen 1 bis 4 zu § 24 StandAG für den Teiluntersuchungsraum 04_02 im GzME „Saxothuringikum“ ergibt, dass Indikator 3.1 c mit ungünstig und Indikator 2.3 a mit weniger günstig bewertet werden. Durch die Bewertung von zwei Anlagen im negativen Bewertungsfeld wird das Prüfkriterium für den Teiluntersuchungsraum 04_02 nicht erfüllt und es erfolgt eine Einstufung in die Kategorie C.*“.

Die Argumentation der Einstufung von Teiluntersuchungsgebieten in die Kategorie C erscheint schlüssig.

In „*Beispiel 77: Anwendungsbeispiel im Teiluntersuchungsraum 03_03UR im GzME „Thüringer Becken“*“ heißt es: „*Die Bewertung der Anlagen 1 – 4 zu § 24 StandAG für den Teiluntersuchungsraum 03_03UR im GzME „Thüringer Becken“ ergibt, dass der Indikator 2.1 a („Barrierenmächtigkeit“) mit „weniger günstig“ und der Indikator 3.1 c („tektonische Überprägung“) flächendifferenziert, aber überwiegend „bedingt günstig“ bewertet wird (Tabelle 67). Diese Bewertungen stammen aus zwei verschiedenen Anlagen. Das Prüfkriterium ist für einen Großteil dieses Teiluntersuchungsraums somit nicht erfüllt und diese Gebiete werden in die Kategorie C eingeordnet.*“.

Die Argumentation der Einstufung von Teiluntersuchungsgebieten in die Kategorie C erscheint schlüssig.

Zu 8) Analyse des Endlagersystems (§ 7 EndlSiUntV)

In Kapitel **8.2 Ableitungen von Entwicklungen** ist bei der Frage, welche Szenarien die Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteins verändern können, das Thema Seismizität unbedingt zu betrachten, vor allem der Einfluss von Erdbeben auf die Stabilität des Systems und auf die Möglichkeit von Neubildungen von Klüften und Reaktivierung von Störungen, die die Gebirgsdurchlässigkeit nachhaltig verändern können.

Ebenso sollte bei den in Kapitel **8.2.3.4 Ereignisse und Prozesse** beschriebenen Prozessen auch der Prozess seismische Aktivität abgebildet werden. Dies kann im Zusammenhang mit vulkanischer Aktivität eine wichtige Rolle spielen (z.B. Schwarmbeben im Vogtland, etc.).

Die in **Kapitel 8.2.3.9 Qualitätsmanagement und Nachvollziehbarkeit** genannte Erstellung einer Datenbank zur Dokumentation aller Bearbeitungsschritte und Ergebnisse ist zu begrüßen.

Die unter **Kapitel 8.2.4.2 Wirtsgesteinsspezifische Entwicklungen** beschriebene „*zu erwartende Entwicklung eines Gebiets umfasst Änderungen des Endlagersystems in vielerlei Hinsicht.*“ Die in Abbildung 171 gezeigte Reihenfolge (klimatisch – thermisch – mechanisch – hydrogeologisch – geochemisch) erscheint sinnvoll und enthält die wichtigen mechanischen Entwicklungen (Spannungsfeld, tektonische Erdbeben).

In Kapitel **8.3 Der Aspekt b) im Zusammenspiel mit der Ableitung und Bewertung von Entwicklungen** wird „*die Analyse und Bewertung der langfristigen Stabilität der geologischen Verhältnisse*“, beschrieben. Es heißt im Text: „*Als Bewertungsgrundlage dient nach StandAG die Analyse der Vergangenheit. Indikatoren sind insbesondere die Zeitspanne in denen sich die Be-*

trachtungsmerkmale „Mächtigkeit“, flächenhafte bzw. räumliche „Ausdehnung“ und „Gebirgsdurchlässigkeit“ des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht wesentlich verändert haben.“ Es wird angeführt, dass es als „ungünstig“ zu bewerten ist, „wenn innerhalb der letzten eine Million Jahre eine solche Änderung aufgetreten ist.“ Das HLNUG gibt an dieser Stelle zu bedenken, dass dies ist bei allen Salzschieben mit bekannten Subrosionserscheinungen an der Erdoberfläche der Fall ist.

Zu Tabelle 76 auf Blatt 538 (**Kap. 8.7.3 Erstellung eines abdeckenden Katalogs**) geben wir ausdrücklich zu bedenken, dass der reine Verweis auf eine Baunorm für Hochbauten für übertägige Anlagen akzeptierbar ist, für alle untertägigen Bereiche jedoch nicht angebracht. Die Aussagekraft der DIN-Norm für unterirdische Bauwerke und für einen Zeitraum von 1 Mio. Jahren ist nicht gegeben. Erdbeben können Auswirkungen auf die Sicherheit (langfristige Stabilität) eines Endlagers und vor allem auch auf die Barrierefunktion haben und sind daher für die untertägigen Bereiche zu berücksichtigen, ähnlich der gebirgsmechanischen Einwirkungen.

Fazit

Im „Konzept für die Durchführung der rvSU gemäß den Vorgaben der Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndlSiUntV)“ sowie der dazugehörigen sehr umfassenden Anlage 1 „Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“ wird von der BGE ein Arbeitsstand dargestellt, der sehr umfassend und detailliert Aufschluss über die Durchführung der rvSU gibt. Das HLNUG begrüßt das vorgelegte Konzept incl. Anlage.

Fragen und Unsicherheiten sind aufgetreten und wurden mit diesem Schreiben formuliert. Insbesondere die diskutierten Punkte „seismische Aktivität“ und „Subrosion“ empfehlen wir, genauer zu beleuchten. Hinweise auf die geologische Situation und Datenlage in mit den GzME vergleichbaren Teilgebieten Hessens wurden gegeben. Wir möchten festhalten, dass sicherlich im Laufe der Durchführung der rvSU zahlreiche Rückfragen zu Datenlage, Datenqualität und Dateninterpretation auftreten werden, die im engen Austausch mit den SGD abgearbeitet werden können und müssen.

Das HLNUG steht dafür gerne zur Verfügung.

Freundliche Grüße

Im Auftrag

gez. 

gez. 

Zitierte Literatur

- ADERHOLD, G. (2005): Klassifikation von Erdfällen und Senkungsmulden in karstgefährdeten Gebieten Hessens – Empfehlungen zur Abschätzung des geotechnischen Risikos bei Baumaßnahmen - Geol. Abh. Hessen, Bd. **115**, 100 S., 46 Abb., 18 Tab, 1 Beibl.; Wiesbaden.
- ALTENBERGER U. & BESCH T. (1993): The Böllstein Odenwald – evidence for pre- to early Variscan plate convergence in the Central European Variscides. – Geol. Rundschau, 82/3: 475–488, 6 Abb., 1 Skizze; Berlin.
- ALTENBERGER, U. (2012): Petrographische und petrologische Untersuchungen an den Bohrkernen der Bohrungen Heubach und Wiebelsbach (Odenwald). – Abschlussbericht, Archiv HLNUG: 37 S.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt für Naturschutz, Umwelt und Geologie).
- ANTHES G. & REISCHMANN, Th. (2001): Timing of granitoid magmatism in the eastern Mid German Crystalline Rise. – J. Geodynamics., 31: 119–143; Amsterdam.
- BEHR H.-J. & HEINRICHS T. (1987): Geological interpretation of DEKORP 2-S: A deep seismic reflection profile across the Saxothuringian and possible implications for the Late Variscian structural evolution of Central Europe. – Tectonophys., 142: 173–202; Amsterdam.
- Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg., Koordination u. Redaktion: PAUL, J. & HEGGEMANN, H. für die Subkommission Perm-Trias) (2020): Stratigraphie von Deutschland XII. Zechstein. – Schr.-R. Dt. Ges. Geowiss., **89**: 647 S., 210 Abb., 44 Tab., 8 Taf., 12 Fotos, 1 Liste; Hannover. ISBN 978-3-510-49241-1
- EHRENBERG K.-H. & HICKETHIER, H. (2002): Erläuterungen zur vulkanologischen Karte der Wasserkuppenrhön 1: 10 000. – 28 S., 21 Abb., 2 Tab.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt Bodenforsch.).
- FRANZ, L. & SEIFERT, W. (1998): Basement studies in a continental suture zone – Xenoliths from the Mid-German Crystalline Rise (Rhön area, Mid-European Variscides). – N. Jb. Mineral., Abh., 173: 263–303, 8 Abb., 7 Tab.; Stuttgart.
- HEIDBACH, O., TINGAY, M., BARTH, A., REINECKER, J., KURFEB, D. & MÜLLER, B. (2008): The World Stress Map Database Release 2008. <http://dx.doi.org/10.1594/GFZ.WSM.Rel2008>.
- Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (Hrsg., Koordination u. Redaktion: BECKER, R. & REISCHMANN, T): Geologie von Hessen,– Schweitzerbart; Stuttgart.
- HIRSCHMANN G. & OKRUSCH M. (1988): Spessart-Kristallin und Ruhlaer Kristallin als Bestandteile der Mitteldeutschen Kristallinzonen – ein Vergleich. – N. Jb. Geol. Paläont., Abh., 117: 1–39; Stuttgart.
- HOMUTH, B., RÜMPKER, G., DECKERT, H. & KRACHT, M. (2014): Seismicity of the northern Upper Rhine Graben — Constraints on the present-day stress field from focal mechanisms. Tectonophysics 632 (2014) 8–20, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2014.05.037>.

HOMUTH, B. & RÜMPKER, G. (2017): The 2014–2015 earthquake series in the northern Upper Rhine Graben, Central Europe. *Journal of Seismology*, 21:83, doi: 10.1007/s10950-016-9584-6.

HOMUTH, B. (2021): Analyse und Modellierung von Schweremaxima in Hessen. *Geol. Jb. Hessen* 140: 101–119, 19 Abb.; Wiesbaden 2021.

KÖTT, A., ALTENBERGER, U., FRITSCH, J.-G., NESBOR, H.-D. & REISCHMANN, T. (2014): Drilling site Groß-Umstadt – Heubach – New results th the to the metamorphic and geodynamic evolution of the Northern Böllstein Odenwald, Hessen. – *Schr.-R. dt. Ges. Geowiss.*, 85: 608; Hannover.

LEHMANN, K. (1919): Bewegungsvorgänge bei der Bildung von Pinggen und Trögen. *Berg- und Hüttenmännische Z.*, 55: 933-942; Essen, Glückauf.

LOECKLE, F., ZULAUF, G. & NESBOR, H.-D. (2016): Microfabrics of crystalline rocks from the drilling projects Gross-Umstadt Heubach and Wiebelsbach (Böllsteiner Odenwald): Constrains of deformation mechanisms, methamorphic temperature and kinematics. – *Z. dt. Ges. Geowiss. (German J. Geosci.)*, 167 (1): 1–17; Stuttgart.

LORENZ, J. (2010) mit Beitr. von OKRUSCH, M, GEYER, G., JUNG, J., HIMMELSBACH, G. & DIETL, C.: Spessartsteine – Spessartin, Spessartit und Buntsandstein – eine umfassende Geologie und Mineralogie des Spessarts. – 912 S., 2531 Abb., 134 Tab., 38 Kt.; Karlstein (H. Lorenz).

MOTZKA, R.& LAEMMLEN, M. (1974): *Erl. Geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 5024 Rotenburg a.d. Fulda, 2. Aufl.*: 186 S., 19 Abb., 1 Beibl.; Wiesbaden.

NESBOR, H.-D. (2021) Kap. 3.7 Odenwald-Kristallinkomplex. – In: *Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (Hrsg.): Geologie von Hessen*, S.: 114–132, 12 Abb. – Schweitzerbart; Stuttgart.

OKRUSCH M. & WEINELT W. (1965): *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1: 25 000m, Bl. 5921Schöllkrippen.* – 327 S., 53 Abb., 10 Tab., 3 Beil.; Münschen (Bayer. Geol. L.-Amt).

OKRUSCH M. & WEBER K. (1996): *Der Kristallinkomplex des Vorspessart.* – *Z. geol. Wiss.*, 24: 141–174, 18 Abb.; Wien.

REISCHMANN, TH. (2021): Kap. 3.8 Kristalliner Spessart. – In: *Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (Hrsg.): Geologie von Hessen*, S.; 133 – 139, 2 Abb. – Schweitzerbart; Stuttgart.

WEINELT, W. (1962): *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Bl. 6021 Hai-bach.* – 246 S., 41 Abb., 4 Tab., 2 Beil.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).

WEINELT, W., OKRUSCH, M. & RICHTER, P. (1985): *Das kristalline Grundgebirge im nördlichen Hochspessart auf Grund der Ergebnisse neuer Tiefbohrungen.* – *Geologica Bavarica*, 87: 39–60, 4 Abb., 3 Tab., 2 Beil.; München.

WENZEL, F. (2020): Gutachten für das Bundesumweltamt zu § 22 Abs. 2 Nr. 4 Standortauswahlgesetz. Geophysikalisches Institut, KIT, Karlsruhe.

WILL, T.M., LEE, S.-H., SCHMÄDICKE, E., FRIMMEL, H.E. & OKRUSCH, M. (2015): Variscan terraine boundaries in the Odenwald-Spessart basement, Mid-German Crystalline Zone: new evidence from ocean ridge, intraplate and arc-derived metabasaltic rocks. – *Lithos*, 220–223:23–42; Amsterdam.