Gutachten:

Gutachten zur Weiterentwicklung der Methodik für die repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen

Auftraggeber:

Nationales Begleitgremium Geschäftsstelle
Buchholzweg 8, 13627 Berlin

Gutachter:

Prof. Dr. Michael Kühn
Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)
[redacted]

Prof. Dr. Jan Behrmann
GEOMAR
[redacted]

Dr. Jürgen Grötsch
Lecturer Geo-Energy
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
[redacted]

Prof. Dr. Michael Weber
[redacted]

[redacted]

Potsdam, 30. Oktober 2023

Zusammenfassung

Im Auftrag des Nationalen Begleitgremiums (NBG), das den Prozess der Endlagersuche für hochradioaktiven Müll unabhängig und vermittelnd begleitet, wurde der mit Datum vom 4. Oktober 2023 von der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) neu veröffentlichte Bericht zum „Vorgehen zur Ermittlung von Standortregionen aus den Teilgebieten“ begutachtet.

Der Bericht ist ein weiterer Schritt im Verfahren in Richtung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle in Deutschland. Darin wurden einige wichtige, neue Teile der Methodenentwicklung veröffentlicht. Es handelt sich um einen Arbeitsstand, also nicht um eine vollständige Darstellung der Methode. Ziel ist die weitere räumliche Eingrenzung der Teilgebiete (TG) und die Reduzierung ihrer Anzahl zu resultierenden Standortregionen, die nach dem Standortauswahlverfahren in der nächsten Phase oberirdisch erkundet werden. Die abschließenden Vorschläge der BGE werden vom Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) geprüft und anschließend vom Bundestag beschlossen.

Das Standortauswahlgesetz (StandAG) gibt drei Werkzeuge zur Ermittlung der Standortregionen vor: die repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU), die geowissenschaftlichen (geoWK) und die planungswissenschaftlichen (planWK) Abwägungskriterien. Über die rvSU werden TG hinsichtlich ihrer Sicherheit und Robustheit bewertet und sukzessive mit Hilfe von vier Prüfschritten in die Kategorien A bis D eingestuft. Für die Bearbeitung hat die BGE neue rvSU-Kriterien aus den gesetzlichen Vorgaben abgeleitet. Die im Verfahren als bestgeeignet ermittelten Gebiete der Kategorie A werden im Anschluss weiter über die geoWK und ggf. die planWK bewertet.

TG sind falls nötig in Untersuchungsräume (UR) aufgeteilt und für jeden wird eine rvSU durchgeführt. Im Prüfschritt 1 werden zielgerichtet Ausschlusskriterien (AK) und Mindestanforderungen (MA) des StandAG angewendet. Im Prüfschritt 2 erfolgt die qualitative Beurteilung anhand der rvSU-Kriterien, ob ein Gebiet überwiegend gut geeignet ist, um den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle zu gewährleisten. Im Prüfschritt 3 wird dann mit Hilfe von 1D-Simulationen quantifiziert, ob die regulatorisch vorgegebenen Grenzwerte zum Massen- und Stoffmengenaustrag eingehalten werden. Im Prüfschritt 4, dem sicherheitsgerichteten Diskurs, erfolgt einerseits die räumliche Einengung und andererseits die Bewertung der Gebiete im Vergleich. Die Ergebnisse aller Prüfschritte werden für jeden UR zu einer Gesamtbewertung synthetisiert und dokumentiert. Abschließend folgt die Bewertung der Gebiete im Vergleich innerhalb eines Wirtsgesteins und optional dann zwischen den Wirtsgesteinen.

Die Lesbarkeit und Verständlichkeit der im Bericht vorgestellten übergeordneten Methode ist durch den gesetzlich vorgegebenen „Werkzeugkasten“ bestehend aus AK, MA, rvSU, geoWK und planWK und den damit verbundenen Kriterien, Indikatoren und Aspekten, die sich zum Teil auch überlappen, nicht immer einfach. Der BGE gelingt mit dem übergreifenden, neuen rvSU-Kriterienkatalog dennoch eine übersichtliche Darstellung. Obwohl die Methode noch nicht vollständig und nicht abgeschlossen ist, werden die Struktur und einige Arbeitsschritte (Prüfschritte 1 und 2) deutlich. Weitere Entwicklungen sind zurzeit in Arbeit (Prüfschritt 3) bzw. in der Konzeption (Prüfschritt 4). Die aktuelle Veröffentlichung wird begrüßt, da so in einem frühen Stadium eine fachöffentliche Diskussion geführt werden kann und möglicherweise notwendige Anpassungen im Arbeitsablauf noch umsetzbar sind.

Intern wurde die Methode inzwischen an einigen Teilgebieten in verschiedenen Wirtsgesteinen durch die BGE erprobt und verbessert. Eine sukzessive Vorstellung von bereits vorhandenen Ergebnissen der BGE in der Methodenentwicklung und ihrer Anwendung ist begrüßenswert, da dies eine frühzeitige und umfassende Diskussion mit den am Verfahren beteiligten Parteien ermöglicht. Insgesamt werden die Fortschritte als positiv beurteilt, auch wenn weitere wichtige Teilschritte noch nicht verfügbar sind. Als Beispiel wären etwa die Bemühungen zur Vergleichbarkeit und der transparenten Darstellung der Ergebnisse unter Zuhilfenahme von quantitativen und semi-quantitativen Arbeitsschritten anzusprechen.

Eine frühestmögliche weitere Verkleinerung der Gebiete durch die rvSU-Prüfschritte 1 und 2 wird als nachvollziehbarer Ansatz angesehen, auch um unnötige zusätzliche Untersuchungen zu vermeiden, sprich den Prozess nicht weiter zu verlangsamen. Insbesondere der Prüfschritt 2 ist gut definiert und geeignet diesen Prozess der Gebietsverkleinerung sinnvoll zu unterstützen. Das angestrebte, teilweise iterative Vorgehen im Rahmen von Prüfschritt 4 und die erneute Anwendung der geoWK in der Bewertung von Gebieten wird positiv gesehen, obwohl noch nicht alle Details dazu durch die BGE vorgestellt wurden. Die Prüfschritte 3 und 4 befinden sich im Wesentlichen noch in der Entwicklung und Ausgestaltung und noch nicht in der Anwendung.

Im Wirtsgestein Tongestein sind inzwischen die Teilgebiete des Lias (Unterjura), des Opalinustons (Oberjura), Teile der Unterkreide und der Unteren Meeresmolasse (Tertiär) weiter bearbeitet worden. Diese vorläufige Anwendung dient auch der weiteren Entwicklung der letztendlichen Methode.

Im Wirtsgestein Kristallin gibt es gegenwärtig keine öffentlich zugängliche, belastbare Aussage zur notwendigen untertägigen Fläche eines Endlagers. Diese müsste aber unbedingt vorliegen, um geeignete Wirtsgesteinskomplexe hinsichtlich ihrer Mindestgröße ausweisen zu können. Auch Behälterkonzepte müssen noch entwickelt werden, die den regulatorischen Vorgaben der Gesetze und Verordnungen genügen.

Im Wirtsgestein Salz in steiler Lagerung ist die Aufgabe des Konzepts der Gebiete zur Methodenentwicklung (GzME) eine Folgerung der sub-optimalen Datenlage. Eine entscheidende Rolle bei der Identifizierung von potenziellen Standortregionen kommt dem noch bis Ende 2023 laufenden Projekt „Internbau Studie“ zu, das von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) für die BGE entwickelt wird. Sie soll eine Methode zur Abschätzung der Komplexität der internen Struktur von Salzstöcken liefern.

Im Wirtsgestein Salz in flacher Lagerung werden aktuell die Kategorie C-Berichte der UR im TG Thüringer Becken erstellt. Nach Information der BGE sind die Prüfschritte 1 und 2 in diesem TG bereits weit fortgeschritten und werden aktuell auch in den anderen TG des Wirtsgesteins durchgeführt.

Es handelt sich bei dem durch die BGE präsentierten Stand um eine plausible und nachvollziehbare Darstellung des Vorgehens zur Ermittlung von Standortregionen aus den TG. Eine Weiterentwicklung der Methodik ist, dass diese nun in einer übergeordneten Weise über die bisher dargestellte, reine rvSU hinausgeht. Der hierfür neu abgeleitete Kriterienkatalog ist übersichtlich, aber lückenhaft und dessen Anwendung ist noch in weiten Teilen unklar. Insgesamt werden die Fortschritte als positiv beurteilt, auch wenn im aktuellen Schritt Detailtiefe verloren gegangen bzw. im Rahmen des Berichts von der BGE nicht dargelegt wurde.

Summary

On behalf of the National Citizens' Oversight Committee (NBG), which accompanies in an independent mediating manner the process of the search for a final repository for high-level radioactive waste, the report on the "Procedure for identifying siting regions from the sub-areas", newly published by the "Bundesgesellschaft für Endlagerung" (BGE) with the date 4th October 2023, was reviewed.

The report is another step in the process towards a final disposal site for high-level radioactive waste in Germany. Some important, new parts of the method development have been published in it. It is a working status, i.e. not a complete presentation of the method. The aim is to further spatially delimit the sub-areas (TG) and reduce their number to resulting siting regions that will be explored from above ground in the next phase after the site selection procedure. The final proposal of the BGE is reviewed by the "Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung" (BASE) and subsequently adopted by the "Bundestag".

The Site Selection Act (StandAG) provides three tools for determining the siting regions: the representative preliminary safety investigations (rvSU), the geoscientific (geoWK) and the planning-scientific (planWK) consideration criteria. Via the rvSU, TGs are assessed with regard to their safety and robustness and successively classified into categories A to D with the help of four evaluation steps. For the processing, the BGE has derived new, rvSU criteria from the legal requirements. The areas in category A identified as most suitable in the procedure are subsequently further assessed via the geoWK and, if necessary, the planWK.

TGs are divided into investigation areas (UR), if necessary, and a rvSU is carried out for each of them. In evaluation step 1, exclusion criteria (AK) and minimum requirements (MA) of the StandAG are applied in a targeted manner. In evaluation step 2, a qualitative assessment is made on the basis of the rvSU criteria as to whether an area is predominantly well suited to ensuring the safe containment of radioactive waste. In evaluation step 3, 1D simulations are then used to quantify whether the regulatory limits for mass and material discharge are met. In evaluation step 4, the safety-related discourse, the spatial restriction is carried out on the one hand and the areas are evaluated in comparison on the other. The results of all test steps are synthesised into an overall assessment for each UR and documented. Finally, the evaluation of the areas in comparison within a host rock follows and optionally then between the host rocks.

The readability and comprehensibility of the overarching method presented in the report is not always easy due to the legally prescribed "toolbox" consisting of AK, MA, rvSU, geoWK and planWK and the associated criteria, indicators and aspects, some of which also overlap. With the overarching, new rvSU criteria catalogue, the BGE nevertheless succeeds in providing a clear presentation. Although the method is not yet complete or finalised, the structure and some working steps (evaluation steps 1 and 2) become clear. Further developments are currently in progress (evaluation step 3) or in conception (evaluation step 4). The current publication is welcomed, as it allows an early open science discussion among experts and possibly necessary adjustments in the work process can still be implemented.

Internally, the method has meanwhile been tested and improved by the BGE on some sub-areas in different host rocks. A successive presentation of already existing results of the BGE in the method development and its application is welcome, as this enables an early and comprehensive discussion with the parties involved in the procedure. Overall, progress is considered positive, even if further

important sub-steps are not yet available. As an example, the efforts towards comparability and the transparent presentation of results with the help of quantitative and semi-quantitative work steps should be mentioned.

A further reduction of the areas as early as possible by means of the rvSU evaluation steps 1 and 2 is regarded as an understandable approach, also in order to avoid unnecessary additional investigations, i.e. not to slow down the process further. Evaluation step 2 in particular is well defined and suitable for supporting this process of area reduction in a meaningful way. The intended, partially iterative procedure in the context of evaluation step 4 and the renewed application of the geoWK in the assessment of areas is viewed positively, although not all details have yet been presented by the BGE. Evaluation steps 3 and 4 are essentially still in the development and design stage and not yet in application.

In the host rock claystone, the sub-areas of the Lias (Lower Jurassic), the Opalinus Clay (Upper Jurassic), parts of the Lower Cretaceous and the Lower Marine Molasse (Tertiary) have meanwhile been further processed. This preliminary application also serves the further development of the ultimate method.

In the crystalline host rock, there is currently no publicly accessible, reliable information on the necessary underground area of a disposal site. However, this would absolutely have to be available in order to be able to designate suitable host rock complexes in terms of their minimum size. Container concepts must also be developed that meet the regulatory requirements of the laws and ordinances.

In the host rock salt diapirs, the abandonment of the concept of method development areas (GzME) is a consequence of the sub-optimal data situation. A decisive role in the identification of potential siting regions is played by the "Internbau-Studie" project, which will run until the end of 2023 and is being developed by the “Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe” (BGR) for the BGE. It is intended to provide a method for estimating the complexity of the internal structure of salt domes.

In the host rock salt in shallow layering, the category C reports of the UR are currently being prepared in the TG Thuringian Basin. According to information from the BGE, evaluation steps 1 and 2 are already well advanced in this TG and are currently also being carried out in the other TG of the host rock.

The status presented by the BGE is a plausible and comprehensible presentation of the procedure for determining siting regions from the TGs. A further development of the methodology is that it now goes beyond the pure rvSU presented so far in a superordinate way. The newly derived catalogue of criteria for this is clear but incomplete and its application is still unclear in many parts. Overall, the progress is assessed as positive, even if in the current step the depth of detail has been lost or was not presented by the BGE in the context of the report.

Abkürzungen:

AK	Ausschluss-Kriterien, Prüfschritt 1
BASE	Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
DAP	Digitales-Archivierungs-Projekt der BGE für Dokumente und Daten
ELO	Elektronisches Leitz-Ordner-System der BGE für Berichte
EndlSiAnfV	Endlagersicherheitsanforderungsverordnung
EndlSiUntV	Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung
ewG	Einschlusswirksamer Gebirgsbereich
GdG	Grad der Gewissheit
geoWK	geowissenschaftliche Abwägungskriterien
GzME	Gebiet zur Methodenentwicklung
IKA	Interne Kontinuierliche Abstimmungskommission der BGE
K&S	Kali & Salz Industrie
KW	Kohlenwasserstoffindustrie
MA	Mindestanforderungen, Prüfschritt 1
NBG	Nationales Begleitgremium
NLOG	TNO Webseite zum Untergrund https://www.nlog.nl/en/welcome-nlog
planWK	Planungswissenschaftliche Abwägungskriterien, § 25 des StandAG,
RACI	Management Matrix um Verantwortlichkeiten nachvollziehbar, transparent, und eindeutig und darzustellen (Responsible Accountable Consulted Informed)
rvSU	repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen
SGD	Staatliche Geologische Dienste der Bundesländer
StandAG	Standortauswahlgesetz
TG	Teilgebiet
TNO	Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung
TUNB	Modell des Tiefen Untergrundes des Norddeutschen Beckens
UR	Untersuchungsraum
URS	Forschungsprojekt der BGE zu „Ungewissheiten und Robustheit mit Blick auf die Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle“, TU Freiberg
WbB	Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion

1. Hintergrund und Bezug zum Standortauswahlverfahren

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

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

Die **Durchführung** des **Standortauswahlverfahrens** richtet sich nach dem StandAG. Die **Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE)** ermittelt im **Schritt 2** der **Phase I** aus den Teilgebieten (TG) nach § 13 StandAG die **Standortregionen für die übertägige Erkundung** gemäß § 14 StandAG (Seidel und Wengler, 2021). Alle TG, die günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen, sind im „Zwischenbericht Teilgebiete“ (BGE, 2020) zusammengefasst. Die BGE arbeitet aktuell daran, die ausgewiesenen TG räumlich einzugrenzen und in ihrer Anzahl zu reduzieren und hat dazu ihren **Bericht** zum **„Vorgehen zur Ermittlung von Standortregionen aus den Teilgebieten“** (BGE, 2023) mit Datum vom 4. Oktober 2023 veröffentlicht, der Grundage des hier vorgestellten Gutachtens ist.

Im hier **vorgelegten Gutachten** wird die derzeitige **Weiterentwicklung** der **Methodik** zur Anwendung der **repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen** (rvSU; BGE, 2022a,b) für die **vier Wirtsgesteine** Tongestein, Steinsalz in steiler und flacher Lagerung sowie dem Kristallin und der geplante Umgang der BGE mit den **geowissenschaftlichen Abwägungskriterien** (geoWK) bewertet. Das **NBG** hat in dem Rahmen die folgenden **Fragen** formuliert:

- Welche Auswirkungen haben die **Weiterentwicklungen** der **rvSU** auf die Eingrenzung der Teilgebiete und wie weitreichend sind die **Änderungen** der **Methodik**?
- Was sind die Auswirkungen auf die **Auswahl** der **Standortregionen** bzw. Unterschiede im Verfahren beim **Vergleich** von **Gebieten** eines **Wirtsgesteins**?
- Wie plant die BGE die **geoWK** im Rahmen der **Eingrenzung** der **Teilgebiete** auf die Standortregionen konkret **anzuwenden** und welche **Relevanz** hat dies?

2. Vorgehensweise bei der Begutachtung

Dieses **Gutachten** dient zur Beurteilung des derzeitigen, vorläufigen **Arbeitsstands** der **BGE** bei der Methodenentwicklung, die Anwendung finden wird für die Ermittlung der Standortregionen. Der **Auftrag** des **NBG** umfasst die **Sichtung** der **Unterlagen** zur Methodik der **rvSU** auf Basis des **Zwischenberichts Teilgebiete** und zum Vorgehen zur **Ermittlung der Standortregionen**, sowie **Akteneinsicht** bei der BGE für nicht frei zugängliches Material. Dabei wird gezielt auf den **Fragenkatalog** des NBG eingegangen. Darüber hinaus werden auch **Fortschritte** im Verfahren für die einzelnen **Wirtsgesteine** angesprochen.

Ausgangspunkt für die Begutachtung waren **„fachlich unbegleitete“** eintägige **Einzelbesuche** vom 3.-6. Juli 2023 mit Blick auf die **Wirtsgesteine** Salz in flacher und steiler Lagerung, gefolgt von Tongestein und abschießend dem Kristallin. Die **Akteneinsicht** hatte zum Ziel die Entwicklung der Methodik der rvSU seit März 2022 (BGE, 2022a,b) zu beurteilen.

Weiterhin erfolgte am 18. und 19. September ein **gemeinsamer Besuch** der NBG-Sachverständigen bei der BGE in Peine. In dem Rahmen wurde mit den **Mitarbeiter*innen** der **BGE** in verschiedenen **Gesprächsrunden** der Stand zum Vorgehen zur **Ermittlung von Standortregionen** aus den Teilgebieten ausführlich erörtert. Die Offenheit der Diskussion mit der BGE und die frühe Einbindung von Beteiligten im Verfahren (z. B. NBG) wird positiv bewertet.

Abschließend gab es am 11. Oktober 2023 noch eine **ergänzende** ausführliche **Videokonferenz** zum Tongestein und am 18. Oktober 2023 eine **weitere** fachlich unbegleitete **Akteneinsicht** in Peine bzgl. des Wirtsgesteins Salz.

Die im **ELO** (Elektronischer-Leitz-Ordner) einsehbaren **Unterlagen** der BGE sind nicht vollständig im Bezug auf die **fachliche Dokumentation**. Die datenbasierten **Arbeitsstände** sind bei der BGE im Digitalen Archiv-Projekt-System (**DAP)** verortet. Der Zugang zu DAP ist bis zum jetzigen Zeitpunkt nur mit Hilfe der BGE-Mitarbeiter*innen und damit ausschließlich bei durch die BGE **„fachlich begleiteten“** Besuchen für die Begutachtung zugänglich. Bis dato war deshalb kein weiterer Einblick in die, von der BGE ausgearbeiteten, technischen Dokumentationen der Arbeitsstände möglich. Dies **erschwert** eine detailliertere **Beurteilung** der vorgenommenen Aktivitäten und daraus resultierender Entwicklungen.

Im Rahmen des Besuchs vor Ort im September hat die BGE das **Management** und die interne Struktur der **Geo-Daten** und daraus abgeleiteten Produkten erläutert. Hierbei werden drei wesentliche Schritte unterschieden: (1) Rohdaten von den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) und ggf. Ergebnisse aus Reprozessierungen der Daten werden zuerst in einer **Arbeits-Datenbank** erfasst und dokumentiert. (2) Im **DAP** werden darauf aufbauend projektorientiert Daten, Dokumente und Interpretationen mit Zeitstempel hinterlegt und verlinkt und für konkrete Arbeiten verwendet. (3) Die aus den vorherigen Schritten abgeleiteten und erstellten (Prüf)-Berichte werden im **ELO** erfasst und archiviert.

Fortschritte wurden bei der Entwicklung und **Zugänglichkeit** des „**Entscheidungsregisters**“ der BGE im ELO erkannt. Eine solche Dokumentation von Entscheidungen mit unterschiedlicher Trageweite, die Aufzeichnung der Resultate und deren Nachverfolgbarkeit ist bei einem Projekt solcher Dimension unabdingbar (Grötsch, 2022a, Seiten 46ff). Diese Entwicklungen sind deshalb als sehr **positiv** zu bewerten.

3. Methodik der BGE zur Ermittlung der Standortregionen

„Mit der veröffentlichten Methodik zur Ermittlung der Standortregionen aus den Teilgebieten werden wichtige Weichen für die Ausgestaltung des Standortauswahlverfahrens in Schritt 2 der Phase I gestellt. Diese Veröffentlichung soll als Basis für Diskussionen mit der (Fach-)Öffentlichkeit sowie weiteren Verfahrensbeteiligten dienen und kann im weiteren Fortschritt des Verfahrens weiterentwickelt werden“ (BGE, 2023).

Die BGE arbeitet an der **Entwicklung der Methodik**, um die Fläche der TG, die aktuell 54 % Deutschlands ausmacht, zu reduzieren und auch ihre Anzahl zu verringern. Das Vorgehen konkretisiert die **gesetzlichen Vorgaben**, um ein **nachvollziehbares Bewertungssystem** zu erstellen. In diesem Rahmen werden einzelne methodische Inhalte aus vorangegangenen Veröffentlichungen (BGE, 2022a,b) präzisiert und weiterentwickelt (BGE, 2023, Blatt 13).

Für die **Ermittlung** der **Standortregionen** stehen der BGE nach dem StandAG drei **Werkzeuge** zur Verfügung: die **repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen** (rvSU), die **geowissenschaftlichen** (geoWK) und **planungswissenschaftlichen** (planWK) **Abwägungskriterien**. Mit Hilfe der rvSU werden alle Untersuchungsräume (UR) eines TG hinsichtlich ihrer Sicherheit und Robustheit bewertet und sukzessive über vier aufeinanderfolgenden **Prüfschritte** in die **Kategorien A bis D** eingestuft. Für die Bewertung der Gebiete hat die BGE basierend auf dem StandAG, der EndlagersicherheitsAnforderungsVerordnung (EndlSiAnfV) und der EndlagerSicherheitsUntersuchungsVerordnung (EndlSiUntV) die neuen und **wirtsgesteinsspezifischen rvSU-Kriterien** abgeleitet. Diese sind sehr übersichtlich mit Bezug zu den Prüfschritten 1-3, der jeweiligen Begründung für ihre Anwendung und dem zugehörigen thematischen und regulatorischen Bezug tabelliert (BGE, 2023, Anhang 1). Die unter Sicherheitsaspekten **am besten geeigneten Gebiete** der **Kategorie A** werden im Anschluss an die rvSU noch mittels der geoWK bewertet. Die verbleibenden **potenziellen Standortregionen** eines Wirtsgesteins werden **miteinander verglichen**. Ggf. werden an dieser Stelle auch noch die planWK herangezogen, um eine weitere **Einengung der Größe der Gebiete** oder eine **Reduktion** ihrer **Anzahl** zu erreichen (Abbildung 1). Für jede ermittelte Standortregion wird am Ende ein standortbezogenes Erkundungsprogramm erarbeitet. Das BASE prüft den Vorschlag der BGE und der Bundestag entscheidet schlussendlich welche Gebiete untersucht werden sollen (BGE, 2023).

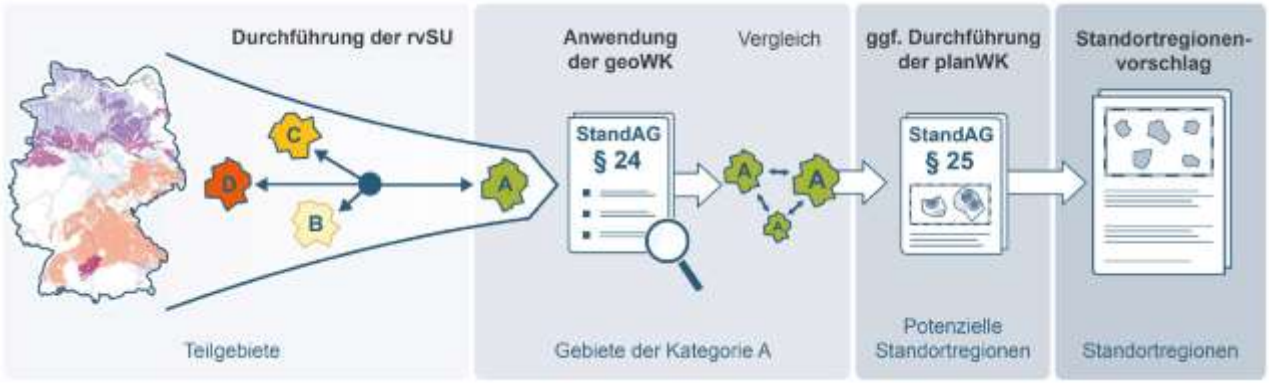

Abbildung 1: Übergeordnete Methode zur Ermittlung der Standortregionen für die übertägige Erkundung. Ausgehend von der rvSU werden die Untersuchungsräume der Teilgebiete in die Kategorien D bis A eingestuft. Auf die bestgeigneten Gebiete der Kategorie A werden im Folgeschritt die geoWK zum Vergleich angewendet, um potenzielle Standortregionen zu ermitteln. Für den Standortregionenvorschlag kommt es ggf. zur Anwendung der planWK. Dieser wird dem BASE zur Prüfung vorgelegt (BGE, 2023).

Die **Bewertung** der Gebiete im Rahmen der rvSU folgt einem **kriterienbasierten Ansatz**. In **Prüfschritt 1** werden zielgerichtet die aus dem StandAG bekannten AK und MA überprüft. Im Falle das mindestens ein AK erfüllt ist oder mindestens eine MA nicht erfüllt wird, führt dies zu einer Einstufung des betreffenden Bereichs in die **Kategorie D - ungeeignet**. Die verbleibenden Bereiche werden im **Prüfschritt 2** einer qualitativen Bewertung unterzogen, ob sie **überwiegend gut geeignet** sind, um den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle zu gewährleisten. Dies erfolgt anhand der wirtsgesteinsspezifisch abgeleiteten rvSU-Kriterien (BGE, 2023, Anhang 1). Gebiete, die den Prüfschritt 2 nicht bestehen werden in die **Kategorie C** eingestuft. Die quantitative Bewertung im **Prüfschritt 3** kann ebenfalls noch zur Einordnung eines Gebiets in die Kategorie C führen. Hier werden die regulatorisch vorgegebenen Grenzwerte zum Massen- und Stoffmengenaustrag überprüft. Im letzten **Prüfschritt 4**, dem sicherheitsgerichteten Diskurs, wird abschließend anhand der rvSU-Kriterien zwischen Gebieten der **Kategorien B und A** unterschieden. Die letzte Prüfung beinhaltet zwei Teilschritte. Im ersten erfolgt die räumliche Einengung zu potenziellen Kategorie A-Gebieten und im zweiten die Bewertung. In die Kategorie A werden nur solche Gebiete eingestuft, die sich auf Grundlage der rvSU nicht weiter einengen lassen (BGE, 2023). Die Ergebnisse aller Prüfschritte für jeden UR werden zu einer Gesamtbewertung zusammengefasst und dokumentiert.

Die **Gebiete** mit bestmöglicher Sicherheit der **Kategorie A** werden im **Folgeschritt** mit Hilfe der **geoWK bewertet** (Abbildung 1). Die erneute Anwendung wird ausschließlich auf diese A-Gebiete beschränkt und ist vergleichbar mit der Methodik, die in Schritt 1 der Phase I durchgeführt wurde, bei der Ermittlung von Teilgebieten (BGE, 2020). Ziel der Anwendung der geoWK in Schritt 2 der Phase I ist die Bewertung der **geologischen Gesamtsituation**, um die Anzahl der Kategorie A-Gebiete weiter zu reduzieren. Alle Bereiche, die eine Einordnung in die Kategorien D, C oder B erfahren haben wurden bereits vorher ausgeschlossen.

Im Anschluss an die Durchführung der rvSU sowie an die Anwendung der geoWK werden die Gebiete der Kategorie A aller **UR** übergreifend **miteinander verglichen**. Nach der BGE wird dieser Vergleich voraussichtlich zuerst **wirtsgesteinsspezifisch** erfolgen, wobei die Möglichkeit eines wirtsgesteinsübergreifenden Vergleichs offengehalten werden soll. Daraus ergeben sich abschließend die **potenziellen Standortregionen** und damit ist die sicherheitsgerichtete Einengung der Gebiete abgeschlossen (BGE, 2023).

Die **planWK**, die nicht Teil des hier vorgelegten Gutachtens sind, umfassen elf gesetzlich festgelegte **Abwägungskriterien**, die unterschiedliche **Nutzungsansprüche** für ein Gebiet abbilden. Darunter fallen z. B. oberflächennahe Grundwasservorkommen zur Trinkwassergewinnung. Die planWK dienen nicht der Sicherheitsbewertung, sondern einer Reduzierung der Größe und ggf. auch der Anzahl von Gebieten der Kategorie A. Wie dies im Detail erfolgen soll, will die BGE noch festlegen (BGE, 2023).

Die BGE übermittelt den **Standortregionenvorschlag** mit Begründung auf Basis aller Ergebnisse aus der oben beschriebenen Methodik an das **BASE**. Zusätzlich erfolgt eine Darstellung der Ergebnisse der **Öffentlichkeitsbeteiligung**, eine Empfehlung zum weiteren Umgang mit Gebieten ohne hinreichende Informationen sowie die Übermittlung der standortbezogenen Erkundungsprogramme. *„Ein Grundsatz des Standortauswahlverfahrens ist, dass kein Gebiet allein aufgrund mangelhafter Datenverfügbarkeit aus dem Verfahren ausscheiden darf. Für alle Gebiete ohne hinreichende Informationen wird mit dem Standortregionenvorschlag aber eine Empfehlung für den Umgang mit ihnen gegeben“* (BGE, 2023).

Was beim **aktuellen Bericht** der BGE zur **Methodik** (BGE, 2023) auffällt, ist, dass in diesem Fall **nur** eine **konzeptionelle kurze Version** gibt im Gegensatz zum vergangenen Jahr (BGE, 2022a,b). So gehen **Details verloren** und die Methodik wird auch **nicht an Beispielen erläutert**, was die Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit aufgrund fehlender Details deutlich einschränkt.

Neben der Weiterentwicklung der Methodik durch die BGE sind einige **Unterschiede** zwischen dem **aktuellen Bericht** (BGE, 2023) und dem aus dem **vorherigen Jahr** (BGE, 2022a) nicht dokumentiert. Es wird z. B. ein neuer Begriff mit dem **Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion** (WbB) eingeführt. Die **Teiluntersuchungsräume** (TUR) fehlen dafür und es gibt nur noch Untersuchungsräume (UR). Ein zentrales Thema der rvSU ist bislang die **Geosynthese**, die nunmehr als Begriff auch nicht mehr auftaucht. Darüber hinaus wird von der BGE das Konzept der **Gebiete zur Methodenentwicklung** (GzME), wohl aufgrund teilweise mangelhafter Datenlage, nicht mehr verfolgt und darüber gehen auch jegliche Beispiele der Anwendung verloren. Diese stecken nun nur noch in den DAP und sind daher, wie oben dargelegt, für die Begutachtung nur eingeschränkt verfügbar.

Das in diesem Jahr nur ein zusammenfassender kurzer Bericht von der BGE zum Arbeitstand veröffentlicht wird, hat auch zur Folge, dass die **Auslegung des Endlagersystems** fast nicht mehr erwähnt wird. In BGE (2023) kommt das Wort Auslegung nur noch zweimal vor. Einmal bei den rvSU-Kriterien der Hauptgruppe Betriebssicherheit und darüber hinaus in der Tabelle der Anlage in den Prüfschritten 1 und 2 (Erdbebensicherheit, Fläche, Geometrie und Tiefenlage). Das zweite Mal wird das Wort dann im Ausblick bzgl. der untergesetzlichen Verordnungen verwendet. Dazu gehört, dass die Analyse des Endlagersystems über **Features, Events, Processes** (FEPs) sowie dessen Bewertung ebenfalls fehlen. Die dazugehörigen **Behälter** werden lediglich einmal in einer Fußnote erwähnt.

Die BGE legt dar, dass das Thema **Ungewissheiten** aktuell im Rahmen von Projekten (z. B. URS) bearbeitet wird. Die bisherigen **Kenngrößen** werden in der Methodik nicht mehr aufgeführt mit der Begründung, dass die Menge an Daten nicht zum Kriterium werden soll. Dies wird aber nicht weiter erläutert oder belegt. Stand der Methode des vergangenen Jahres (BGE, 2022b) war die Entwicklung einer **Bewertungsmethode** der Ableitbarkeit der **Untergrundbeschaffenheit** über vier Kenngrößen. Zunächst waren dies zwei zur Datenlage, getrennt nach Datenqualität und Datenquantität, sowie im Weiteren zwei zu den geologischen Rahmenbedingungen eines TUR, getrennt nach den vorhandenen interpretativen Daten und weiteren (indirekten) Nachweisen und der geologischen Komplexität. Mit Hilfe dieser vier Kenngrößen sollte die Verlässlichkeit von Aussagen zur Beschaffenheit des Untergrunds bewertet werden.

Im aktuellen Bericht legt die BGE dar, dass die Ausweisung von **Gebieten ohne hinreichende Informationen** als sinnvoll betrachtet wird, da folgenden Punkten Rechnung getragen werden soll: (i) Gebiete ohne hinreichende Informationen erzeugen Transparenz im Umgang mit einer deutschlandweit heterogenen Datendichte und es kann entschieden werden, wie mit diesen Gebieten im Verfahren weiter umgegangen werden soll. (ii) Es wird vermieden, dass diese Gebiete in die rvSU gehen oder mit den geoWK bewertet werden. (iii) Dadurch wird vermieden, dass Gebiete anhand unbrauchbarer, aber günstiger Bewertungen als Standortregionen für die übertägige Erkundung ausgewiesen werden.

Die **Ausweisung von Gebieten** ohne hinreichende Informationen in Schritt 2 der Phase I soll allerdings nur in Ausnahmefällen erfolgen und dementsprechend sind die Hürden hoch (BGE,

2023). Für die Analysen in der rvSU und der Anwendung der Kriterien sollte die Datenlage eine geowissenschaftliche Begründung darüber zulassen, ob eine Wirtsgesteinsformation in einem Gebiet mit hoher Wahrscheinlichkeit angetroffen werden kann oder nicht.

„… statt einer Bewertung mittels rvSU-Kriterien, geoWK und ggf. planWK für jedes Gebiet ohne hinreichende Informationen wird am Ende von Phase I des Standortauswahlverfahrens geprüft, ob im direkten Vergleich mit den ermittelten Standortregionen eine gleiche oder bessere Eignung als Endlager realistisch erscheint. Die genaue Vorgehensweise bei diesem Vergleich kann allerdings erst erarbeitet werden, wenn konkrete Gebiete (d. h. A-Gebiete) zur Ausarbeitung des Vergleichs vorliegen.“ (BGE, 2023, Blatt 58).

Es gibt aber **leider kein Beispiel**, an dem der **Unterschied zweier Gebiete** mit ausreichender und nicht ausreichender **Datenlage nachvollzogen** werden könnte.

3.1 Ist die rvSU reproduzierbar und in welchem Rahmen? Diese Frage stellt sich aufgrund der Position der BGE, dass eine exakte Reproduzierbarkeit geowissenschaftlicher Interpretationen nicht realistisch ist. Wichtig ist jedoch, dass die grundsätzliche Bewertungsentscheidung dem Anspruch der Reproduzierbarkeit genügt. Dafür ist insbesondere die Verwendung kriterien-basierter Prüfschritte mit eindeutig definierten Schwellenwerten hilfreich. Welche Arbeiten haben in dieser Richtung stattgefunden?

Die BGE hat die Prüfschritte der rvSU und die erneute Anwendung der geoWK teilweise definiert (BGE, 2023). Daraus und aus den Gesprächen der BGE mit den NBG-Sachverständigen ist jetzt ersichtlich, dass die BGE in einzelnen Arbeitsschritten auch plant quantitative und semi-quantitative Prozessschritte zu verwenden, die eine transparente Nachverfolgung der Ergebnisse erleichtert. Beispiele dafür sind:

1) **Kartendarstellungen** (BGE, 2023, Abb. 4, Abb. 9): Verschiedene Kartendarstellungen der Ergebnisse, sprich die Übertragung von 3D-Informationen in vereinfachte, überlagerte 2D-Kartendarstellungen, auch mit Hilfe von Aggregierung verschiedener Kriterien in der rvSU (BGE, 2023, Abb. 9) erlauben eine wesentlich verbesserte Nachverfolgbarkeit von Gebietseinschätzungen.

2) **Kriterienkatalog** zu den Prüfschritten 1-4 in der rvSU: Durch die Fokussierung auf zum Teil auch wirtsgesteinsspezifischen Kriterien im jeweiligen Prüfschritt ist eine deutliche Verbesserung der Transparenz einzelner Gebietskategorisierungen zu erreichen.

3) **Quantitative 1D-Modellierungen** der Diffusion von Radionukliden anhand von Gebiets- oder Referenzdaten (rvSU Prüfschritt 3).

4) **Aggregierung der Einstufung** der Relevanz (BGE, 2023, Tab. 2). Dieser semi-quantitative Arbeitsschritt in der geoWK-Abwägung für alle verwendeten Indikatoren ist ebenfalls geeignet eine iterative Verbesserung und transparente Aufzeichnung der Einschätzung zu ermöglichen.

5) **Grad der Gewissheit** (GdG): Eine semi-quantitative Methode, um Ungewissheiten in den untersuchten Gebieten einzuschätzen mit Hilfe der geologischen Komplexität und der vorhandenen Datenlage. Diese Methode wird gegenwärtig noch weiterentwickelt und ist deshalb noch nicht durch die BGE veröffentlicht. Der Ansatz wird aber als sehr vielversprechend angesehen.

6) **Gewichtungsgruppen** bei der optionalen Anwendung der planWK (BGE, 2023, Abb. 18). Auch hier wird ein semi-quantitativer Ansatz gewählt, wobei verschiedene Informationen (z. B. Abstand zu Besiedlung, Naturschutzgebiete, Bodenschätze) für jedes Gebiet zusammengefasst werden.

Insgesamt ist also eine deutliche **Weiterentwicklung** der **Methode** festzustellen unter Zuhilfenahme von **quantitativen und semi-quantitativen Arbeitsschritten** innerhalb des Gesamtarbeitsablaufs („Workflow"). Es ist abzusehen, dass dieser Ansatz zu einer **verbesserten Transparenz** führen wird. Dabei sind inzwischen einige der Empfehlungen aus früheren NBG-Gutachten aufgenommen worden (z. B. Grötsch, 2022b, Abb. 14) und für den Endlager-Workflow angepasst und eingebaut worden, was die erfolgreiche Umsetzung eines **lernenden Verfahrens** widerspiegelt.

Vor allem in Prüfschritt 4 sollen dann konkrete Kriterien und Wertungsgruppen genutzt werden. Erläuterungen zu Prüfschritt 4 (Bestimmung von Kategorie A-Gebieten) fehlen allerdings noch (BGE, 2023, Anhang 1). Somit ist eine umfassendere Beantwortung der Frage zurzeit nicht möglich.

3.2 Die zu verwendenden Daten liegen innerhalb von Deutschland mit einer unterschiedlichen Dichte und Qualität vor. Der Umgang mit dieser Situation – im Sinne einer Vermeidung von systematischer Auf- oder Abwertung von Gebieten mit hoher oder niedriger Datendichte – ist daher von besonderer Bedeutung. Welche Erkenntnisse wurden darüber im vergangenen Jahr gewonnen?

Die in vorherigen Gutachten angemerkten **Empfehlungen** sind durch die BGE **aufgenommen** worden und in Projektstudien weiterentwickelt worden. Dies wird als eine begrüßenswerte Entwicklung angesehen, da dadurch Erkenntnisse aus Untergrundprojekten in anderen Bereichen (Öl & Gas, Salz, Bergbau) unterstützend aufgenommen werden. Als ein Beispiel dafür kann inzwischen die Entwicklung der Bewertung von Ungewissheiten angesehen werden, wie etwa angesprochen in Grötsch (2022b, Seiten 37ff).

Die BGE hat dazu den semi-quantitativen Indikator **„Grad der Gewissheit (GdG)"** entwickelt, der aus einer Kombination von geologischer Komplexität (Strukturgeologie und Sedimentologie) und Datenlage (Quantität und Qualität) zusammengesetzt ist. Dieser ist noch **in der Entwicklung** und deshalb noch nicht veröffentlicht. Nichtsdestotrotz werden erste, von der BGE gezeigte Ergebnisse als vielversprechend eingestuft. Dieser neu entwickelte Indikator GdG kann dann auch als „cut-off"-Kriterium Verwendung finden bei der **Definition von Gebieten ohne hinreichende Datenlage**. Es bleibt festzustellen, dass ein solcher, semi-quantitativer Ansatz in einzelnen Arbeitsschritten bei der Gebietseinschätzung erheblich zu einer verbesserten Transparenz beitragen kann, ähnlich wie in der Industrie verwendet (play-based exploration, siehe Grötsch, 2022b, Abb. 14).

Mit Blick auf den Umgang mit Gebieten ohne hinreichende Informationen muss leider erneut erwähnt werden, dass (noch immer) eine **Dokumentation** über den **Stand** der bereits gelieferten **Datensätze** für jedes TG (Liste und Karte) **fehlt**.

3.3 Welche Fortschritte gibt es bei der Verwendung der sogenannten Kenngrößen? Wie sollen sie gebraucht werden?

An dieser Stelle seien noch einmal die Ausführungen oben zum GdG erwähnt und die Auflistung der Punkte 1-6. Als ein gutes Beispiel für die Verwendung von Kenngrößen ist die Einführung des

„Grad der Gewissheit“ (GdG) von der BGE zu sehen. Dieser wurde erstmals im Gespräch mit einem Sachverständigen vorgestellt. Diesbezügliche **Arbeiten** sind jedoch **noch nicht abgeschlossen** und deshalb noch nicht durch die BGE veröffentlicht. Insgesamt wird diese Entwicklung jedoch als sehr positiv betrachtet, da sie zur verbesserten Transparenz und Vergleichbarkeit zwischen den Gebieten führen wird.

Eine weitergehende Beantwortung der Frage ist zurzeit nur eingeschränkt möglich, da detailliertere Erläuterungen zum Prüfschritt 4 (Bestimmung von Kategorie A-Gebieten) im von der BGE vorgelegtem Bericht fehlen (BGE, 2023). Darüber hinaus wird von der BGE auch nicht erläutert, warum die bisher konzipierten Kenngrößen zur Datenquantität und – qualität, bzgl. der interpretativen Nachweise und der geologischen Komplexität nicht weiter entwickelt wurden (BGE, 2022b) und keine Erwähnung mehr finden.

4. Weiterentwicklungen der rvSU für die Eingrenzung der Teilgebiete

Laut BGE ist die Eingrenzung der Standortregionen in §14 StandAG nicht klar vorgegeben und deswegen entwickelt sie hierzu die notwendigen Verfahren. Es wird im aktuellen Bericht erwähnt, dass es dazu umfangreiche interne und externe Begutachtungen gibt (BGE, 2023, Blatt 17).

Das **prinzipielle Vorgehen** bei den rvSU als Teil der übergeordneten Methode besteht, wie weiter oben bereits beschrieben (Abbildung 1), aus **vier wesentlichen Schritten** (Abbildung 2):

1. Prüfschritt: Anwendung der MA und AK => D-Gebiete
2. Prüfschritt: Qualitative Bewertung des sicheren Einschlusses => C-Gebiete
3. Prüfschritt: Quantitative Bewertung des sicheren Einschlusses => C-Gebiete
4. Prüfschritt: Sicherheitsgerichteter Diskurs
   a) räumliche Einengung => B-Gebiete
   b) Bewertung => A-Gebiete

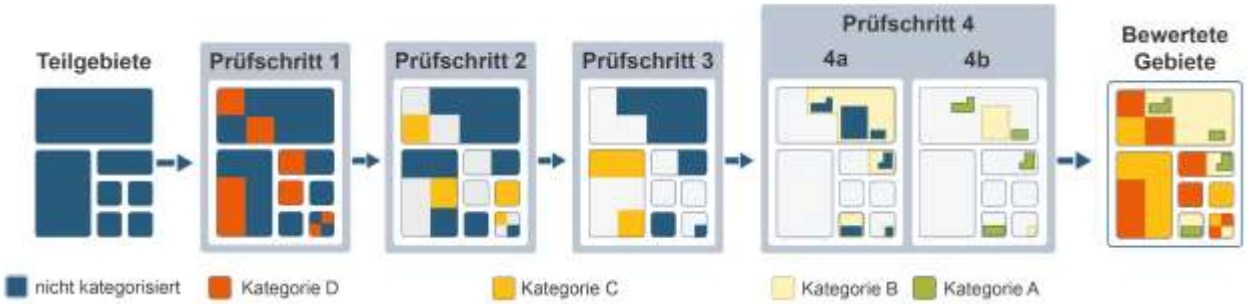

Abbildung 2: Prüfschritte innerhalb der rvSU. Die in Phase I Schritt 1 des Standortauswahlverfahrens ermittelten TG werden über vier Prüfschritte anhand ihrer Eignung für die Endlagerung in Gebiete der Kategorien D bis A untergliedert und eingeengt. In jedem Prüfschritt werden immer nur die Gebiete geprüft, die im vorhergehenden nicht aussortiert wurden (BGE, 2023, Blatt 19).

4.1 Wie wird der Kenntnisstand in den einzelnen Teilgebieten dargestellt? Gibt es dazu eine Einschätzung der Robustheit des Nachweises?

Ziel der umfassenden Bewertung des Endlagersystems bei der Durchführung der rvSU ist eine **zusammenfassende Bewertung** des **sicheren Einschlusses** und seiner **Robustheit** für alle kategorisierten Gebiete. Dies ist in der im Frühjahr 2022 veröffentlichten Methodenbeschreibung (BGE, 2022a,b) bereits dargelegt und nimmt auch in dem jetzt veröffentlichten Dokument zur

Methodenentwicklung (BGE, 2023) breiten Raum ein. Die **Darstellung** des **Kenntnisstandes** erfolgt für die TG über UR im Wesentlichen **auf der Basis von Daten** (z. B. geophysikalische, hydrogeologische und Bohrungsdaten) über die auch eine Einschätzung der Robustheit der Nachweise möglich wird.

- In § 11 EndlSiUntV wird die Dokumentation und Berücksichtigung bestehender Ungewissheiten gefordert. Die BGE hat hierzu eine Methodik entwickelt (BGE 2022a,b), die bei den fortschreitenden Arbeiten zur Methodenentwicklung innerhalb der rvSU weiter konkretisiert und umgesetzt wird.
- Bei der Bewertung von Ungewissheiten werden die Erkenntnisse aus den Arbeiten im Rahmen des Verbund-Forschungsprojekts „Ungewissheiten und Robustheit mit Blick auf die Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle“ (URS) bei der Weiterentwicklung der Methodik mit einbezogen (BGE, 2022c). Im Rahmen der Aktivitäten dieses Projekts sind für die geologische Bewertung besonders numerische Integritätsanalysen der geologischen Barriere im Rahmen der Sicherheitsuntersuchungen von Bedeutung, mit dem Ziel, probabilistische, gut fundierte Bewertungen der geologischen Barriereintegrität mit mathematischen Methoden zur Quantifizierung von Ungewissheiten durchzuführen.
- Darüber hinaus werden mit dem Forschungsvorhaben GeoBlocks (BGE 2022c) sowohl Ungewissheiten der geologischen und geophysikalischen Eingangsdaten systematisch analysiert, als auch die daraus resultierenden Ungewissheiten der geologischen Modellierung erfasst. Darüber hinaus werden für alle Wirtsgesteine die räumliche Variabilität beschrieben und Methoden zur Vergleichbarkeit von Regionen mit unterschiedlicher Datendichte entwickelt. Diese projektbasierten Aktivitäten werden den fortlaufenden Prozess der Methodenentwicklung noch bis ins Jahr 2025 begleiten und den Umgang mit Ungewissheiten und Fragen der Robustheit von Bewertungen bei der rvSU verbessern.
- Erste Blaupausen für die Erstellung von Berichten zu Gebieten sind, z. B. im Wirtsgestein Tongestein, vorhanden und sollen im weiteren Verlauf auf alle Gebiete angewendet werden. Auch diese Verwendung von Standards wird eine Vergleichbarkeit der Gebietsanalysen transparenter gestalten.

4.2 Es bestehen zahlreiche Überlappungen in der rvSU und den geoWK Kriterien, Indikatoren, Aspekten (z. B. Potenzialbringer). Wie soll dies vereinfacht werden?

Die Durchführung der **Prüfschritte** 1 bis 4 in den rvSU (Abbildung 2) erfolgt auf der Grundlage eines **kriterienbasierten Ansatzes**. Dies stellt eine substanzielle **Weiterentwicklung** des ursprünglichen Konzepts zur Methodenentwicklung (BGE 2022a,b) dar. Die **rvSU-Kriterien** sind in Tabelle A 1 im Anhang 1 des Berichts der BGE (2023) aufgelistet. Unter der Rubrik **„Thematischer und Regulatorischer Bezug“** werden die Kriterien des Katalogs Hauptgruppen zugeordnet und aus den Vorgaben des StandAG, der EndlSiAnfV und der EndlSiUntV abgeleitet. Die Hauptgruppen stellen den Bezug zu den geoWK her und bilden so das Scharnier zwischen Kriterien der rvSU und den geoWK. Im Kriterienkatalog wird dargelegt, ob und bei welchem Prüfschritt der rvSU diese zur Anwendung kommen. Beim gegenwärtigen Arbeitsstand umfasst der Kriterienkatalog die rvSU-Prüfschritte 1 bis 3. Die Entwicklung der Kriterien für den Prüfschritt 4 ist gegenwärtig noch in Bearbeitung. Es werden weiterhin **fachliche Begründungen** zur Anwendung und der **Relevanz** für die verschiedenen Typen von Wirtsgesteinen gegeben und es

wird ihre **Bedeutung für die Sicherheit** erläutert. Generell kann die Liste Änderungen unterworfen sein (BGE, 2023).

Wichtig erscheint an diesem Punkt, dass der Katalog der **Kriterien der rvSU** a priori **keine formelle Festlegung in den Gesetzen und Verordnungen** kennt. Dies ist der Grund, warum die BGE unter der Rubrik des thematischen und regulatorischen Bezugs jeweils begründet, auf welche Teile von Gesetzen und Verordnungen sich diese genau beziehen. In der gegenwärtig vorliegenden Form ist dies nachvollziehbar gegeben (BGE, 2023, Anhang 1). Diese Verfahrensweise sollte auch in künftigen Formen des Katalogs realisiert werden, um die Umsetzung des Transparenzanspruchs, die Handlungssicherheit und die Risikominimierung zu gewährleisten.

Eine **situative Anwendung** eventuell hinzukommender, weiterer Kriterien für die rvSU während des Durchlaufens der Prüfschritte würde den **Raum** eröffnen **für subjektive Ungleichbehandlung** von TG und UR. Das Ergebnis könnte so von der Art der Prüfung abhängig werden. Hier enthält das Dokument zur Methodenentwicklung (BGE, 2023, Blatt 33) einige Flexibilisierungen für den Prüfschritt 2, wo zu lesen ist: *„Für eine Einstufung in Kategorie C bzw. das Nicht-Bestehen des Prüfschritts 2 müssen nicht alle rvSU-Kriterien für Prüfschritt 2 angewendet werden. Es genügt, anhand der vorliegenden Bewertungen eine nicht überwiegend gute Eignung für die Endlagerung nachzuweisen. Hierfür werden Regeln für die Prüfung anhand der rvSU-Kriterien, die aus den geoWK abgeleitet wurden, und der weiteren rvSU-Kriterien zu Prüfschritt 2 festgelegt. Für die Prüfung anhand der rvSU-Kriterien, die aus den geoWK abgeleitet wurden, gilt dabei, dass für die Einstufung die Bewertung mehrerer rvSU-Kriterien zusammen betrachtet wird, wohingegen eine ungünstige Bewertung eines der weiteren rvSU-Kriterien ausreichend für eine Gesamtbewertung sein kann. Letzteres ist der Fall, sofern anhand dieses betrachteten rvSU-Kriteriums eine sehr geringe Eignung abgeleitet werden kann, die auch nicht durch besonders günstige Bewertungen anderer Kriterien so weit aufgewogen werden kann, dass im Ergebnis eine hohe Eignung zu erwarten wäre.“*

Zwar sieht das Vorgehen eine **abschließende Plausibilitätsprüfung** anhand einer **verbalargumentativen Gesamtbetrachtung** vor, ob trotz negativer Bewertung durch rvSU-Kriterien oder aufgrund weiterer Informationen ein sicherer Einschluss und hohe Robustheit zu erwarten oder zusätzliche Analysen für eine Einstufung notwendig sind. Ist das nicht der Fall, ist Prüfschritt 2 nicht erfüllt. Bei Erfüllung des Prüfschritts 2 wird die Bearbeitung mit Prüfschritt 3 fortgesetzt. Die Dokumentation der Ergebnisse geschieht spätestens mit der Ausweisung der Kategorie A-Gebiete in Prüfschritt 4b.

Zur **erneuten Anwendung der geoWK** zur Überprüfung der potenziellen Standortregionen (also der Gebiete der Kategorie A) ist Folgendes zu bemerken. Die eigentliche Entscheidung zur Auswahl dieser Gebiete ist vorgelagert, nämlich im Prozess der rvSU. Dies birgt ein Kommunikationsrisiko. Andererseits stellt die nachgelagerte Anwendung der geoWK in den Gebieten der Katgorie A eine Konsistenz zur Praxis in Phase I und Schritt 1 her. Die Überlappung der Anwendung von rvSU und geoWK birgt das **Potenzial von Missverständnissen**, welche durch eine klare Ansprache der Problematik durch die BGE ausgeräumt werden sollten.

Der sogenannte „Werkzeugkasten“ der BGE besteht aus den rechtlichen Rahmenbedingungen, die in den AK, MA, geoWK, rvSU und planWK vorgegeben sind. Die letztendliche **Methode** der verbleibenden **Gebietsuntersuchungen** zu entwickeln ist jedoch **Aufgabe** der **BGE** (z. B. rvSU). Diese wird im Augenblick durch die BGE adressiert und ist in Teilen (sprich Arbeitsständen von

Arbeitsschritten) vorgestellt worden. Allerdings **fehlen noch wichtige Details** dazu, die in den folgenden Veröffentlichungen der BGE erwartet werden.

Im bis jetzt vorgestellten **Arbeitsablauf** der **Bestimmung** der vorläufigen **Standortregionen** werden die einzelnen Elemente aus dem „Werkzeugkasten“ in den aufeinanderfolgenden Arbeitsschritten erläutert, was wesentlich zum besseren Verständnis beiträgt. Insbesondere der, noch nicht vollständige, **Kriterienkatalog** (BGE, 2023, Anhang 1) wird als hilfreich angesehen, um Transparenz zu erzeugen bei der Frage welche Kriterien, Indikatoren oder Aspekte im jeweiligen Arbeitsschritt angewendet werden (z. B. Prüfschritt 1-3).

4.3 Welche Auswirkungen haben die Weiterentwicklungen zur Eingrenzung der Teilgebiete auf die Standortregionen gegenüber der im März 2022 veröffentlichten Methodik?

Im Prüfschritt 2, der u. a. zur Definition der Gebiete der Kategorie C führt, werden künftig nicht mehr alle Indikatoren (siehe § 24 StandAG) bei allen Wirtsgesteinen zur Anwendung kommen. Die **Ableitung relevanter Indikatoren** ist **wirtsgesteinsspezifisch**. In der so weiterentwickelten Form der Bewertung soll die Definition von Gebieten der Kategorie C anhand einer nicht vollständigen Liste von rvSU-Kriterien in Anlehnung an die geoWK geschehen. Zusätzlich erfolgt eine **Bewertung** anhand der **geologischen Gesamtsituationen**. Die Basis hierfür sind die wirtsgesteinsspezifischen Kriterienkataloge (BGE, 2023). Bei der qualitativen Bewertung des sicheren Einschlusses kommen vor allem die folgenden Kriterien zur Anwendung: (i) Es wird davon ausgegangen, dass spröde Deformation im Abstand von 1 km zu regionalen und 3 km zu überregionalen Störungs- und Zerrüttungszonen angenommen werden muss. (ii) Der Begriff der „ungünstigen tektonischen Gesamtsituation“ wird weiter gefasst. Die Definition erfolgt auf der Grundlage strukturgeologischer Daten oder einer verbalargumentativen Herleitung. In einem UR muss es die Möglichkeit geben zu belegen, dass es keine für einen ewG ausreichend große, undeformierte Bereiche gibt. Ist dies so, ergibt sich insgesamt eine ungünstige Bewertung.

Es erfolgt weiterhin eine Festlegung auf das Vorgehen zum **sicherheitsgerichteten Diskurs** und der Identifikation der günstigsten Bereiche anhand relevanter Kriterien. Der Prüfschritt 4 wurde in zwei Abschnitte unterteilt, die konsekutiv zur Anwendung kommen sollen. Im Abschnitt 4a erfolgt zunächst die Identifikation der Gebiete, die sich infolge der günstigsten Bewertung nach Durchführung der Prüfschritte 1 bis 3 der rvSU herausgestellt haben. Auf diese wird im Abschnitt 4b der sicherheitsgerichtete Diskurs angewendet, also die systematische Bewertung anhand von wirtsgesteinsspezifischen rvSU-Kriterien (BGE, ELO).

Die Arbeitsschritte 1 bis 3 sind inzwischen wesentlich verbessert ausgearbeitet, wenn auch zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abzusehen ist, wie ein endgültiger Workflow im Detail aussehen wird oder in den Teilgebieten angewendet wird. Dennoch sind nun die **groben Rahmenbedingungen und Vorgehensweise dokumentiert**. Ein deutlicher Fortschritt zu früheren Veröffentlichungen ist erkennbar. Leider fehlt noch die Darstellung des 4. Prüfschritts: Sicherheitsgerichteter Diskurs zur Feststellung von B- und A-Gebieten.

Die rvSU-Prüfschritte 1 und insbesondere 2 (BGE, 2023, Blätter 31ff) werden eine deutliche Verkleinerung der verbleibenden Gebiete ermöglichen, auch weil jetzt sogenannte „Best Estimates“ angewendet werden, also Abstand von der bisherigen, sehr konservativen Bewertung genommen wird. Dies ist eine positive Weiterentwicklung im Verfahren.

4.4 Wie weitreichend sind also die Änderungen an der Methodik?

Gegenüber den bisherigen Dokumentationen zur Methodenentwicklung (BGE 2022a,b) enthält das neu vorgelegte Dokument (BGE, 2023) eine ausführlichere, weitgehend **transparent dargelegte Liste der Kriterien der ersten drei Prüfschritte**. Begrüßenswert ist die kompakte Tabellenform am Ende des Dokuments. Hierbei sind die Prüfschritte 1 und 2 in Textform ausführlich erklärt, einschließlich der anwendungsbezogenen Überlegungen, welche Kriterien entscheidungsrelevant (regionalabhängig und wirtsgesteinsabhängig) sind und welche nicht. Dies ist eine sehr weitreichende Änderung, die den rvSU-Prozess durchführbar macht, auch wenn viele der Kriterien qualitativer Natur sind und verbalargumentativ angewendet werden müssen.

Einen weiteren, großen Fortschritt stellt die **Klärung** dar, in welcher Form die **geoWK** und die Kriterien zur Durchführung der **rvSU miteinander verbunden** sind und in welcher Beziehung sie zu den Bestimmungen des StandAG, der EndlSiAnfV und der EndlSiUntV stehen.

In den bis jetzt bekannten Teilen der Methodik zur vorläufigen Bestimmung der Standortregionen sind die ersten drei Prüfschritte der rvSU mit weiteren Details versehen, vornehmlich allerdings nur die Prüfschritte 1 und 2. Diese dienen zur Klarstellung der neu zu entwickelnden Methodik, die nicht durch das Gesetz vorgegeben wurde. Insgesamt handelt es sich also um einen weiteren Schritt hin zu einer solchen neuen Methodik. Diese ist allerdings nicht vollständig. Eine umfassendere Einschätzung der Methodik bedarf dieser weiteren Details.

Positiv ist zu bewerten, dass durch die BGE inzwischen viele, in früheren Gutachten angesprochene **Empfehlungen adressiert** wurden (z. B. Entscheidungsregister, semi-quantitative Erfassung von Kriterien für verschiedene Arbeitsschritte in der Methode, advektiver Transport von Radionukliden in Tongesteinsformationen, Quantifizierung von Datenqualität und -quantität etc.).

4.5 Wie war und ist die Vorgehensweise bei der Methodenentwicklung?

Für die **Methodenentwicklung** sind zu Beginn des Prozesses **vier Teilgebiete** bestimmt worden (BGE 2021a), nämlich das Saxothuringikum für kristallines Wirtsgestein (009_00TG_194_00IG_ K_g_SO), das Thüringer Becken für Steinsalz in flacher Lagerung (078_02TG_197_02IG_S_f_z), der Salzstock Bahlburg für Steinsalz in steiler Lagerung (035_00TG_057_00IG_ S_s_z) und der Opalinuston für Tongestein (001_00TG_032_01IG_ T_f_jmOPT). Die Entscheidung wurde am 5.7.2021 per Pressemitteilung bekannt gegeben (BGE 2021b,c). Zunächst war geplant, die komplette Methodenentwicklung anhand von Arbeiten in diesen vier Teilgebieten durchzuführen und abzuschließen. Bei den Gebieten im Kristallingestein und im Steinsalz in flacher Lagerung stellte sich dieses Vorgehen als sinnvoll und konkludent heraus, da dort aufgrund der Größe und der vielgestaltigen geologischen Struktur und der lithologischen und faziellen Ausformung eine Entwicklung von Arbeitsmethoden und Kriterienkatalogen weitgehend möglich war. Die Arbeiten zur Methodenentwicklung im Opalinuston haben wertvolle Ergebnisse gebracht, was die Entwicklungen von Kriterien zur Durchführung des Prüfschritts 1 und der Arbeitsschritte zur Eingrenzung des Untersuchungsraums angeht. Auf der anderen Seite wurden Einschränkungen offenbar, was die Menge und Verfügbarkeit von Daten zur regionalen Rekonstruktion der Ablagerungsbedingungen in Raum und Zeit angeht, und damit der Gesteinscharakterisierung. Dies trifft auch zu auf die Einschätzung der offensichtlichen geomechanischen Unterschiede der einzelnen, in Frage kommenden acht Tongesteinsformation.

Im Fall des Salzstocks Bahlburg stellte sich heraus, dass zur geometrischen und räumlichen Charakterisierung des Salzstocks selbst und seiner unmittelbaren Umgebung neben einer kleinen

Anzahl von Bohrungen zwar ab den 1960er Jahren seismische Daten erhoben wurden, diese aber nur eingeschränkt zur Verfügung standen, bzw. Begrenzungen hinsichtlich der Aufbereitbarkeit und Reprozessierung aufwiesen. Dies machte es nötig und sinnvoll, die Arbeiten zur Methodenentwicklung auf andere Strukturen auszudehnen, d. h. das **Konzept der GzME** zumindest z. T. **aufzugeben**.

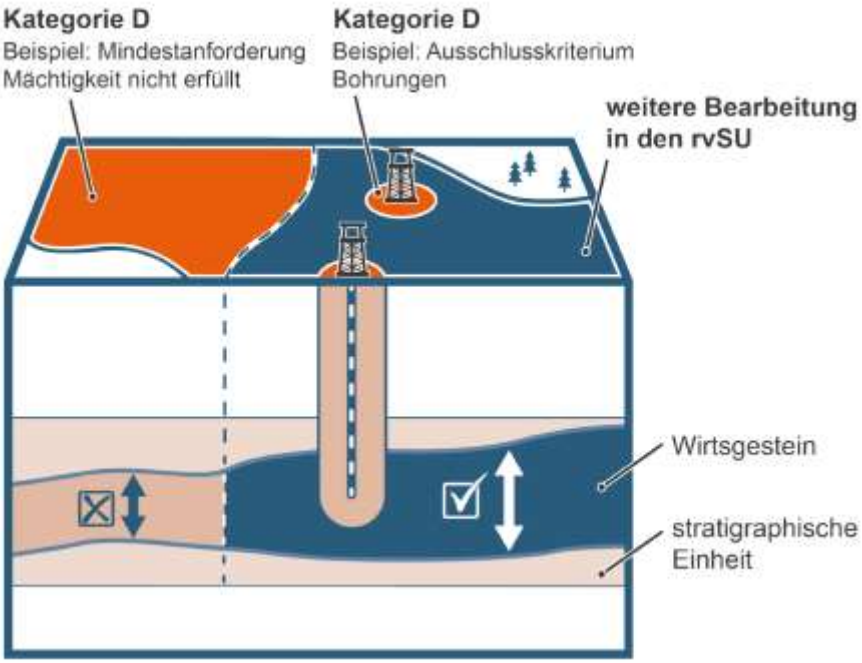

Abbildung 3: Darstellung der Anwendung einzelner rvSU-Kriterien zu Prüfschritt 1 (BGE, 2023, Blatt 33).

Beim gegenwärtigen Arbeitsstand lässt sich feststellen, dass bisher vor allem der **Kriterienkatalog** zur rvSU für die Prüfschritte 1 (Abbildung 3) und 2 (Abbildung 4) entwickelt und testweise **angewendet** wurde. Arbeitsbeispiele für Prüfschritt 1 sind vor allem für das Gebiet zur Methodenentwicklung Saxothuringikum präsentiert worden (BGE 2022a,b; BGE, 2023) und solche für Prüfschritt 2 aus dem Gebiet zur Methodenentwicklung Thüringer Becken (BGE 2022a,b; BGE 2023). Die Entwicklung der Kriterien für Prüfschritt 3 (Abbildung 5) bzgl. der Massen- und Stoffausträge und ihre methodische Anwendung ist im Gange. Erste Schritte sind im Gebiet zur Methodenentwicklung Opalinuston gegangen worden. Die Durchführung des Prüfschritts 3 benötigt jedoch die Entwicklung robuster und belastbarer Modelle der 3D-Struktur von Untersuchungsräumen und die Implementierung und Validierung entsprechender mathematischer Modelle und Simulationen. Möglich erscheint dies beim gegenwärtigen Arbeitsstand und der Datenverfügbarkeit vor allem in den Teilgebieten in Sedimentbecken die reich an Tongestein sind und in denen es entsprechend viele Bohrungen und geophysikalische Daten gibt, um dies zu verifizieren.

Der Prüfschritt 4 (Abbildung 6) – sicherheitsgerichteter Diskurs – existiert derzeit lediglich als Konzept (BGE 2023) und die Kriterien für die Anwendung der rvSU sind noch nicht entwickelt. Es wird empfohlen, den Kriterienkatalog für Prüfschritt 4 deutlich vor der Bekanntgabe erster potenzieller Gebiete der Kategorie A zu veröffentlichen und zu kommunizieren, um eine sinnvolle Beteiligung der Öffentlichkeit am rvSU-Prozess zu gewährleisten.

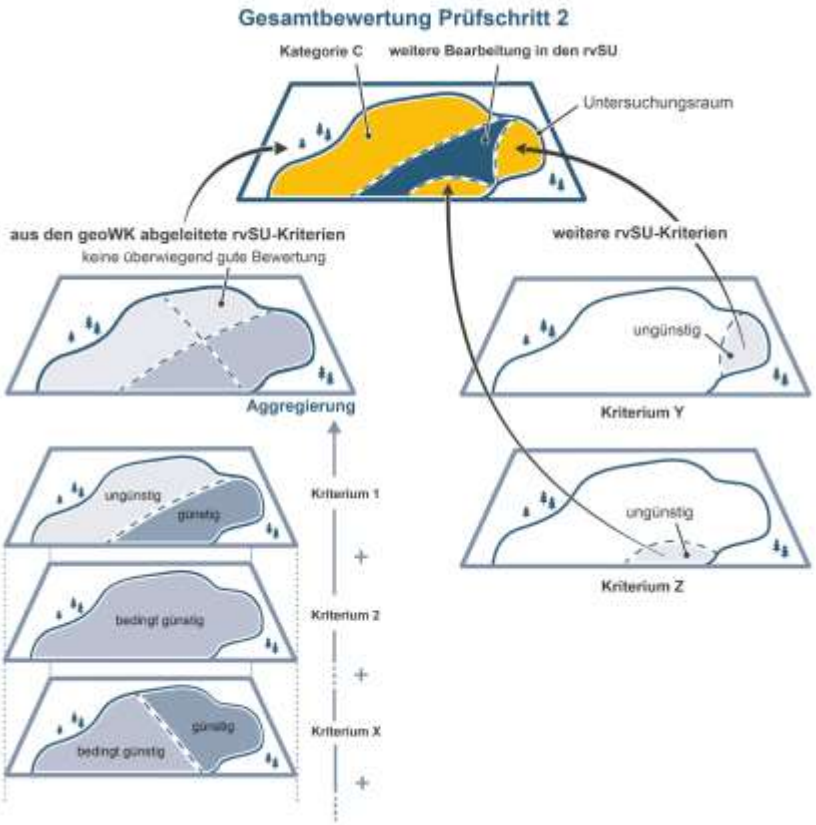

Abbildung 4: Darstellung der Methode zur Bewertung von Gebieten in Prüfschritt 2 (BGE, 2023, Blatt 36).

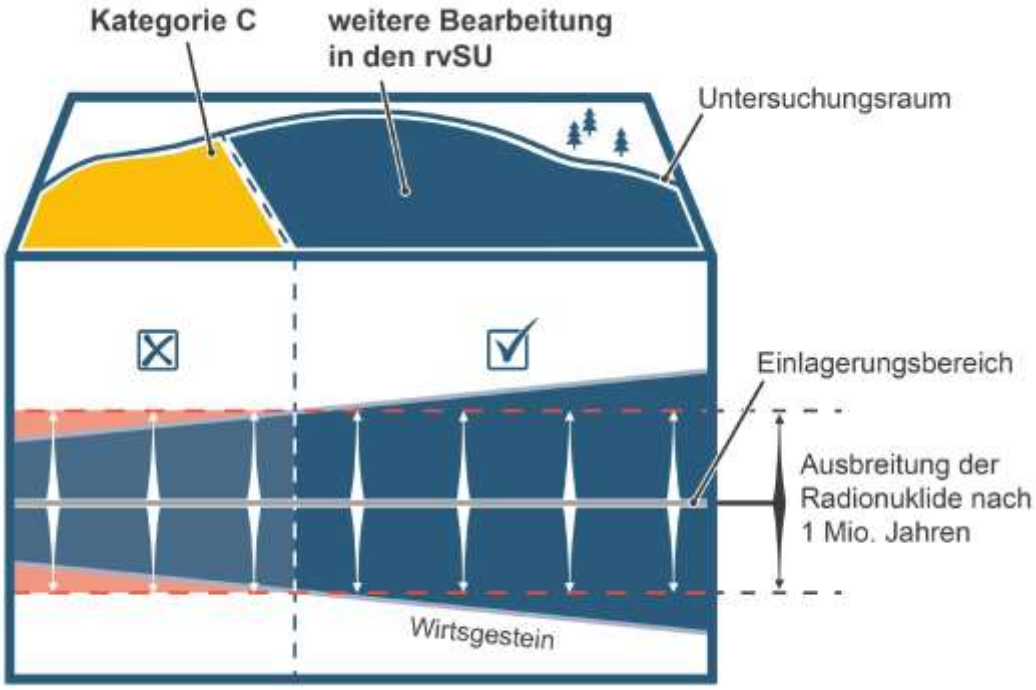

Abbildung 5: Methode zur Einstufung von Gebieten in Prüfschritt 3 (BGE, 2023, Blatt 38).

Die BGE hat einen **phasenhaften Ansatz** gewählt, bei dem die einzelnen **Arbeitsschritte** sukzessive, **mehr und mehr im Detail definiert** werden und gleichzeitig dazu **Rückkopplungen** gemacht werden können mit externen Teilnehmern am Verfahren (z. B. SGD, NBG, BASE) und Drittanbietern (d. h. beauftragte Dienstleister), wobei neue Erkenntnisse daraus schnell in die Methodik eingearbeitet werden können. Ein solches iteratives Vorgehen bei der Methodenentwicklung wird als sehr begrüßenswert eingestuft, da es eine schnelle Anpassung, sprich Verbesserung, der Vorgehensweise erlaubt, noch während der Entwicklung. Im Vergleich zu früheren, extensiven Veröffentlichungen der BGE (BGE, 2022b) ist dies als eine positive Entwicklung einzuschätzen.

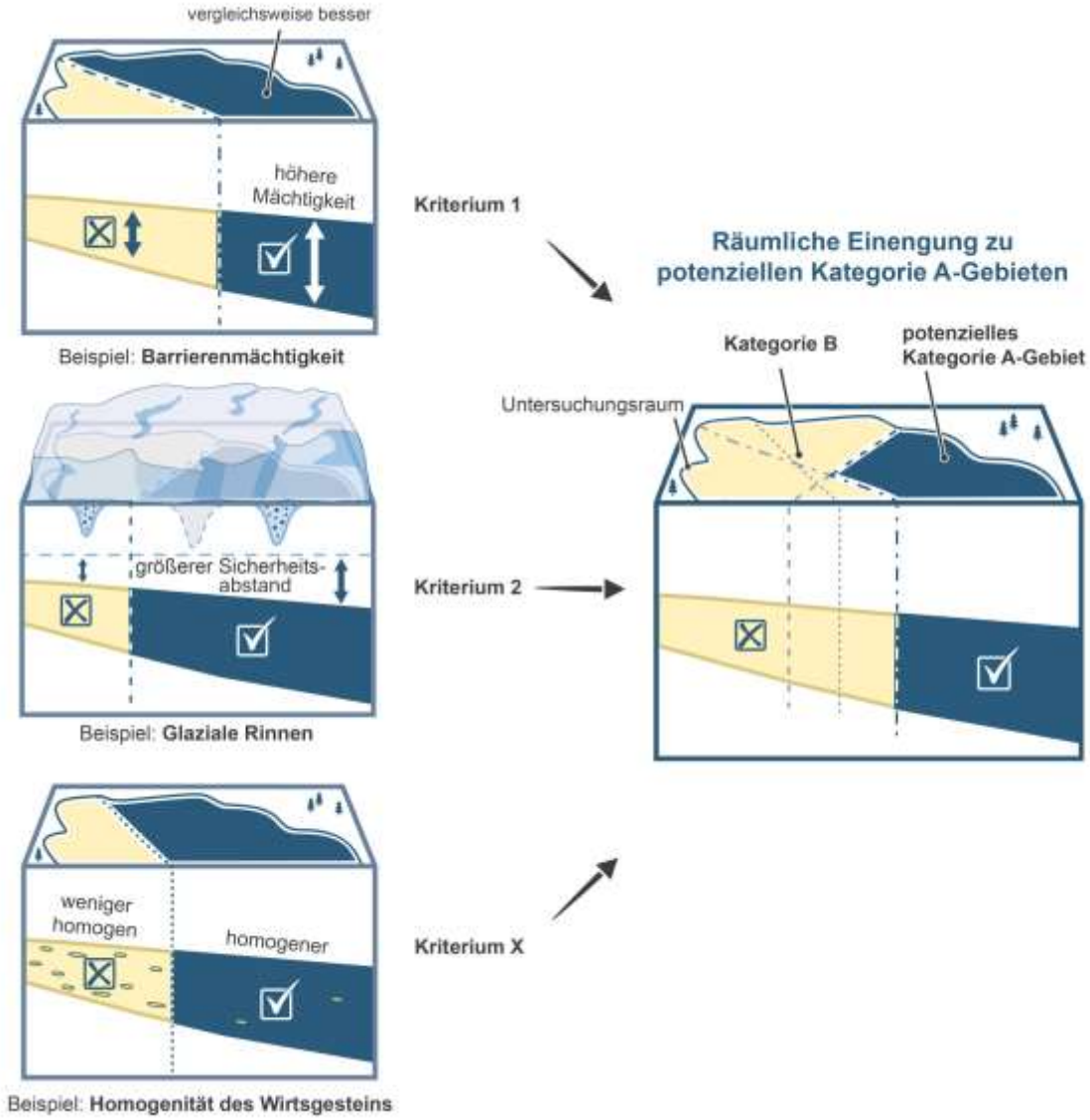

Abbildung 6: Methode zur Einstufung von Gebieten in Prüfschritt 4 (BGE, 2023, Blatt 41).

Die Art und Weise wie die Prüfschritte 1 bis 3 geplant sind, scheint im Allgemeinen robust. Allerdings gibt es mehrere Punkte, welche nicht erläutert oder unklar sind. Dies betrifft insbesondere die Nicht-Anwendung des Kriteriums „seismische Aktivität“ in Prüfschritt 1. Eine kompakte und verständliche Erläuterung zu diesem AK mit Bezug auf BMUV (2023) erscheint dringend geboten. Weitere Fragen gibt es insbesondere für das Wirtsgestein „Salz in steiler Lagerung“ (siehe Kapitel 9 dieses Gutachtens).

4.6 Wie ist die Interaktion der einzelnen Module der rvSU und was hat dies für Auswirkungen bei der Methodenentwicklung?

In dem jetzt vorgestellten Arbeitsstand (BGE, 2023) kommt klarer als in den älteren Dokumentationen (BGE 2022a,b) zum Ausdruck, dass die Durchführung der rvSU in vier Prüfschritten in den UR der TG aufeinander aufbaut. Die **Erfüllung der AK bzw. Nichterfüllung der MA** führen demnach zur Einstufung der Gebiete in die Kategorie D (Abbildung 3). Dies sind insbesondere: Aktive Störungszonen, Einflüsse bergbaulicher Tätigkeit, vulkanische Aktivität, junge Grundwasseralter, eine erhöhte Gebirgsdurchlässigkeit, eine zu geringe Mächtigkeit der Wirtsgesteinsformation, minimale Teufe, Unterschreitung der nötigen Fläche für das Endlager und den mangelhaften Erhalt der Barrierewirkung für den Betrachtungsraum von einer Million Jahren (BGE, 2023, Anhang 1).

Der sich daran anschließende Prüfschritt 2 für die verbliebenen UR der TG besteht aus einer **qualitativen, sicherheitsgerichteten Eignungsprüfung**. Im Ergebnis werden Gebiete mit einer geringen Eignung für die Endlagerung identifiziert und in Kategorie C eingestuft (Abbildung 4). Hierdurch soll es gelingen, die Arbeiten frühzeitig auf potenziell als Standortregion geeignete Gebiete zu fokussieren. Die Bewertung betrachteter Gebiete in Prüfschritt 2 erfolgt zum einen anhand einer Reihe von rvSU-Kriterien (BGE, 2023, Anhang 1), die aus den geoWK der Anlagen 1 bis 4 (zu § 24 Abs. 3) des StandAG von der BGE abgeleitet wurden.

Die **Ausarbeitung** und **Bewertung** anhand der rvSU-Kriterien für Prüfschritt 2 geschieht **iterativ**. Für eine Einstufung in Kategorie C, beziehungsweise das Nicht-Bestehen müssen nicht alle rvSU-Kriterien für Prüfschritt 2 (BGE, 2023, Anhang 1) angewendet werden. Es reicht, anhand der vorliegenden Bewertungen eine nicht überwiegend gute Eignung für die Endlagerung nachzuweisen. Dies ist eine deutliche Abkehr von der bisherigen, konservativen Vorgehensweise in Schritt 1 der Phase I hin zu einer Praxis des **„best estimate“** und stellt im Ergebnis eine wichtige Straffung der Anwendung der rvSU dar, in der eine Fokussierung auf die Auswahl der am besten geeigneten Standortregionen aus der Reihe der potenziellen Gebiete der Kategorie A im Vordergrund steht.

Die Durchführung des Prüfschritts 2 geschieht anhand einer großen Anzahl von gelisteten Kriterien (BGE, 2023, Anhang 1). **Viele der Kriterien betreffen alle vier Wirtsgesteinstypen gleichermaßen.** Einige weitere sind anwendbar auf kristalline Wirtsgesteine, Tongesteine und in einigen Fällen auf Steinsalz in flacher Lagerung. Einen Sonderfall stellt das Kriterium für kristalline Wirtsgesteinskomplexe mit eingeschränkter Vorhersagbarkeit ihrer Eigenschaften dar. Hier handelt es sich um ein Kriterium, dass nur für dieses eine Wirtsgestein zutreffend ist und angewendet werden soll (BGE, 2023, Anhang 1). Dieses betrifft Gesteinstypen mit hoher struktureller Komplexität und hoher mineralogischer Variabilität über viele Skalenbereiche. Dies sind zum Beispiel Paragneise, Diatexite und Migmatite, die durch ihren geologischen Aufbau generell eine herausfordernde räumliche Charakterisierbarkeit besitzen.

Für die Prüfung anhand der rvSU-Kriterien, die aus den geoWK abgeleitet werden, gilt in Prüfschritt 2, dass für die Einstufung die Bewertung mehrerer rvSU-Kriterien zusammen geschieht. Allerdings kann eine ungünstige Bewertung eines der weiteren rvSU-Kriterien ausreichend für eine Gesamtbewertung sein, wenn eine sehr geringe Eignung abgeleitet werden kann, die auch nicht durch besonders günstige Bewertungen anderer Kriterien aufgewogen werden kann.

Durch eine **Plausibilitätsprüfung** anhand einer **verbalargumentativen Gesamtbetrachtung** wird abschließend geklärt, ob trotz der negativen Bewertung durch eine günstige Kombination der rvSU-Kriterien oder anhand weiterer Informationen ein sicherer Einschluss und eine hohe Robustheit zu erwarten, oder zusätzliche Analysen für eine Einstufung notwendig sind. Bei negativem Ergebnis ist Prüfschritt 2 nicht erfüllt und es erfolgt die Einstufung in Kategorie C. Bei positivem Ergebnis gilt der Prüfschritt als vorläufig erfüllt und die Bearbeitung der rvSU wird mit Prüfschritt 3 fortgesetzt.

- Die Dokumentation der Ergebnisse der Bewertung mittels aller rvSU-Kriterien zu Prüfschritt 2 erfolgt spätestens mit der Ausweisung der Kategorie A-Gebiete in Prüfschritt 4b. Damit wird nachgewiesen, dass für diese Gebiete der Prüfschritt 2 abschließend erfüllt ist.
- Die einzelnen Prüfschritte der rvSU 1-4 erlauben eine sukzessive Verkleinerung der in Betracht zu ziehenden Gebiete, wobei ein Kriterienkatalog von der BGE erarbeitet wurde und wird (bis dato nur teilweise veröffentlicht).

In den Prüfschritten 4 a und b und in der anschließenden Anwendung der geoWK sind Rückkopplungen vorgesehen, die Iterationen von Arbeitsschritten erlauben und Vergleiche der verbleibenden Kategorie A-Gebiete und deren weitere Reduzierung ermöglichen. Solche Iterationen und Rückkopplungen („agile ways of working“) sind wünschenswert im Gegensatz zu einem vollständig linearen Prozess.

4.7 Auf welcher Ebene (z. B. gebietsspezifisch, wirtsgesteinsspezifisch) sind zusätzliche Aspekte bzw. relevante Kriterien plausibel anwendbar?

In sogenannten Kriterienkatalogen werden, ausgehend vom „Werkzeugkasten“ (sprich AK, MA, geoWK), wirtsgesteinsspezifische Gruppen von Kriterien für die rvSU-Prüfschritte 1 bis 3 definiert (BGE, 2023, Abb. 7, Anhang 1). Ein möglicher **Vergleich zwischen den Wirtsgesteinen ist (noch) nicht vorgesehen**, wird aber als eine weitere Option offengehalten.

4.8 Sind Rücksprünge möglich und unter welchen Umständen könnten diese notwendig sein?

In den vorliegenden Dokumenten zur Methodenentwicklung findet die Möglichkeit von **Rücksprüngen** im Verfahren zur Standortauswahl **keine Erwähnung** (BGE 2022a,b; BGE, 2023). Indirekt gibt es dazu ein Beispiel für die Anwendung der rvSU im **Kristallin**, die eine große Unsicherheit beinhaltet. Es sind **zwei Endlagertypen** möglich nach § 4 Abs. 3 (EndlSiAnfV), um den sicheren Einschluss zu gewährleisten (BGE, 2022a, S. 29 f.).

Bis jetzt ist im Konzept zur Durchführung der rvSU von der Annahme ausgegangen, dass ein UR gefunden werden kann, der die Bedingungen für ein Endlagersystem des Typs 1 mit ewG erfüllt (BGE 2022a, S. 30). Es ist derzeit nicht abzusehen, ob im Verlauf der rvSU ein UR ausgewiesen werden kann, der die gestellten Bedingungen für ein Endlager mit einem ewG erfüllt. Dies bedeutet, dass vorläufige **Sicherheitskonzepte** für **beide Endlagersysteme** entwickelt werden müssen (§ 6 Abs. 4. EndlSiUntV).

Ist ein Endlager im Kristallin mit ewG nicht realisierbar, müsste die Suche modifiziert werden, um zu einem Endlagerstandort des Typs 2 ohne ewG zu kommen. Dies hat absehbar starke Rückwirkungen auf die Durchführung des Prüfschritts 4 der rvSU und auf die erneute Anwendung der geoWK zur Eingrenzung möglicher Standorte und Standortregionen. Diese Herausforderung ist beim gegenwärtigen Stand der Methodenentwicklung nicht angegangen worden, muss aber zu ihrem Abschluss bewältigt sein. Für die Methodenentwicklung hat dies zur Folge, dass ein

erheblicher Teil des Weges der rvSU bei einem Wechsel des Endlagerkonzepts erneut gegangen werden muss (BGE 2022b, Seiten 664-669). Rücksprünge im Verfahren sind hier also möglich. Die Vorgehensweisen sollten im Rahmen der Methodenentwicklung auf der Basis modularer Dokumentationen erarbeitet werden, um zu erreichen, dass die Methodik der rvSU diese Rücksprünge „mitdenkt“.

Nach den gegenwärtigen Erkenntnissen sind **iterative Bewertungen** von Gebieten aber auch **Rücksprünge** in verschiedener Form möglich:

1) Iterationen von Arbeitsschritten innerhalb des Workflows von rvSU (z. B. Prüfschritt 4 a und b) und der erneuten Anwendung der geoWK.

2) Die Verwendung des wirtsgesteinsspezifischen Vergleiches von Gebieten erlaubt eine weitere Iteration der Einschätzung durchzuführen.

3) Option eines möglichen, späteren Vergleichs von Gebieten zwischen den verschiedenen Wirtsgesteinen.

4) Falls ein geringer Kenntnisstand oder eine unzureichende Datenlage vorhanden sind, können Gebiete ohne hinreichende Datenlage definiert werden und dadurch möglicherweise einer späteren, erneuten Bewertung unterzogen werden. Es ist jedoch noch nicht erkennbar, wie Gebiete ohne hinreichende Datenlage definiert werden (z. B. via cut-offs). Dazu wurden erste, teils vielversprechende Ergebnisse zur Verwendung des „Grades der Gewissheit“ (GdG) vorgestellt jedoch noch nicht veröffentlicht. Eine weitere Bewertung kann deshalb erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

4.9 Wo liegen Ungewissheiten bei der Methodenentwicklung im Einzelnen und generell und wie wird damit im weiteren Verfahren umgegangen?

Bei der Bewertung der rvSU-Kriterien werden **Ungewissheiten** kenntlich gemacht und systematisch dokumentiert (BGE, 2023). Die Darlegung der **Kenntnisstände**, die den **Einzelbewertungen** gebietsspezifisch zugrunde liegen, ist wichtig, um die aus den Bewertungen resultierenden Entscheidungen begründen zu können. Als wichtiger Bestandteil hinsichtlich der Bewertung von und des Umgangs mit Ungewissheiten werden die Erkenntnisse aus den Arbeiten im Rahmen des Forschungsprojekts „Ungewissheiten und Robustheit mit Blick auf die Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle“ (URS) in die Umsetzung einbezogen (BGE, 2023).

- Bei der erneuten Anwendung der geoWK wird der aktuelle Kenntnisstand bewertet (Relevanzaspekt, RA2), der maßgeblich von der Verfügbarkeit von lokalen Daten und der Kenntnis des Gebietes bestimmt wird. Dies erlaubt eine Einschätzung der bestehenden Ungewissheiten im jeweiligen Gebiet und der Ableitung des notwendigen Erkundungsbedarfes innerhalb einer Standortregion.

- Sind die Ungewissheiten zu hoch aufgrund von fehlenden Daten und Kenntnissen, kann ein Gebiet auch als „Gebiet ohne hinreichende Datenlage“ definiert werden. Diese Gebiete sollen in Zukunft jeweils spezielle Empfehlungen zur weiteren Bearbeitung bekommen, die jedoch noch nicht verfügbar sind. Deshalb müssen weitere Publikationen der BGE abgewartet werden.

- Im Speziellen werden Ungewissheiten beim Transport von Radionukliden im rvSU-Prüfschritt 3 in den Modellierungen berücksichtigt (wird nicht im WG Kristallin verwendet).

- In Zukunft ist geplant, das Kriterium „Grad der Gewissheit“ (GdG) einzuführen. Details dazu sind noch nicht veröffentlicht.

4.10 Wie werden Ungewissheiten in den verschiedenen Arbeitsschritten berücksichtigt und durch die einzelnen Arbeitsschritte hindurch in der rvSU nachverfolgt? Wie werden sie kategorisiert und qualitativ oder quantitativ erfasst?

Eine systematische **Dokumentation** der **Ungewissheiten** ist vorgesehen (siehe auch oben).

- Der „Grad der Gewissheit“ (GdG) soll die Datenlage, sprich Quantität und Qualität semi-quantitativ erfassen. Weitere, detaillierte Vorgehensweisen sind noch nicht ersichtlich im gegenwärtigen Arbeitsstand.
- Eine solche systematische und semi-quantitative Bewertung der Ungewissheiten wird von den NBG-Sachverständigen als wichtige Komponente angesehen, um Vergleiche innerhalb von Wirtsgesteinen und zwischen Wirtsgesteinen zu vereinfachen und transparent darstellen zu können.

4.11 Durch die Benennung von vorläufigen Kategorie A Gebieten werden Rücksprünge ermöglicht. Wie sollen solche Rücksprünge innerhalb der rvSU gehandhabt werden?

Potenzielle Gebiete der Kategorie A ergeben sich aus der Fokussierung auf die vielversprechendsten Bereiche eines UR (BGE, 2023, Blatt 39 ff). Für ihre Definition wird einzig die natürlich vorkommende Variabilität geologischer Eigenschaften innerhalb eines UR ausgenutzt, um diejenigen Gebiete zu identifizieren, die für die Endlagerung günstigste Eigenschaften aufweisen und unter Sicherheitsaspekten nicht weiter verkleinert werden können. Im sicherheitsgerichteten Diskurs (Prüfschritt 4), der in die beiden Teilprüfschritte 4a (Einengung zu potenziellen Kategorie A-Gebieten) und 4b (Bewertung der potenziellen Kategorie A-Gebiete) unterteilt ist, werden die nach Prüfschritt 3 verbliebenen Gebiete untersucht, um sie in die Kategorien B oder A einzustufen. Gebiete der **Kategorie A** stellen die unter den im Rahmen der **rvSU** zu prüfenden **Sicherheitsaspekten** die **günstigsten Gebiete** dar. Die Gebiete innerhalb eines UR, die im Teilprüfschritt 4a als vergleichsweise weniger vielversprechend identifiziert wurden, werden in Kategorie B eingestuft. Dieses Vorgehen, nämlich die Einstufung eines potenziellen Kategorie A-Gebiets in die Kategorie B nach Durchführung des Prüfschritts 4a, stellt an sich keinen Rücksprung im Verfahren dar, sondern dient der **Konzentration auf die bestgeeigneten Gebiete** im rvSU-Prozess. Man könnte diesen Punkt im Verfahren allerdings doch auch als Iteration ansehen, sprich durch eine erneute Betrachtung kann dadurch eine weitere Einengung erzielt werden. Letztendlich sind solche Iterationen wichtig zum Vergleich der Gebiete und zur weiteren Einengung. Moderne Arbeitsabläufe würden deshalb heute von Iterationen, teils agilem Vorgehen sprechen.

- Für ein betrachtetes Gebiet als relevant erachtete rvSU-Kriterien werden gebietsspezifische Entscheidungsschwellen („Cut-Offs“) erarbeitet. Bei deren Definition sind Spannbreiten und die räumliche Verteilung der Eigenschaften entscheidend. Entscheidungsschwellen können sowohl qualitativen (homogene Gesteinseigenschaften, günstiger Konfiguration der Wirtsgesteinsformation) als auch quantitativen (günstige Tiefenbereiche, bestgeeignet hinsichtlich des Massen- und Stoffmengenaustrags) Charakter haben (BGE 2023, Blätter 40ff.). Dabei können auch Sicherheitsreserven von betrachteten Kriterien eine Rolle spielen.

- Anhand der rvSU-Kriterien für Prüfschritt 4 aus den wirtsgesteinsspezifischen Kriterienkatalogen findet eine systematische Bewertung der zuvor in Teilprüfschritt 4a ermittelten potenziellen Kategorie A-Gebiete statt. Anhand dieser Bewertungen wird ein betrachtetes Gebiet entweder in Kategorie A oder in Kategorie B eingestuft (BGE, 2023, Blatt 43). Die Verwendung von Prüfschritt 4a und 4b erlaubt ein iteratives Vorgehen der Evaluierung, sprich auch Rücksprünge durch erneute Bewertung von Kriterien aus dem wirtsgesteinsspezifischen Kriterienkatalog.

Eine weitere Bewertung muss die Veröffentlichung des wirtsgesteinsspezifischen Kriterienkatalogs abwarten, der zurzeit noch keine Details, insbesondere für den Prüfschritt 4, erkennen lässt.

4.12 Wie ist die Umsetzung der rvSU nach Abschluss der Methodenentwicklung geplant? Wird dies vollständig in Eigenleistung oder durch externe Dienstleister erbracht?

Nach Aussage der Bearbeitenden bei der **BGE** ist beabsichtigt, die **Umsetzung** der **rvSU** nach dem Abschluss der Methodenentwicklung in den eigenen Händen zu halten. Einzelne Arbeitsschritte, wie zum Beispiel die Erstellung von Geosynthesen, 3D-Modellen oder die Erstellung von Störungskarten können extern vergeben werden. Die Bildung von Bearbeitungschargen für die Prüfschritte der rvSU und sich hieraus ergebende Bewertungen werden jedoch komplett innerhalb der BGE erarbeitet und erstellt werden.

Ein anderes Beispiel sind die Arbeiten zum GdG, die großenteils durch einen externen Dienstleister durchgeführt werden. Eine klärende Antwort zu dieser Frage ist aus den vorhandenen Dokumentationen noch nicht zu entnehmen. Jedoch verwendet die BGE auch schon zum heutigen Zeitpunkt externen Dienstleister, so dass dies wahrscheinlich erscheint. Kernaufgaben sollen aber durch die BGE selbst durchgeführt werden.

4.13 Wie sollen möglicherweise notwendige iterative Arbeitsweisen in der rvSU oder ihren einzelnen Arbeitsschritten berücksichtigt werden?

Siehe hierzu oben den Text zur Frage „Wie ist die Interaktion der einzelnen Module der rvSU und was hat dies für Auswirkungen bei der Methodenentwicklung?“

4.14 Wie wird die Integration der Arbeitsabläufe zwischen den einzelnen Gruppen innerhalb der BGE gewährleistet?

Großprojekte wie die Suche nach dem Endlager für hochradioaktive Abfälle erfordern oft bereichsübergreifende Zusammenarbeit innerhalb der **Organisation** der **BGE**. Dies ist oft aufgrund von begrenzten Ressourcen und dem Fehlen von adäquaten Organisationstrukturen schwierig umzusetzen. Deshalb hat die BGE eine **interne Kommision** gegründet die integrative Fragen bearbeitet und gemeinsame Entscheidungen diesbezüglich macht (IKA oder Interne Kontinuierliche Abstimmungskommission). Diese Entwicklung ist sehr begrüßenswert.

Die Integration der Arbeitsabläufe zwischen den einzelnen Gruppen innerhalb der BGE soll vor allem durch die Konzeption **bereichsübergreifender Projekte** gelingen. Hierbei koordiniert ein Bereich oder eine Stelle das Projekt und sorgt für die Abarbeitung durch die am Projekt beteiligten Gruppen innerhalb der BGE. Dieses Vorgehen wird gegenwärtig bereits praktiziert beim Wirtsgestein Tongestein, in dem der Prüfschritt 2 mit seiner komplexen Anwendung der rvSU-Kriterien bei der Methodenentwicklung am weitesten vorangetrieben worden ist.

4.15 Wie wird der neue Workflow definiert in den einzelnen Wirtsgesteinen?

Obwohl die großen Arbeitsschritte (d. h., rvSU mit vier Prüfschritten, erneute Anwendung der geoWK, optionale Anwendung der planWK, Standortvorschlag) für alle Wirtsgesteine nahezu gleich strukturiert sind, gibt es die Möglichkeit **wirtsgesteinsspezifische Kriterienkataloge** einfließen zu lassen (BGE, 2023, Abb. 7). Dies ist von der BGE beabsichtigt. Bei den Besuchen der NBG-Sachverständigen bei der BGE wurden einige solche Kriterien angesprochen, die jedoch noch nicht vollständig durch die BGE veröffentlicht wurden (BGE, 2023, Anhang 1). Im Wirtsgestein Salz in steiler Lagerung gibt es z. B. die besondere Situation, dass die Ergebnisse und die Anwendung der Methodik aus der „Internbau-Studie“ (BGR, Abschluss 12/2023) eventuell einen Sprung von Prüfschritt 2 zu Schritt 4 und der Bestimmung von A-Gebieten (Teilprüfschritt 4b) ermöglicht, wobei Prüfschritt 3 nur verbalargumentativ behandelt wird.

4.16 Wie werden wichtige Entscheidungen zum Workflow innerhalb der BGE gehandhabt?

Die BGE hat ein **Entscheidungsregister** eingeführt, in das jetzt auch fachliche und technische Entscheidungen aufgenommen wurden. Fragen, die verschiedene Bereiche der BGE-Organisation betreffen, werden durch das IKA bearbeitet und dokumentiert.

5. Auswahl und Vergleich von Standortregionen

5.1 Was sind die ersten Ergebnisse zur angekündigten Priorisierung der Kategorie A Teilgebiete? Wie soll eine solche Priorisierung gehandhabt werden?

Direkte oder indirekte Vergleiche innerhalb eines Wirtsgesteins zwischen UR bzw. TG entfalten im Verlauf der rvSU ihre volle Relevanz erst im Prüfschritt 4, dem sicherheitsgerichteten Diskurs. Da es für den Prüfschritt 4 beim gegenwärtigen Arbeitsstand noch keine ausgearbeiteten Kriterien gibt (BGE, 2023), sind derzeit noch keine allgemeingültigen Aussagen möglich, wie solche **Priorisierungen** gehandhabt werden sollen.

- Es wäre denkbar, potenzielle Gebiete der Kategorie A direkt aufgrund der kriterienbasierten Bewertungen aus den Prüfschritten 1 bis 3 zu vergleichen und damit Priorisierungen durchzuführen. Hierbei könnten sowohl qualitative als auch quantitative Kriterien und Kenngrößen eine Rolle spielen. Da sich die Kriterien aber nicht direkt auf den Prüfschritt 4 selbst beziehen, könnte damit keine Entscheidung hinsichtlich des sicherheitsgerichteten Diskurses vorweggenommen werden.

- Innerhalb eines potenziellen Gebiets der Kategorie A wäre ein indirekter Vergleich innerhalb eines Untersuchungsraums möglich im Sinne eines „sweet spot mapping“. Dies ist ein umgangssprachlicher Ausdruck für einen Zielbereich innerhalb eines UR, der die beste Eignung für die Ausweisung eines ewG verspricht. Eine Kartierung auf „sweet spots“ könnte auf Variationen in der Mächtigkeit oder anderen Gesteinseigenschaften einer Formation eines Wirtsgesteins abzielen. Hierbei spielen seismische Daten, Bohrlochdaten oder Daten zu geologischen Störungen eine besondere Rolle.

- Alternativ könnte eine Priorisierung von potenziellen Kategorie A-Gebieten durch ein Benchmarking erreicht werden aufgrund der Festlegung von Hürden, die bei der Bewertung überwunden werden müssen. Die BGE hat nach Kenntnis der NBG-Sachverständigen hinsichtlich der Werkzeuge für eine Priorisierung derzeit keine Definition.

- Die vier Prüfschritte der rvSU sind nun besser definiert, obwohl noch lückenhaft (BGE, 2023, Blätter 23 ff). Der aufgezeigte Prozess eignet sich zur wirtsgesteinsspezifischen Verkleinerung der Gebiete und zur Priorisierung von Kategorie A-Gebieten. Dabei ist der Arbeitsablauf so gestaltet, dass mit Hilfe von Prüfschritten und der Ermöglichung von Iterationen in der Bewertung eine Einengung der Kategorie A-Gebiete durchgeführt werden soll. Dies ist als ein weiterer Schritt in die richtige Richtung zu bewerten. Eine entscheidende aber noch ausstehende Methodik ist die Ausgestaltung und Umsetzung von Prüfschritt 4. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem Vergleich innerhalb eines Wirtsgesteins. Ein Vergleich zwischen Wirtsgesteinen wird von der BGE vorerst als optional angesehen.

- Die Anwendung der rvSU Prüfschritte 1 und 2 ist anhand von einigen Teilgebieten in verschiedenen Wirtsgesteinen von der BGE vorläufig durchgeführt worden, jedoch noch nicht veröffentlicht. Diese ersten Ergebnisse werden als vielversprechend angesehen und erlauben sowohl die deutliche Verkleinerung der noch bestehenden Gebiete und auch die Fokussierung auf Kategorie A- und B-Gebiete. Die NBG-Sachverständigen begrüßen eine solche Priorität auf den schnellen Ausschluss von ungeeigneten Gebieten und der Vermeidung von unnötigen Aktivitäten, die zu einer weiteren Projektverzögerung führen würden.

5.2 Was sind die Auswirkungen auf die Auswahl der Standortregionen bzw. Unterschiede im Verfahren zwischen direktem oder indirektem Vergleich?

Der **indirekte Vergleich** innerhalb eines Wirtsgesteins von Gebieten der Kategorie A soll durch progressive Schärfung der Kriterien in der rvSU nach der Fertigstellung des sicherheitsgerichteten Diskurses erfolgen, bis keine weitere Entscheidung auf dieser Basis mehr möglich ist.

- Indirekte Vergleiche auf der Basis der geoWK nach der Beendigung der Prüfschritte innerhalb der rvSU, fußen auf dem Prinzip der sicherheitsgerichteten Gleichwertung. Im Gegensatz dazu würden planWK vorrangig der Einschränkung der Größe und der Anzahl von Standortregionen dienen.

- Über die Grenzen von Wirtsgesteinen hinweg würde Ähnliches gelten müssen, auch wenn die Kriterienkataloge zur Durchführung der rvSU zwischen den einzelnen Wirtsgesteinstypen unterschiedlich sind und solche Vergleiche behindern würden.

Direkte Vergleiche erscheinen vor allem innerhalb eines Typs von Wirtsgesteinen angeraten und möglich. Beim direkten Vergleich erfolgt die Begründung vor allem verbalargumentativ. Es existiert dabei die Möglichkeit der stärkeren Gewichtung einzelner Kriterien. Anzumerken ist, dass bei diesem Vorgehen ein objektiver Anwendungspfad fehlt. Das für den Prüfschritt 4b wahrscheinlich vorgesehene „Nachschärfen“ eröffnet bei diesem Verfahren das Risiko subjektiver Bewertungen. Hier liegt noch dringender Klärungsbedarf bei der BGE um diesem Risiko zu begegnen.

- Aus den neuen Arbeiten der BGE ist teilweise zu erkennen, wie eine weitere Einengung der Gebiete und die Reduzierung der Kategorie A-Gebiete erfolgen soll. Dabei kann optional auch die sukzessive Verschärfung der verwendeten Prüfschritt-Kriterien eingesetzt werden, z. B. durch „cut-off“ für einzelne Kriterien, falls zu viele Kategorie A Gebiete am Ende der Analyse verbleiben sollten.

- Direkte Vergleiche über die Grenzen von Wirtsgesteinen hinweg empfehlen sich erst nach Ende der Phase 3 der Standortauswahl, es wurde aber auch für eine bewusste Offenhaltung plädiert, dies ggf. auch vorher zu tun.

6. Anwendung der geoWK zur Eingrenzung der Teilgebiete

Die geoWK beinhalten 11 Kriterien mit insgesamt 40 Einzelindikatoren und sollen erneut nur auf die A-Gebiete angewendet werden. Aus der **Relevanz** der **geoWK-Kriterien** ergibt sich eine **Gewichtung**. Alle Einzelindikatoren und Wertungsgruppen werden in einer **verbalargumentativen Abwägung** zu einem **Gesamturteil** aggregiert.

Die Anwendung der geoWK ermöglicht eine Überprüfung der rvSU-Ergebnisse, basierend auf den im StandAG definierten Wertungsgruppen und den Vorgaben der EndlSiUntV und EndlSiAnfV. Während im Schritt 1 der Phase I für viele geoWK-Kriterien ein konservativer Ansatz genutzt wurde, wird nun in Schritt 2 der „Best Estimate“ Ansatz angewendet. D. h. die Bewertung soll die am wahrscheinlichsten vorliegenden geologischen Gegebenheiten widerspiegeln (BGE, 2023, Blätter 49-50, Tab. 1). Weil weiterhin nicht alle gebietsspezifischen Daten bekannt sind, müssen aber auch weiterhin Referenzdatensätze genutzt werden (BGE, 2020b).

6.1 Wie ist geplant die geoWK im Rahmen der Eingrenzung der Teilgebiete auf die Standortregionen konkret anzuwenden?

Im Anschluss an die rvSU werden (nur für A-Gebiete) alle Kriterien (11) und Indikatoren (40) bewertet, bevor sie nach einer **Wichtung** ihrer **Relevanz** aggregiert werden. Die Relevanzaspekte sind (BGE, 2023, Blätter 51-53):

RA1: Bedeutung des Indikators für die Sicherheitsfunktionen
RA2: Aktueller Kenntnisstand zum Indikator im Kategorie A-Gebiet
RA3: Potenzial zum Erkenntnisgewinn im Kategorie A-Gebiet.

In der neuesten Veröffentlichung der BGE (2023) zur Methodenentwicklung wird klar ausgedrückt, dass es im Rahmen der Prüfschritte 4a und 4b zu einer erneuten Anwendung der geoWK auf die Gebiete kommt, die eine vorläufige Einstufung in die Kategorie A erhalten haben. Diese Einschränkung wird gemacht, weil bei den Gebieten der Kategorien D, C oder B praktisch ausgeschlossen werden kann, dass in diesen, durch die Anwendung der geoWK ein Standort mit der bestmöglichen Sicherheit dann doch festgestellt wird.

- Nach der Anwendung der rvSU Prüfschritte 1-4 werden die geoWK als (vor-)letzte Iteration im Evaluierungsprozess der Kategorie A-Gebiete eingesetzt und verbalargumentativ zusammengefasst.

- Nach jetzigem Stand soll die erneute Anwendung der geoWK nochmals vergleichbare Einschätzungen aller Kategorie A-Gebiete eines Wirtsgesteinstypes erlauben und diese verbalargumentativ dokumentieren. Im Anschluss daran erfolgt der eigentliche Vergleich von Gebieten mit dem Ziel, potenzielle Standortregionen zu ermitteln, falls notwendig auch mit Hilfe von Vergleichen zwischen den Wirtsgesteinen um die Anzahl von solchen Regionen limitieren zu können. Dabei werden auch methodische Verbesserungen bei der Anwendung der geoWK eingeführt, wie z. B. die Abkehr von einer stratigrafischen zu einer lithologischen Einschätzung - ein notwendiger und sehr sinnvoller Schritt. Dieser führt zur Reduktion der Mächtigkeiten des Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion (WbB), etwa im TG Opalinuston (BGE, 2023: S.32).

- Es ist zu bemerken, dass nicht zu erkennen ist, wie quantitative oder semi-quantitative Einschätzungen aus dem neuen Kriterienkatalog (BGE, 2023, Anhang 1) dabei benutzt werden, um eine bessere Vergleichbarkeit zu erreichen (Grötsch, 2022b). Wie schon vorher, sollen dabei die gesetzlich vorgeschriebenen 11 Kriterien mit ihren 40 Indikatoren der geoWK benutzt werden, nicht zu verwechseln mit dem neu eingeführten „rvSU-Kriterienkatalog“.

- Dabei ist geplant, dass eine „Gewichtung/Relevanz der Kriterien/Indikatoren“ der geoWK erfolgen soll, da diese je nach Wirtsgestein von unterschiedlicher Bedeutung, sprich nicht gleichwertig zu betrachten sind. Es ist ebenfalls an eine semi-quantitative Einschätzung der Kriterien/Indikatoren nach drei Relevanzfaktoren gedacht (RA 1-3, siehe oben), die Bedeutung, Kenntnisstand und möglichen Erkenntnisgewinn vergleichbar dokumentieren und aggregieren sollen. Dies und die Verwendung von quantitativen und semi-quantitativen Einschätzungen ist nachvollziehbar und als positiv zu bewerten, insbesondere in Bezug auf die Vergleichbarkeit der Gebietseinschätzungen innerhalb eines Wirtsgesteins und später möglicherweise auch zwischen verschiedenen Wirtsgesteinen.

- Als positiv ist auch zu bewerten, dass über den Parameter RA 2 der aktuelle Kenntnisstand in einem Gebiet kategorisiert wird, was eine Abschätzung der Ungewissheiten erlaubt (BGE, 2023, Blatt 52). Eine solche Einschätzung der Ungewissheiten ist von Bedeutung für die Vergleichbarkeit von potenziellen Standortregionen und deren Verlässlichkeit, aber auch für den zukünftigen Vorschlag der Datengewinnung in Standortregionen („value of information“).

- Neu ist die Verwendung des „Best-Estimate“ Ansatzes anstatt der vorherigen, konservativen Einschätzungen in Schritt 1 Phase I. Dadurch können weitere, oft offensichtlich ungeeignete Gebiete ausgeschlossen werden – eine wesentliche Verbesserung im Verfahren.

6.2 Wie sollen die offensichtlichen Überlappungen zwischen rvSU- und geoWK-Kriterien, Indikatoren und Aspekten gehandhabt werden?

- Die Überlappung von Kriterien, Indikatoren oder Aspekten in AK, MA, rvSU und geoWK ist offensichtlich und kann zu Verwirrung bei der Betrachtung des Gesamt-Workflows führen. Ein Beispiel dazu ist etwa die Verwendung der Begriffe Gesteinsdurchlässigkeit, Potenzialbringer, Gebirgsdurchlässigkeit und Abstandsgeschwindigkeit, die letztendlich alle auf die räumliche Verteilung von Permeabilität (= Durchlässigkeit) im Gestein zurückzuführen sind.

- Die Tatsache, dass die BGE im Prinzip diese Überlappung von Kriterien, Indikatoren und Aspekten benutzt, wird in den einzelnen Iterationen des Gesamt-Workflows allerdings als positiv eingeschätzt. Es ist letztendlich eine Art von mehrfacher Kontrolle im Arbeitsablauf. Insbesondere positiv ist dies, da die Vielzahl der Gebiete und Wirtsgesteine anfänglich zu unterschiedlichen Einschätzungen der verschiedenen Bearbeiter führen kann. Solche möglichen Unterschiede in der Bewertung können durch die mehrfache Anwendung und Verfeinerung der Anwendung derselben oder ähnlicher Kriterien reduziert oder eliminiert werden. Dabei hilft auch die Verwendung von (semi-)quantitativen Kriterien/Indikatoren/Aspekten.

- Die gesetzlichen Vorgaben zum „Werkzeugkasten der BGE“ (AK, MA, geoWK, rvSU, planWK) beschränken die Möglichkeiten, den Arbeitsablauf komplett neu zu strukturieren. Der jetzt vorgestellte, vorläufige Ansatz ist als ein nachvollziehbarer Kompromiss zwischen gesetzlichen Vorgaben und neuen Erkenntnissen (z. B. wirtsgesteinsspezifischer Kriterienkatalog) im lernenden Verfahren zu bewerten.
- Die Liste der rvSU-Kriterien (BGE, 2023, Anhang 1) liefert wichtige Erläuterungen zu der Frage der Überlappung mit den Kriterien der geoWK. In der Spalte „Thematischer und Regulatorischer Bezug“ werden die rvSU-Kriterien Hauptgruppen zugeordnet und die zugehörigen gesetzlichen Vorgaben des StandAG, sowie der EndlSiAnfV und der EndlSiUntV gezeigt. Die Hauptgruppen haben damit, wie oben erläutert, eine Scharnierfunktion zu den geoWK.

6.3 Welche Relevanz hat die Anwendung der geoWK im Vergleich zur Anwendung der rvSU? Tragen die geoWK signifikant zur Eingrenzung von Gebieten bei?

Bei der Anwendung der **geoWK** in Schritt 2 der Phase I wird die **geologische Gesamtsituation** in den **Kategorie A-Gebieten** erneut bewertet. Dies soll die Ergebnisse der rvSU durch die Anwendung der gesetzlich festgelegten Kriterien absichern. Dabei werden die geoWK anhand der im StandAG definierten Wertungsgruppen systematisch beurteilt und durch eine **verbalargumentative Abwägung** ein **Gesamturteil** aggregiert.

Im Anschluss daran werden die Gebiete der Kategorie A aller UR miteinander verglichen (BGE 2023, Blätter 53 ff.). Dieser übergreifende **Vergleich** wird voraussichtlich **wirtsgesteinsspezifisch** erfolgen, wobei die Möglichkeit eines **wirtsgesteinsübergreifenden** Vergleichs bewusst offengehalten wird (siehe oben). Dadurch werden die Gebiete mit der bestmöglichen Sicherheit ermittelt. Diese gelten dann als potenzielle Standortregionen. Mit diesem Schritt ist die sicherheitsgerichtete Einengung der Gebiete abgeschlossen.

Im Prinzip ist durch die **aufeinanderfolgende Anwendung** von **rvSU** und **geoWK** eine **iterative Einstufung** und gleichzeitig eine **Verschärfung** der **Auswahlkriterien** möglich. Eine Verwendung eines solchen, iterative Arbeitsansatzes ist sehr zu begrüßen, da die Einschätzung der verschiedenen Gebiete innerhalb eines Wirtsgesteins sicherlich **Lerneffekte** haben wird, die dann in der folgenden Iteration angewendet werden können (z. B. lithologische Einteilung des ewG). Ein solches Vorgehen ist als sehr positiv zu bewerten.

Die mehrfache Verwendung von Kriterien und der iterative Ansatz und möglicherweise die Verwendung von **„Best-Estimates“** und sogenannten, noch nicht vorgestellten **„cut-offs“** (BGE, 2023, Blatt 40) erlauben eine weitergehende **Eingrenzung** der **potenziellen Standortregionen**. Allerdings muss der Workflow noch im Detail durch die BGE vorgestellt werden, um konkrete Aussagen zu einzelnen Arbeitsschritten im Gesamtablauf treffen zu können.

6.4 Wie wird sichergestellt, dass der Prozess transparent und nachvollziehbar ist?

Die **Nachvollziehbarkeit** des Prozesses ergibt sich im Wesentlichen daraus, dass die erneute **Anwendung** der geoWK formell mit dem Verfahren in Schritt 1 der Phase I der Standortsuche **vergleichbar** ist (BGE, 2020a). Im Zwischenbericht TG wurden diese basierend auf den verfügbaren geologischen Daten und mit Hilfe von Referenzdatensätzen (BGE, 2020b) definiert. Der Unterschied zwischen dem damaligen und dem heutigen Kenntnisstand liegt in der mittlerweile größeren **Verfügbarkeit** und **Integration geologischer Daten**, der fortschreitenden

Methodenentwicklung und der zunehmenden Verfügbarkeit von auf die TG bezogenen Referenzdatensätzen. In Schritt 2 der Phase I stehen damit zahlreiche Ergebnisse aus den rvSU für die Anwendung der geoWK zur Verfügung. Diese werden in der erneuten Abwägung berücksichtigt (BGE, 2023, Blatt 21).

- Die Verwendung von quantitativen und semi-quantitativen Einschätzungen der gesetzlich vorgegebene Kriterien, Indikatoren und Aspekte (sprich geoWK) und des neuen wirtsgesteinsspezifischen Kriterienkatalogs der rvSU unterstützen die Transparenz der Einschätzungen von Gebieten.
- Eine mehrfache Einschätzung (d. h. iteratives Vorgehen) im Workflow bei der Einstufung der Gebiete und der potenziellen Standortregionen unterstützt die Vergleichbarkeit (z. B. rvSU Prüfschritt 4a und 4b, geoWK).
- Durch standardisierte Dokumentationen („Blaupausen“) zu allen Kriterien und Prüfschritten und der verbal-argumentative Einschätzungen in der abschließenden Verwendung der geoWK für jedes Gebiet der Kategorie A soll eine maximale Transparenz erzielt werden.

7. Entwicklung der Methodik mit Blick auf kristallines Wirtsgestein

Das Wirtsgestein **Kristallin** umfasst ein breites Spektrum verschiedener magmatischer und metamorpher Gesteinstypen, von denen viele **absehbar nicht als geeignet** für den Bau eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle in Frage kommen. Es ergeben sich in diesem Zusammenhang die folgenden, wirtsgesteinsspezifischen Fragen:

7.1 Wie weit sind im Zuge der laufenden Methodenentwicklung die Arbeiten zur Gestaltung und Dimensionierung eines Endlagers im Kristallin und des gegebenenfalls umgebenden ewG fortgeschritten? Diese Frage hat bei der Auswahl geeigneter Gesteinskomplexe bereits im Frühstadium der Anwendung der rvSU eine herausragende Wichtigkeit.

Sicherheitskonzepte hinsichtlich der Endlagerauslegung im kristallinen Wirtsgestein hängen von der Erfüllung der rvSU-Kriterien der Hauptgruppe Betriebssicherheit und technische Realisierbarkeit ab (BGE, 2023, Blatt 30). Die Bewertung der Eignung eines Gebiets hinsichtlich der **Errichtung des Endlagerbergwerks** hängt zuvorderst von der für die **technische Realisierung** erforderlichen Fläche in einem Untersuchungsraum ab. Hierzu gibt es beim gegenwärtigen Stand der Methodenentwicklung keine öffentlich zugängliche, belastbare Aussage. Diese müsste aber unbedingt vorliegen, um geeignete Wirtsgesteinskomplexe hinsichtlich Ihrer Mindestgröße ausweisen zu können.

- Nach einer sehr vorläufigen, eigenen Abschätzung wäre im Fall der Auffahrung auf einer Sohle eine Mindestfläche von 6 km^2 notwendig. Diese Mindestfläche wäre aber bestenfalls als bedingt günstig zu bewerten, da keine strukturelle Reserve enthalten ist. Eine günstige Bewertung könnte gegebenenfalls bei einer Fläche von mehr als 12 km^2 möglich sein. Jeder zusätzliche Quadratkilometer an struktureller Reserve für einen ewG auf der Endlagersohle würde die Bewertung für das Endlagerbauwerk verbessern können.

Eine strukturelle Reserve ist in der Lage, einen wichtigen Beitrag zur **Langzeitsicherheit** des Endlagerbergwerks zu leisten. Im vorliegenden Bericht der BGE (2023, Blatt 30) heißt es sinngemäß: *„Da Baumaßnahmen Rückwirkungen auf das Einschlussvermögen des Gesteins, z. B. durch die Bildung von Auflockerungszonen und Änderungen des geochemischen Milieus, oder auf die laterale Barrieremächtigkeit haben, beeinflussen sie indirekt auch die Langzeitsicherheit.*

Insbesondere in der frühen Phase des Standortauswahlverfahrens sollten die Gebiete eine möglichst hohe Flexibilität bezüglich der Auslegung und Errichtung des Endlagers zulassen. Zusätzlich ist in den rvSU auch die Kurzzeitsicherheit während des Betriebs zu bewerten.“

- Umgesetzt in die Größe eines geometrisch charakterisierbaren Körpers von kristallinem Wirtsgestein bedeutet dies: je größer der Gesteinskörper ist, desto günstiger kann seine potenzielle Eignung bewertet werden.
- Nach § 23 Abs. 5 des StandAG ist für einen ewG eine minimale Teufe von 300 m gesetzlich vorgeschrieben. Diese Festlegung ist jedoch einer Neubetrachtung würdig, denn es stellt sich die Frage nach der Permeabilität und Durchlässigkeit des Wirtsgesteinskörpers. So können ungünstige Tiefenlagen eines ewG aufgrund von Permeabilitäts-Tiefentrends vorliegen.

Für die Durchführung der rvSU im kristallinen Wirtsgestein sind die Parameter **Durchlässigkeit** und **Permeabilität** von besonderer Bedeutung. Überlegungen beziehen sich hier auf das rvSU-Kriterium „ungünstige Tiefe in kristallinen Wirtsgesteinen“ (BGE, 2023, Blatt 79), das im Rahmen des Prüfschritts 2 bewertet werden soll. Durchlässigkeit und Permeabilität werden in Kristallingesteinen neben der mineralischen Zusammensetzung und dem Gefüge vor allem von einem Faktor beeinflusst. Sie nehmen von der Erdoberfläche zur Tiefe hin generell ab. Dies ist vor allem auf die Schließung von Klüften jeder Größe und Rissen unter dem zunehmenden Druck der überlagernden Gesteine zurückzuführen. Verheilungseffekte durch Mineralisierung tun ein Übriges, die Permeabilität und Durchlässigkeit zur Tiefe hin zu verringern. Geklüftetes Gebirge ist generell um den Faktor 100 bis 1000 durchlässiger als ungeklüftetes Gebirge (z. B. Snowdon et al., 2021). Die gesetzliche MA der Durchlässigkeit nach § 23 Abs. 5 des StandAG ist in strukturell intakten, also nicht offen geklüfteten Gebirgsblöcken im Kristallin erst in Tiefen größer als 400 m bis 500 m erfüllt. Die Ergebnisse einer entsprechenden Analyse wurde von Bauer et al. (2022) publiziert und bilden bei der BGE die Grundlage einer Arbeitshypothese mit der Möglichkeit einer späteren Entscheidung hinsichtlich der Mindestteufe für einen ewG. Zur Datengrundlage siehe unter anderem auch Achtziger-Zupančič et al. (2017, 2022), ANDRA (2005), Manning & Ingebrigtsen (1999), Masset & Loew (2010), Saar & Manga (2004), Shomonov et al. (2003), Stober & Bucher (2007), Winkler & Reichl (2014).

- In erkundeten Standorten in Skandinavien (Ahlbohm et al., 1983) sind die MA nach § 23 Abs. 5 des StandAG in Gebirgstiefen von mehr als 500 m bis 600 m erfüllt. Im ebenfalls erkundeten Kristallin der Nordschweiz in der südlichen unterirdischen Fortsetzung des Schwarzwälder Kristallins sind die MA in Tiefen größer als 600 m teilweise erfüllt. Es wurden aber in Paragneisen auch stark transmissive Strukturen bis in 1.300 m Tiefe gefunden (NAGRA, 1994). Erhöhte Durchlässigkeiten im Kristallin können weiterhin unter sedimentären Bedeckungen in den obersten 400 m bis 500 m unter diesen Bedeckungen auftreten (Lachassagne et al., 2021). Dies kann der Fall sein, wo der Überdeckung durch sedimentäre Serien längere Intervalle von Verwitterung und Bodenbildung vorausgegangen sind, die eine Sekundärklüftigkeit bis in erhebliche Tiefen erzeugen kann (NAGRA, 1994). Diese Ergebnisse und die Folgerungen in Bauer et al. (2022) lassen eine Erfüllung der MA nach § 23 Abs. 5 des StandAG innerhalb der obersten 500 m ab der Kristallinoberkante (also die Erdoberfläche bei exponiertem Kristallin oder der Grenzfläche Kristallin-Sedimentüberdeckung) bei überschlägiger Abschätzung nach EndlSiUntV pauschal als potenziell ungünstig erscheinen.

Es wird hier mit Nachdruck empfohlen, im Rahmen der Methodenentwicklung zu diesen Fragen eine begründete Entscheidung herbeizuführen, um den Prozess der rvSU in den Teilgebieten mit kristallinem Wirtsgestein realitätsnah und praktikabel ins Werk setzen zu können.

7.2 Wie weit sind die Arbeiten zur Entwicklung eines Behälterkonzeptes mit seinen technischen und geotechnischen Barrieren bisher vorangekommen?

Der Arbeitsstand bei der **Methodenentwicklung** scheint gegenwärtig so zu sein, dass es noch keine ausgereiften **Konzepte** für die **Behälterentwicklung** gibt, die bei der Durchführung der rvSU in UR im kristallinen Wirtsgestein und der späteren Endlagerplanung zum Tragen kommen könnten.

Aus dem Blickwinkel der Geologie eines potenziellen Endlagers wird an dieser Stelle jedoch Folgendes angenommen. Im Fall einer möglichen Ausweisung eines ewG (Endlager Typ 1; siehe BGE, 2022b) geht ein wichtiger Teil der Wirkung des sicheren Einschlusses von diesem aus, auch wenn zum Beispiel Smektit als geotechnischer Puffer und als Versatzmaterial in den Strecken eingesetzt wird. Im Falle eines Endlagers ohne ewG (Endlager Typ 2; siehe BGE, 2022b) ist die Rückhaltewirkung allein auf die Behälter selbst, die geotechnischen Puffer und die Versatzmaterialien beschränkt.

Hinsichtlich der Behälter werden derzeit die skandinavischen Konzepte (Schweden, Finnland) studiert und untersucht. Bei einer Einigung auf die Endlagerung von ganzen Brennelementen ohne weitere Konditionierung würde die technische Realisierung auf einen Behälter nach dem finnischen Prinzip hinauslaufen.

Ein mögliches Endlagersystem des Typs 2 im kristallinen Wirtsgestein trifft beim gegenwärtigen Stand der Methodenentwicklung auf die Situation, in der Nachweise der Behälterintegrität im Falle der schwedischen und finnischen Modelle für Behälter erst für einen regulatorisch vorgeschriebenen Zeitraum von einhunderttausend Jahren erbracht worden sind (Posiva OY 2012, Posiva OY; SKB 2017). Nach §1 Abs. 2 des StandAG ist bei der rvSU aber ein Zeitraum von einer Million Jahren zu betrachten. Es wird nachdrücklich empfohlen bis zum Abschluss der Methodenentwicklung die Gewährleistung der Integrität technischer, geotechnischer und technischer Barrieren für diesen zehnmal so langen Zeitraum plausibel gemacht zu haben.

7.3 Welche Kriterien und Kenngrößen sollen bei der Abwägung der Eignung von Gesteinstypen bevorzugt Verwendung finden?

Eine wichtige Anpassung der Wirtsgesteinsdefinition **„kristallines Wirtsgestein“ von einer tektono-stratigraphischen hin zu einer petrographischen Betrachtungsweise** ist mittlerweile im Zuge der Methodenentwicklung vorgenommen worden. Im Lichte des nun veröffentlichten Katalogs der rvSU-Kriterien (BGE, 2023) lässt sich Folgendes zusammenfassend sagen.

Geeignete kristalline Wirtsgesteine sollten mineralogisch und strukturell homogen, möglichst isotrop, und reproduzierbar geometrisch charakterisierbar sein. Dies lässt als geeignetes, günstig bewertbares Wirtsgestein eigentlich nur geologische Körper magmatischer Tiefengesteine übrig. Im Fall der sieben Teilgebiete im Kristallin in der Bundesrepublik Deutschland sind dies vor allem Granite oder Granodiorite. Im Gegensatz dazu wären Paragneise, Diatexite und Migmatite wegen ihrer Inhomogenität auf vielen Skalen und ihrer komplexen Internstruktur als schlecht geometrisch charakterisierbar und deswegen eher als ungünstig zu bewerten. Grundlage einer Bewertung ist hier das rvSU-Kriterium kristalline Wirtsgesteinskomplexe mit unzuverlässiger Vorhersagbarkeit ihrer Eigenschaften (BGE, 2023, Blatt 79).

7.4 Wie soll die Bewertung des Ausmaßes tektonischer Überprägung im Zuge der rvSU konkret gehandhabt werden? Welche quantitativen Verfahren kommen zur Anwendung?

Der wesentlichste, für Durchlässigkeit und Permeabilität kontrollierende Faktor im Kristallin, ist die **Auflockerung** des **Gesteinsverbands** durch **bruchhafte Gesteinsdeformation** in und um **tektonische Störungszonen**. Dieses Thema wird von der BGE derzeit bearbeitet (BGE 2022a,b; BGE 2023), um eine Arbeitshypothese bezüglich des Mindestabstands zwischen einer regionalen bzw. einer überregionalen Störungszone und einem ewG abzuleiten.

Das Ausmaß der Zerbrechung und Auflockerung des Gesteinsverbands und damit der Erhöhung von Durchlässigkeit und Permeabiltät ist stark von der Entfernung zu der tektonischen Störung abhängig (e.g. Mitchell & Faulkner, 2012; Bense et al., 2013; Caine et al., 1996). Dies wiederum hat Einfluss auf die Transport- und Rückhaltefähigkeiten von Radionukliden im kristallinen Wirtsgestein (e.g. Maes et al., 2021). Auch der Betrag der Bewegung an der Verwerfung beeinflusst das Maß der Zerbrechung und Auflockerung (Mitchell & Faulkner, 2012), so dass bei der Dimensionierung und Bewertung der Bereiche, in denen durch tektonische Überprägung bedingt die Einhaltung der MA unwahrscheinlich ist, eine Reihe von quantitativen Kriterien zur Verfügung stehen würden. Störungssysteme lassen sich anhand der Ergebnisse der geologischen Landesaufnahme recht zuverlässig kartieren und anhand von geophysikalischen Tiefensondierungen und Bohrungen ist auch eine Beschreibung der Orientierung zur Tiefe hin möglich. Auch Rekonstruktionen der Bewegungsbeträge sind aus dem geologischen Befund häufig möglich. Die Bildung und Erhaltung von Auflockerungszonen ist nicht a priori davon abhängig ob die Störungszone seismisch aktiv ist oder nicht, denn die Ergebnisse bruchhafter Deformation können sehr lange nach der Verwerfungsaktivität erhalten bleiben (e.g. Cochran et al., 2009). Im ungünstigsten Fall können diese dauerhaft erhalten bleiben oder in ihren hydrogeologischen Eigenschaften durch Lösungsprozesse negativ verändert werden.

Für die Bewertung tektonischer Überprägung bietet sich zunächst an, tektonische Großräume auszuweisen, in denen die bruchhafte Deformation so intensiv ist, dass das Potenzial für die Darstellung eines ausreichend großen ewG nicht als gegeben angesehen werden kann. Greifen würde hier das rvSU-Kriterium „ungünstige tektonische Gesamtsituation“ (Anwendung in Tongestein, Steinsalz in stratiformer Lagerung und kristallinem Wirtsgestein; BGE, 2023, Blatt 78), das im Prüfschritt 2 zu bewerten ist. Wo die Analyse und Bewertung einzelner regionaler oder überregionaler Störungszonen angezeigt ist, wären Architektur und Versatzbeträge ausschlaggebend. Hierbei könnte man schematische Vereinfachungen anwenden, die auf Parametern wie Länge und Versatzbetrag einer Störungszone fußen.

8. Entwicklung der Methodik mit Blick auf Tongestein

Das **Wirtsgestein Tongestein** hat ein breites Spektrum von verschiedenen Formationen, die vom Jura bis ins Tertiär reichen und u. a. durch unterschiedliche **geomechanische Eigenschaften** und durch eine heterogene Datenlage charakterisiert sind:

8.1 Wie sollen die in Betracht zu ziehenden acht Formationen mit Wirtsgestein Tongestein gegeneinander abgewogen werden?

Im Augenblick liegt der Fokus der BGE auf der Durchführung der rvSU-Prüfschritte 1 und 2, sprich der Ermittlung von Kategorie D und C Gebieten. Ein solcher, baldmöglicher Ausschluss von diesen Gebieten wird sehr begrüßt, auch um die Aufmerksamkeit in Richtung Kategorie A- und B-Gebiete richten zu können, also der Ermittlung der bestmöglichen potenziellen Standortregionen.

- Die BGE hat begonnen die in den Teilgebieten definierten Sequenzen der Unterkreide zu analysieren. Dabei handelt es sich um mehrere, sich überlagernde und gut geeignete, tonreiche Sedimentpakete.
- Evaluationen im TG Opalinuston, dem TG Lias (Unter-Jura) und dem TG Untere Meeresmolasse sind bereits weiter fortgeschritten, wobei abzusehen ist, dass große Teile innerhalb dieser Teilgebiete mit Hilfe des neuen Workflows in einer verständlichen Weise ausgeschlossen werden können.

Die Einschätzungen finden meist unter Verwendung von durch die von den SGD angelieferten 3D-Modellen statt, die durch die BGE nach den Notwendigkeiten der Endlagersuche angepasst werden. Weitergehende Resultate dazu sind noch nicht veröffentlicht. In Zukunft wäre ein Zugang zu solchen Modellen und den darin verarbeiteten Daten wünschenswert, ähnlich wie dies inzwischen gängige Praxis in den Niederlanden ist (siehe TNO, NLOG Portal).

8.2 Welche Kriterien sollen dazu bevorzugt Verwendung finden und gibt es Beispiele?

Im Augenblick liegt der Fokus der BGE auf den rvSU-Prüfschritten 1 und 2. Dazu sollen u. a. Kriterien berücksichtigt werden, die in den MA und AK definiert sind, z. B. geeignete **lithologische Mächtigkeiten** der Tonabfolgen etc. (BGE, 2023, Anhang 1).

- Beispiel Lias (Unter-Jura): Aufgrund des hohen Gehaltes an organischem Kohlenstoff (C_{org}) soll dieser Teil der Tonsteinmächtigkeit („Posidonienschiefer“) ausgeschlossen werden, aufgrund der möglichen Mobilisierung von Kohlenwasserstoffen bei höheren Temperaturen (>70°C), wie sie etwa bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle entstehen können. Eine daraus resultierende Migration von zuerst Öl führt zur Veränderung der Gesteinseigenschaften, etwa zum Auftreten von Mikrorissen, die sich negativ auf die Sicherheitsfunktion des ewG auswirken können, sprich die Rückhaltung von Radionukliden im Endlager. Die Ausgrenzung solcher Bereiche des WbB ist notwendig.

rvSU-Prüfschritte 3 und 4 sind bis dato nur kurz angesprochen aufgrund des gegenwärtigen Arbeitsstandes. Jedoch gibt es zum Prüfschritt 3 BGE-intern schon quantitative 1D-Modelle zur **Diffusion** von **Radionukliden** im Teilgebiet Opalinuston.

Kriterien, die zur Anwendung kommen sollen bei der vergleichenden Bewertung der acht Tonstein-Formationen sind unter anderen:

a) Over-consolidation ratio (OCR) und pre-consolidation pressure points (=Druck, an dem Tonstein von der elastischen zur inelastischen Domäne übergeht)
b) Festigkeit (Geomechanik)
c) $CaCO_3$-Gehalt
d) Advektiver Transport aufgrund von Faziesverteilung (sprich Sandkörper in Ton)

Sandkörper im Ton können dabei durch verschiedene Prozesse entstehen, z. B. durch Küstensande (shoreface sands), Deltaschüttungen von Flüssen, marine Flachwasserturbidite, Sandablagerungen die durch ehemalige Niedrigstände des Meeresspiegels entstehen (lowstand wedges, z. B. Unteres Apt, Oberes Alb; Grötsch et al., 1993; Maurer et al, 2012) oder aber auch durch in die Tonformationen eingeschnittene fossile Täler (incised valley fills). Diese Möglichkeiten, oder einige davon, sind in allen, in Betracht gezogenen marinen Tonstein-Formationen zu erwarten. Sie

sind aufgrund eines möglichen advektiven Transports von Radionukliden von Bedeutung, jedoch oft nicht einfach erkennbar, insbesondere bei schlechter Datenlage.

Weitere Details sind in den folgenden Veröffentlichungen der BGE geplant, weshalb dazu im Augenblick keine weitere Aussage gemacht werden kann. Bis dato ist der geplante Ansatz als positiv zu bewerten.

Insgesamt gesehen sollte der neue Kriterienkatalog für die vier Prüfschritte der rvSU eine bessere wirtsgesteinsspezifische Einschätzung der Gebiete erlauben, da die unterschiedlichen Wirtsgesteine sehr verschiedene Eigenschaften aufweisen.

8.3 Welche Erkenntnisse sind aus der bisherigen Erstellung von 3D-Modellen im Wirtsgestein Tongestein gewonnen worden?

3D-Modelle sind notwendige **Voraussetzungen** für die weitere **Kategorisierung** der Gebiete im Wirtsgestein Tongestein und für die Ausführung des nun vorgestellten Workflows in allen Teilgebieten (BGE, 2023). Dies gilt insbesondere für Bereiche in den zu untersuchenden Gebieten, in denen keine Bohrdaten zur Verfügung stehen.

Die Erstellung solcher Modelle, auch wenn Sie in Teilen von den SGD angeliefert wurden, ist sehr zeitaufwendig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die von den SGD zur Verfügung gestellten 3D-Modelle den Bedürfnissen der BGE angepasst werden müssen (z. B. TUNB-Modell, Tiefer Untergrund Norddeutsches Becken). Darüber hinaus ist eine Qualitätskontrolle aller Daten notwendig (z. B. Bohrlochmessungen, lithologische Interpretation, Störungsinterpretationen, Kartenerstellung). Dennoch ist festzustellen, dass sich dieser Aufwand als sehr lohnenswert erwiesen hat (z. B. Opalinuston, Unterkreide) und weiterverfolgt werden muss.

Ein früher Ausschluss von Kategorie D- und C-Gebieten ist auch wünschenswert in Hinsicht auf das Wegfallen der Notwendigkeit zeitaufwendige 3D-Modelle erstellen zu müssen. Eine solche Vorgehensweise wird befürwortet und als sehr sinnvoll betrachtet.

8.4 Wie werden regionale Beckenentwicklungen in den acht Formationen im Wirtsgestein Tongestein analysiert? Wie fließen solche regionalen Erkenntnisse in die rvSU ein? Gibt es dazu in den einzelnen Sedimentbecken „sweet spots“ für eine Endlagerung?

Regionalgeologische Informationen werden von der BGE über interne und externe Studien für die acht Tongestein-Formationen sukzessive in 3-D Modellen zusammengefasst. Gute Fortschritte sind dabei in den Teilgebieten Lias (Unterjura), dem Opalinuston (Mittlerer Jura), der Unterkreide und in der Unteren Meeresmolasse (Tertiär) deutlich ersichtlich.

„Sweets spots“ für die Endlagerung im Wirtsgestein Ton sollen in den verschiedenen sedimentären Becken in Jura, Kreide und Tertiär analysiert werden. Dazu sind jedoch 3D-Modelle und dazugehörige Daten eine Voraussetzung. Deshalb wird eine solche Identifikation von günstigen, tonreichen (oder sandarmen) Gebieten in den jeweiligen Teilgebieten (= lithologischen Einheiten) noch weiterer Arbeit bedürfen. Resultate werden deshalb erst zu einem späteren Zeitpunkt im Projekt erwartet.

Die BGE ist beteiligt an regionalen Projektstudien, etwa zusammen mit der BGR zum Opalinuston (BGR SEPIA Projekt: BGR - Projekte - Sequenzstratigraphie des Aalenium in Süddeutschland). Solche oder ähnliche regionalgeologischen Studien zu den Tongesteinsbecken werden als Voraussetzung für die weitere Evaluierung und Eingrenzung der Tongesteins-Gebiete erachtet.

9. Entwicklung der Methodik mit Blick auf Salz in steiler Lagerung

Die BGE erläuterte, dass aufgrund der sehr unterschiedlichen Datenlage bei den TG die Methodenentwicklung nicht notwendigerweise an den früher identifizierten Gebieten zur Methodenentwicklung (GzME) durchgeführt werden muss, sondern dass auch andere TG desselben Wirtsgesteins hierfür genutzt werden können. D. h. das **Konzept der GzME wird von der BGE nicht weiterverfolgt.**

Momentan werden für alle TG die existierenden Daten und Informationen via SGD abgefragt. Beim Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung ist die **Datenlage (GzME TG_Bahlburg) deutlich schlechter** als ursprünglich angenommen.

Zur Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteins Steinsalz nimmt die BGE wie folgt Stellung: *„Die Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteins Steinsalz ist generell gering. Gebirgsdurchlässigkeit ist kein relevantes Kriterium“* (BGE, 2023, Blatt 25, Abb. 5).

Hierzu wird wie folgt Stellung genommen:

1. Diese Annahme der BGE ist nur korrekt bei ungestörter Lagerung des Wirtsgesteins Salz.
2. Aus der Kali & Salz-Industrie ist allerdings bekannt, dass viele zur Salzförderung entwickelte Salzstöcke Wassereinbrüche erlitten oder weiterhin haben. Ein Beispiel unter vielen ist die Asse. Solche Wassereintritte konnten meist nicht durch seismische Daten vorhergesagt werden, sondern werden erst bei Bohrungen oder im Bergwerk selbst erkannt. Auch in der Öl- & Gasindustrie wurden im Niedersächsischen Becken und den angrenzenden Niederlanden wiederholt unter Überdruck stehende Wassereinbrüche („kicks“) bei Bohrungen dokumentiert. Dies weist darauf hin, dass sich prinzipiell (größere) Mengen an Wasser, Öl oder Gas im Salz befinden können, dies gilt insbesondere für „Salz in steiler Lagerung“.

Nach der **Meinung** der **NBG-Sachverständigen** ist demnach die **BGE-Annahme** einer **generellen Dichtheit von Salz nur für ungestörte Lagerung zutreffend**. Die Aussage, dass eine ungestörte Lagerung (vor allem in Salz in steiler Lagerung) in einem TG vorliegt, ist allerdings ohne Bohrungen oder besser noch unterirdische Erkundung (Phase III des Standortauswahlverfahrens) nicht nachweisbar.

9.1 Welche Auswirkungen hat dies auf das weitere Vorgehen und wie ist es geplant die Methodenentwicklung trotz dieses Problems voranzutreiben?

Die BGE nutzt nun auch **Daten** und **Informationen** aus anderen TG, z. B. TG_Wahn und TG_Lathen anstatt TG_Bahlburg, um die Methodenentwicklung (Prüfschritte 1 bis 4) zur Identifizierung von D-, C-, B- und A-Gebieten voranzutreiben. Dieses Vorgehen erscheint sinnvoll und fachlich gerechtfertigt.

Momentan sind für das Wirtsgestein Salz in steiler Lagerung die Prüfschritte 1 und 2 in der Durchführung. Prüfschritte 3 und 4 sind für dieses Wirtsgestein für März 2025 vorgesehen. Siehe aber auch Kommentare zur „Internbau-Studie“ der BGR.

9.2 Welche konkrete Strategie verfolgt die BGE um bisher noch nicht genutzte Daten (z. B. bei weiteren Firmen) zu akquirieren und zu analysieren.

Die BGE plant nur für identifizierte **A-Gebiete** weitere **Daten** zu **akquirieren**, um unnötigen Arbeitsaufwand zu vermeiden.

9.3 Die BGE plant die Methodik, insbesondere den Umgang mit dem sicherheitsgerichteten Diskurs zur Identifizierung der A-Gebiete vorzustellen. Wann fließen die Ergebnisse der Internbau-Studie der BGR in die Methodenentwicklung ein, erst nach Abschluss des Internbau-Studien-Projekts 12/2023 oder bereits vorher?

Im Rahmen des Projekts **„Internbau-Studie“** entwickelt die BGR für die BGE eine Methode zur Abschätzung der Komplexität der internen Struktur von Salzstöcken (Wirtsgestein Salz in steiler Lagerung). Eine erste, vorläufige Version der Methode wird momentan von der BGE an den 60 TG getestet.

Hierzu werden Proxys zur Beckenlage, Geometrie und Entwicklung von Salzstöcken zu einer Prognose über den Internbau genutzt. Dieses Vorgehen wird dann an einigen Salzstöcken, die **alle keine TG** sind, und welche durch Bohrungen und Bergbau gut erkundet sind, validiert. Nach Wichtung der so bestimmten Proxys ergibt sich eine Kennzahl für jedes TG.

Dieses Vorgehen wird durch die Einbeziehung weiterer Informationen (z. B. Seismik, Bohrungen, Gravimetrie) in den jeweiligen Salzstöcken überprüft.

Momentan testet die BGE die von der BGR bisher entwickelte Methode an den 60 TG. Die abschließende Entwicklung der Methode wird voraussichtlich Ende 2023 vorliegen und soll dann auf alle TG des Wirtsgesteins Salz steil angewendet werden.

10. Entwicklung der Methodik mit Blick auf Salz in flacher Lagerung

Das **Wirtsgestein Steinsalz in flacher Lagerung** hat den Vorteil einer vergleichsweise **umfangreichen** und **guten Datenlage**:

10.1 Wurde die Übertragbarkeit bzw. Anwendbarkeit der entwickelten Methoden auf andere Wirtsgesteine geprüft?

Laut BGE arbeiten die **Gruppen „Salz in flacher Lagerung“ und „Tongestein“ eng zusammen**, weil es sich in beiden Fällen um Sedimentgesteine handelt und die jeweilige Methodenentwicklung voneinander profitieren sollte. Zur Übertragbarkeit oder Anwendbarkeit der im Wirtsgestein Salz in flacher Lagerung gemachten Fortschritte konnten jedoch keine Dokumente im ELO eingesehen werden.

Zum genauen Fortschritt der Arbeiten in den 14 TG des Wirtsgesteins Salz in flacher Lagerung können keine konkreten Angaben gemacht werden. Einige UR aus dem TG Thüringer Becken werden im Rahmen von Kategorie C-Berichten momentan im ELO dokumentiert. Nach Information der BGE sind die Prüfschritte 1 und 2 in diesem TG bereits weit fortgeschritten und werden aktuell auch in den anderen TG des Wirtsgesteins durchgeführt.

11. Fazit zum aktuellen Stand der Methodenentwicklung

Der neu veröffentlichte Bericht zum Thema „Vorgehen zur Ermittlung von Standortregionen aus den Teilgebieten“ (BGE, 2023) erlaubt, die von der BGE gemachten Fortschritte bezüglich des Gesamtarbeitsablaufes besser zu erkennen.

Es muss aber hier auch festgehalten werden, dass es sich wieder um einen Arbeitsstand handelt und die weitere Entwicklung der Methode notwendig ist, mit dem Ziel eine transparente und vergleichbare Einschätzung der potenziellen Standortregionen zu ermöglichen.

Dies wurde bei den Treffen der NBG-Sachverständigen durch die BGE auch so bekräftigt. Nichtsdestotrotz kann hier festgehalten werden, dass die **BGE** weitere **Fortschritte** hin zu diesem Ziel gemacht hat und dass einige **Arbeitsschritte** im **Gesamtarbeitsablauf** jetzt besser definiert sind.

Die BGE hat inzwischen insbesondere bei der Definition der rvSU-Prüfschritte 1 und 2 und deren Verwendung zum weiteren Eingrenzen der Flächen in den TG gute Fortschritte erzielt. Auch der gesamte Ablauf des Prozesses mit den vier Prüfschritten der rvSU, der erneuten Anwendung der geoWK, die optionale Verwendung der planWK und die Behandlung von Gebieten ohne hinreichende Datenlage sind inzwischen deutlicher erkennbar, wenn auch nicht vollständig definiert.

Die vorhandenen Arbeitsschritte müssen jedoch erst noch systematisch angewendet werden und bis dato noch nicht definierte Arbeitsschritte müssen noch entwickelt werden (z. B. rvSU-Prüfschritte 3 und 4) und bedürfen also weiterer Arbeiten durch die BGE.

Im **Wirtsgestein Tongestein** sind inzwischen die Teilgebiete des Lias (Unterjura), des Opalinustons (Oberjura), von Teilen der Unterkreide und der Unteren Meeresmolasse (Tertiär) weiter bearbeitet worden. Diese vorläufige Anwendung dient auch der weiteren Entwicklung der letztendlichen Methode. Die bis dato einsehbaren Ergebnisse sind vielversprechend, jedoch noch nicht abschließend zu bewerten.

Im **Wirtsgestein Kristallin** gibt es gegenwärtig keine öffentlich zugängliche, belastbare Aussage zur notwendigen untertägigen Fläche eines Endlagers. Diese müsste aber unbedingt vorliegen, um geeignete Wirtsgesteinskomplexe hinsichtlich ihrer Mindestgröße ausweisen zu können. Auch Behälterkonzepte müssen noch entwickelt werden, die den regulatorischen Vorgaben der Gesetze und Verordnungen genügen.

Im Hinblick auf die nötige Mindesttiefe für einen ewG im Kristallin wird mit Nachdruck empfohlen, im Rahmen der Methodenentwicklung eine begründete Entscheidung herbeizuführen.

Die Bewertung des Ausmaßes tektonischer Überprägung im Zuge der rvSU soll anhand nun festgelegter Kriterien für das Kristallin erfolgen. Dies ist ein erheblicher Fortschritt gegenüber früheren Arbeitsständen, erfordert jedoch im Detail begründbare und transparente Vorgehensweisen.

Im **Wirtsgestein Salz in steiler Lagerung** ist die Aufgabe des Konzepts der GzME eine Folgerung der sub-optimalen Datenlage. Eine entscheidende Rolle bei der Identifizierung von A-Gebieten kommt dem noch bis Ende 2023 laufenden Projekt „Internbau-Studie“ zu, das von der BGR für die BGE entwickelt wird. Sie soll eine Methode zur Abschätzung der Komplexität der internen Struktur von Salzstöcken (Wirtsgestein Salz in steiler Lage) liefern.

Im **Wirtsgestein Salz in flacher Lagerung** werden aktuell im ELO die Kategorie C-Berichte der UR im TG Thüringer Becken erstellt. Nach Information der BGE sind die Prüfschritte 1 und 2 in diesem TG bereits weit fortgeschritten und werden aktuell auch in den anderen TG des Wirtsgesteins durchgeführt.

Die Verwendung von übereinander gelagerten Kartendarstellungen verschiedener Kriterien zur Darstellung von Gebieten und ihrer Eignung wird sehr begrüßt. Sie erlaubt eine gute Verständlichkeit durch die vereinfachte Visualisierung einer 3D-Problemstellung in einem 2D-Kartenformat. Es sind jedoch noch keine sogenannten „sweet spots“ aus regionalgeologischen Analysen in den einzelnen Teilgebieten bekannt.

Die in früheren Gutachten mehrfach angesprochene Notwendigkeit zur **Behandlung von Ungewissheiten** im Untergrund ist inzwischen durch die BGE, teils über externe Dienstleister angegangen worden. Erste, noch nicht veröffentlichte Ergebnisse sind vielversprechend, etwa der neu entwickelte, semiquantitative Indikator „Grad der Gewissheit“ (GdG).

Die jetzt von der BGE geplante **teilweise Veröffentlichung der Arbeitsstände** wird sehr begrüßt, da es schon frühzeitig erlaubt den notwendigen Diskurs mit den teilnehmenden Parteien (z. B. BASE, SGD, NBG) im lernenden Verfahren zu führen.

Die BGE hat auch ihre **interne Organisationsstruktur** den Notwendigkeiten angepasst, um bereichsübergreifende, integrative Fragestellungen innerhalb des komplexen Endlagerprojektes bearbeiten zu können. Die Verantwortlichkeiten innerhalb der BGE wurden diesbezüglich mit Hilfe einer RACI-Matrix klar zugeordnet. Ein neuer Lenkungskreis (IKA) dient dabei zur BGE-internen Kommunikation und der Entscheidungsfindung, sowie deren Dokumentation im Falle von bereichsübergreifenden Aktivitäten. Dies erlaubt den Fokus auf Entscheidungen und verbesserte Klarheit bei diesen innerhalb der verschiedenen Bereiche. Die Erwartung ist, dass der Fortschritt im Projekt dadurch beschleunigt werden kann, die BGE-Ressourcen effektiver eingesetzt werden können, und fachliche sowie Entscheidungskompetenzen deutlich gemacht werden. Dies wird als wichtiger Fortschritt im Bereich Projektmanagement bewertet.

Die **Notwendigkeit einer weiteren Ausarbeitung der Methode** zur Bestimmung der potenziellen Standortregionen ist deutlich. Dennoch kann festgestellt werden, dass die bis jetzt verfügbaren Arbeitsschritte oder deren zwischenzeitlicher Status bereits gute Fortschritte erkennen lässt.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass große **Fortschritte erzielt** wurden, jedoch noch erhebliche, **weitere Arbeiten und Studien notwendig** sind bis zum letztendlichen **Gesamtarbeitsablauf** zur Ermittlung der potenziellen Standortregionen.

12. Empfehlungen im Rahmen des Standortauswahlverfahrens

Das **Standortauswahlverfahren** auf Basis des StandAG ist ein gutes Suchverfahren, weil es eine **Fehlerkultur** beinhaltet. Es ist explizit ein **lernendes Verfahren**, was in jeder Phase, für jeden Schritt und zu jeder Zeit genutzt werden muss. Die Art und Weise wie die Prüfschritte 1 bis 3 geplant sind scheint im Allgemeinen robust.

Der BGE Bericht zum Thema „Vorgehen zur Ermittlung von Standortregionen aus den Teilgebieten“ (BGE, 2023) erlaubt, die von der BGE gemachten Fortschritte bezüglich des Gesamtarbeitsablaufes besser zu erkennen. Es muss aber hier auch festgehalten werden, dass es sich wieder um einen **Arbeitsstand** handelt und die weitere **Entwicklung der Methode notwendig** ist, mit dem Ziel eine transparente und vergleichbare Einschätzung der potenziellen Standortregionen zu ermöglichen.

Folgende **Empfehlungen** werden gegeben zu Maßnahmen, welche die NBG-Sachverständigen als gut ansehen und die weiter verfolgt werden sollten (G1-G3) und jene, die verbesserungswürdig sind (V1-V5):

- **G1** - Die NBG-Sachverständigen unterstützen ein Vorgehen der BGE, dass darauf abzielt **schnellstmöglich ungeeignete Gebiete aus dem Verfahren auszuschließen**. Dies wird ermöglicht durch die Priorisierung der Entwicklung und Anwendung der rvSU Prüfschritte 1 und 2.

- **G2** - Die BGE arbeitet derzeit an der **Entwicklung von quantitativen und semi-quantitativen Methoden** zur Einschätzung verschiedener Kriterien in den TG. Obwohl die genaueren Details noch nicht umfänglich verfügbar sind, wird eine solches Vorgehen unterstützt, da es beiträgt die Transparenz und Vergleichbarkeit der Analysen der BGE in und zwischen den Gebieten zu verbessern.

- **G3** - Die BGE hat in ihren Arbeiten wiederholt Veränderungen in ihrer Vorgehensweise aufgezeigt (z. B. Kenngrößen). Dies zeigt die **iterative Verbesserung** von Arbeitsschritten und ist somit ein gutes Beispiel für ein lernendes Verfahren. Ein solches, iteratives Herangehen bei der Entwicklung eines neuen komplexen Arbeitsablaufes (sprich Endlagerstandortsuche) wird von den NBG-Sachverständigen unterstützt.

- **V1** - Es wird der BGE empfohlen für die verschiedenen Prüfschritte auf Basis der rvSU-Kriterien **konkrete Beispiele mit Datengrundlage zur Verfügung zu stellen**, um die Nachvollziehbarkeit der Methode zu verbessern. Konkret könnte auch über eine Form der Datenpublikationen nachgedacht werden nach dem Beispiel der Praxis in den Niederlanden.

- **V2** – Die NBG-Sachverständigen empfehlen der BGE eine gezielte **Projektstudie** zur **Gebirgsdurchlässigkeit des Wirtsgesteins Steinsalz** durchzuführen, um Daten aus dem Untergrund und von den entsprechenden Firmen (z. B. K&S, KW) zu ermitteln und zusammenzufassen, da die BGE-Annahme einer generellen Dichtheit von Salz unserer Meinng nach nicht zutreffend ist.

- **V3** - Es wird nachdrücklich empfohlen bis zum Abschluss der Methodenentwicklung die Gewährleistung der **Integrität technischer, geotechnischer und technischer Barrieren** für eine Million Jahre plausibel gemacht zu haben.

- **V4** - Die **seismische Aktivität** findet in **Prüfschritt 1** – für alle Wirtsgesteine - keine Anwendung (BGE, 2023, Blatt 71), es gibt dort nur einen Verweis auf das BMUV (2023). Hier fehlt eine Erläuterung der neuen Situation durch die BGE. Nach dem Verständnis der NBG-Sachverständigen ändert sich die Grundlage für die Einschätzung von seismischer Aktivität, das Kriterium wird aber weiterhin in Prüfschritt 1 berücksichtigt. Hier fehlt eine Erläuterung der neuen Situation durch die BGE.

- **V5** - Eine **ungünstige Geometrie des WbB** (z. B. Mindestbreite) findet für Salz in steiler Lagerung keine Anwendung (Blatt 77, Prüfschritt 2). Hier fehlt eine Erläuterung der BGE, da gerade für Salz in steiler Lagerung die laterale Dimension des Salzstocks wichtig erscheint. Das selbe gilt für die **„ungünstige tektonische Gesamtsituation des WbB“** (Blatt 78, Prüfschritt 2). Möglicherweise würde in beiden Fällen ein Verweis auf die Internbau-Studie der BGR helfen, die dieses Problem eventuell adressiert.

- **V6** - Es wird mit Nachdruck empfohlen, zur Frage der **Mindesttiefe** eines ewG im **kristallinen Wirtsgestein** eine begründete Entscheidung herbeizuführen, um den Prozess der rvSU in den entsprechenden Teilgebieten realitätsnah und praktikabel ins Werk setzen zu können.

Literaturverzeichnis

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

Achtziger-Zupančič, P., Loew, S. & Hiller, A. (2017) Factors controlling the permeability distribution in fault vein zones surrounding granitic intrusions (Ore Mountains/Germany). Journal of Geophysical Research: Solid Earth, Bd. 122, S. 1876-1899. ISSN 2169-9313. DOI: https://doi.org/10.1002/2016JB013619

Ahlbohm, K., Carlsson, L. & Olsson, O. (1983) Final deposition of spent nuclear fuel, Geological, Hydrogeological and Geophysical methods for site characterization. Swedish Geological, Sweden, 78 pp.

ANDRA (2005) Dossier 2005 Granite Synthesis - Assets of granite formations for deep geological disposal. Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs. Châtenay-Malabry Cedex, France

Bauer, M.E, Knopf, S.B., Fanara, S., Rohlfs, F., Timar-Geng, Z., Müller, K., Perner, M.J. & Klein, E. (2022) Depth dependent permeability in crystalline host rock formations. Poster, Tage der Standortauswahl 2022, Aachen, https://standorttage2022.de/wp-content/uploads/2022/06/2022-06-02TdS2022Depth-dependent-permeability-in-crystalline-host-rock-formations.pdf, downloaded 26.06.2022

Bense, V. F., Gleeson, T., Loveless, S. E., Bour, O. & Scibek, J. (2013) Fault zone hydrogeology. Earth-Science Reviews, 127, 171-192. DOI: https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.09.008

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

BGE (2021a) Gebiete zur Methodenentwicklung

BGE (2021b) Pressemitteilung – Standortsuche, 05. Juli 2021: Vier Gebiete zur Methodenentwicklung

BGE (2021c) Meldung – Standortsuche, 14. Juli 2021: Warum die BGE vier Gebiete zur Methodenentwicklung identifiziert hat

BGE (2022a) Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (Stand 28.03.2022)

BGE (2022b) Anlage zur „Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung“ (Stand 28.03.2022)

BGE (2022c) Ungewissheiten und Robustheit mit Blick auf die Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle (Stand 14.03.2022)

BGE (2023) Vorgehen zur Ermittlung von Standortregionen aus den Teilgebieten (Stand 04.10.2023)

BMUV (2023) Sachstand zum Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“ nach dem Standortauswahlgesetz (StandAG). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Bonn, AG S III 3 Bonn, 26.05.2023, 1231/003-2021.0001

Caine, J. S., Evans, J. P. & Forster, C. B. (1996) Fault zone architecture and permeability structure. Geology, 24, 1025

Cochran E.S., Li Y.G., Shearer P.M., Barbot S., Fialko Y., Vidale J.E. (2009) Seismic and geodetic evidence for extensive long-lived fault damage zones. Geology 37, 315–318

Grötsch (2022a) NBG-Gutachten Methodenentwicklung rvSU Ton (Jürgen Grötsch/05.07.2022) (nationales-begleitgremium.de), 78 S., Berlin

Grötsch (2022b) NBG-Gutachten "Referenzdatengebrauch und Workflow zum Umgang mit der heterogenen Datenlage im Wirtsgestein „Tongestein“ als Teil der rvSU (2.12.2022) (nationales-begleitgremium.de), 56 S., Berlin

Grötsch, Jürgen; Schröder, Rolf; Noe, Sibylle; Flügel, Erik (1993) Carbonate platforms as recorders of high-amplitude eustatic sea-level fluctuations; the late Albian appenninica-event. Basin Research. 5; 4, Pages: 197-212

Lachassagne, P., Dewandel, B. & Wyns, R. (2021) Hydrogeology of weathered crystalline/hard-rock aquifers - guidelines for the operational survey and management of their groundwater resources. Hydrogeology Journal, 29, 2561-2594

Maes N., Glaus M., Baeyens B., Marques Fernandes M., Churakov S., Dähn R., Grangeon S., Tournassat C., Geckeis H., Charlet L., Brandt F., Poonoosamy J., Hoving A., Havlova V., Fischer C., Scheinost A., Noseck U., Britz S., Siitari-Kauppi M., Missana T. (2021) State-of-the-Art report on the understanding of radionuclide retention and transport in clay and crystalline rocks. Final version as of 30.04.2021 of deliverable D5.1 of the HORIZON 2020 project EURAD. EC Grant agreement no: 847593

Manning, C.E., & Ingebrigtsen, S.E. (1999) Permeability of the continental crust: Implications of geothermal data and metamorphic systems, Rev. Geophys., 37, 127–150

Masset, O. & Loew, S. (2010) Hydraulic conductivity distribution in crystalline rocks, derived from inflows to tunnels and galleries in the Central Alps, Switzerland. Hydrogeology Journal (2010) 18: 863–891

Maurer, Florian; Frans S.P. van Buchem; Gregor P. Eberli; Bernard J. Pierson; Madeleine J. Raven; Poul-Henrik Larsen; Moujahed I. Al-Husseini and Benoit Vincent (2012) Late Aptian long-lived glacio-eustatic lowstand recorded on the Arabian Plate, Terra Nova, 00, S. 1-8

Mitchell, T.M. & Faulkner, D.R. (2012) Towards quantifying the matrix permeability of fault damage zones in low porosity rocks. Earth Planet. Sci. Letters, 339-340, 24-31, http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2012.05.014

NAGRA (1994) Geology and Hydrogeology of the Crystalline Basement of Northern Switzerland. Technical Report 93-01, May 1994

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

Posiva Oy; SKB (2017) Safety functions, performance targets and technical design requirements for a KBS-3V repository. Posiva Oy, Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB). Eurajoki (Finland), Stockholm (Sweden)

Saar, M.O. & Manga, M. (2004) Depth dependence of permeability in the Oregon Cascades inferred from hydrogeologic, thermal, seismic, and magmatic modeling constraints. Journal of Geophysical Research, 109, B04204, doi:10.1029/2003JB002855

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

Shmonov, V.M., Vitiovtova, V.M., Zharikov,,A.V & Grafchikov, A.A. (2003) Permeability of the continental crust: Implications of experimental data, J. Geochem. Explor., 78– 79, 697–699

Snowdon, Andrew P.; Normani, Stefano D.; Sykes, Jonathan F. (2021) Analysis of Crystalline Rock Permeability Versus Depth in a Canadian Precambrian Rock Setting. Journal of Geophysical Research, 126, 21 pp., DOI: 10.1029/2020JB020998

StandAG (2020) Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 7. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2760) geändert

Stober, I. & Bucher, K. (2007) Hydraulic properties of the crystalline basement. ,Hydrogeol. J., 15, 213–224, doi:10.1007/s10040-006-0094-4

TUNB-Modell - Tiefer Untergrund Norddeutsches Becken oder, BGR Webviewer: https://gst.bgr.de/?viewHash=tunb_grenzen

URS - Forschungsprojekt der BGE zu „Ungewissheiten und Robustheit mit Blick auf die Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle, TU Freiberg (Koordinierung) https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Forschung/20220314_Steckbrief_Forschungsvorhaben_Ungewissheiten_und_Robustheit_barrierefrei_neu.pdf

Winkler, G. & Reichl, P. (2014) Scale dependent hydraulic investigations of faulted crystalline rocks– examples from the Eastern Alps, Austria. In: Sharp, J.M. (ed.) Fractured Rock Hydrogeology, CRC Press/Balkema, Leiden, pp. 181-196