# Auftrag zur

Sichtung der Unterlagen zur Methodenentwicklung für die rvSU gem. § 14 Abs. 1 i.V.m. § 27 StandAG, des Zwischenberichts Teilgebiete und seiner untersetzenden Unterlagen (nach Bedarf)

Akteneinsicht bei der BGE für nicht frei zugängliche Unterlagen

Begleitung der öffentlichen Vorstellung und Konsultation der Methodenentwicklung zur Beantwortung folgender Fragestellungen für das GzM "Salzstock Bahlburg" (TG 035\_00TG\_057\_00IG\_S\_s\_z) im Wirtsgestein "Steinsalz (steile Lagerung)"

GzM Gebiet zur Methodenentwicklung
BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
rvSU repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchung
- weitere Abkürzungen am Ende des Gutachtens

Auftraggeber: Nationales Begleitgremium

Geschäftsstelle Buchholzweg 8 13627 Berlin

Projektnummer 153434-07

Potsdam, 1. Juli 2022

Dr. Michael Weber

# Inhaltsverzeichnis

0.	Inhaltsverzeichnis	02
1.	Vorbemerkungen	03
2.	Aufgabenstellung	03
3.	Datengrundlage und Akteneinsicht	05
4.	Festlegung der Untersuchungsräume (UR) durch die BGE	05
5.	Geologische Aspekte der Methodik der rvSU	05
6.	rvSU und Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (geoWK)	10
7.	Anteil von Referenzdaten bei der Erstellung der Geosynthesen der UR	11
8.	Begleitung und Bewertung der öffentlichen Vorstellungen	12
9.	Handlungsempfehlungen	13
10.	Literaturverzeichnis	15
11.	Abkürzungsverzeichnis	17
12.	Anhänge	18

## 1. Vorbemerkungen

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat nach § 13 Absatz 1 StandAG (StandAG\_2020) unter Anwendung der in §§ 22 bis 24 StandAG festgelegten geowissenschaftlichen Anforderungen und Kriterien Teilgebiete zu ermitteln, die günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen. Das Ergebnis ist von der BGE gemäß § 13 Absatz 2 Satz 3 StandAG in einem Zwischenbericht (ZB) am 28.9.2020 (BGE 2020) veröffentlicht worden.

Die Aufgabe der BGE ist es, nach §14, Abs. 1 i.V.m. §27 StandAG, geeignete Methoden zu entwickeln die für die repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) benötigt werden. Die entsprechenden Gesetze lauten (auszugsweise):

#### StandAG §14 (Ermittlung von Standortregionen für übertägige Erkundung)

(1) Der Vorhabenträger ermittelt aus den Teilgebieten nach § 13 Absatz 1 Standortregionen für die übertägige Erkundung. Er führt für die Teilgebiete repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen nach § 27 durch.

### StandAG §27 (Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen)

- (1) Gegenstand der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen nach § 14 Absatz 1, ... ist die Bewertung, inwieweit der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle unter Ausnutzung der geologischen Standortgegebenheiten erwartet werden kann. Dabei sind die Sicherheitsanforderungen nach § 26 zugrunde zu legen und die Anforderungen an die Durchführung der Sicherheitsuntersuchungen nach Absatz 6 einzuhalten.
- (2) In den vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Absatz 1 wird das Endlagersystem in seiner Gesamtheit betrachtet und entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich seiner Sicherheit bewertet. Dazu wird das Verhalten des Endlagersystems unter verschiedenen Belastungssituationen und unter Berücksichtigung von Datenunsicherheiten, Fehlfunktionen sowie zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten im Hinblick auf den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle untersucht. Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen bilden eine der Grundlagen für die Entscheidung, ob ein Gebiet weiter im Auswahlverfahren betrachtet wird.

# 2. Aufgabenstellung

Am 20. Januar 2022 wurde ich vom NBG beauftragt (AZ 07 124/0003#0130) zur

- Sichtung der Unterlagen zur Methodenentwicklung für die rvSU gemäß § 14 Abs.1 in Verbindung mit § 27 StandAG, des Zwischenberichts Teilgebiete und seiner untersetzenden Unterlagen (nach Bedarf)
- Akteneinsicht bei der BGE für nicht frei zugängliche Unterlagen
- Begleitung der öffentlichen Vorstellung und Konsultation der Methodenentwicklung zur Beantwortung folgender Fragestellungen für das GzM "Salzstock Bahlburg" (TG 035\_00TG\_057\_00IG\_S\_s\_z) im Wirtsgestein "Steinsalz (steile Lagerung)"

#### Fragestellungen

- 1. Festlegung der Untersuchungsräume (UR) durch BGE bzw. Aufteilung der TG in UR Anhand welcher Kriterien/Überlegungen ist die BGE zu diesen UR gekommen?
- 2. Geologische Aspekte der Methodik der rvSU: Wie geht die BGE bei der Methodenentwicklung vor?
- 3. rvSU und Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (geoWK)
  Wie stellt die BGE sicher, dass dieser Prozess transparent und nachvollziehbar ist?
  Haben die Ergebnisse der rvSU Rückkoppelungen auf die Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen?
- **4. Anteil von Referenzdaten bei der Erstellung der Geosynthesen der UR** Welche Rolle spielen Referenzdaten bei der Geosynthese?
- 5. Begleitung von Vorstellungen und Konsultationen
  - Methodenentwicklung für Steinsalz in steiler Lagerung (Bahlburg) 28. 3. 2022
  - Gesamtmethodik ("Betrifft: Standortauswahl" zur Methodenentwicklung) 29. 3. 2022
  - Anschließende Online-Konsultation der BGE zur Methodenentwicklung der rvSU
  - Diskussion der Ergebnisse der Online-Konsultation auf "Tage der Standortauswahl"
  - Was sollte die BGE berücksichtigen?

Eine rvSU besteht aus mehreren Modulen, siehe Abb. 1. Der Schwerpunkt dieses Gutachtens liegt auf der Betrachtung des Moduls 1 (Geosynthese), welches die Basis der rvSU darstellt.

BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG RUE **EndlSiUntV** §5 §6 §7 §§ 8+9+10 §11 §12 Je Untersuchungsraum §§ 22+23 StandAG Vorläufiges Umfassende Ableitung des Bewertung Sicherheitskonzept: Vorläufige Bewertung Erkundungs-System-Geosynthese Auslegung des Endlagers: des Forschungs- und Ungewissanalyse Endlager-Entwicklungs-Optimierung des heiten systems bedarfs Endlagersystems Grundlagen Nur Kategorie A rvSU - repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen EndlSiUntV - Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung 5 BETRIFFT: STANDORTAUSWAHL | S. KANITZ, L. SEIDEL StandAG - Standortauswahlgesetz

**Abb. 1:** Struktur einer rvSU. Die zugehörigen Paragraphen der EndlSiUntV sind ebenfalls gegeben. §§ 22+23 StandAG sind Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen. Die beiden letzten Module der rvSU werden nur auf TG/UR/TUR angewandt, welche in Kategorie A fallen. Kategorie A: Am besten geeignete Bereiche (Konzept zur Durchführung..., BGE\_2022k, S. 17) Quelle – BGE

## 3. Datengrundlage und Akteneinsicht

Für die Erstellung des Gutachtens wurden u. A. die in der Referenzliste genannten Unterlagen genutzt. Weiterhin wurden zwei Skype-Konferenzen durchgeführt:

- 5. April 2022 (BGE mit 6 MitarbeiterInnen)
- 13. Juni 2022 (BGE mit 7 MitarbeiterInnen Thema Asse 3D-Seismik).

Der Vorort-Besuch bei der BGE in Peine fand am 13. und 14. Mai 2022 statt (BGE mit 18 MitarbeiterInnen). Dabei wurde auch der vertrauliche Datenraum der BGE genutzt. Die Ergebnisse der Akteneinsicht und der Diskussionen sind im Folgenden zusammengefasst.

# 4. Festlegung der Untersuchungsräume (UR) durch die BGE

Anhand welcher Kriterien/Überlegungen ist die BGE zu diesen UR gekommen?

Die 60 TG Steinsalz (steile Lagerung) sind identisch mit den jeweiligen URs, es findet (momentan) keine weitere Unterteilung in Teil-UR (TUR) statt.

Der transparente, nachvollziehbare Vergleich der URs aus **verschiedenen Wirtsgesteinen** erfolgt erst in Phase II. und liegt somit momentan im Detail noch nicht vor.

### 5. Geologische Aspekte der Methodik der rvSU

Wie geht die BGE bei der Methodenentwicklung vor?

Um die Eignung eines Salzstocks als potentielles Endlager zu bestimmen, sind folgende Fragen zu beantworten:

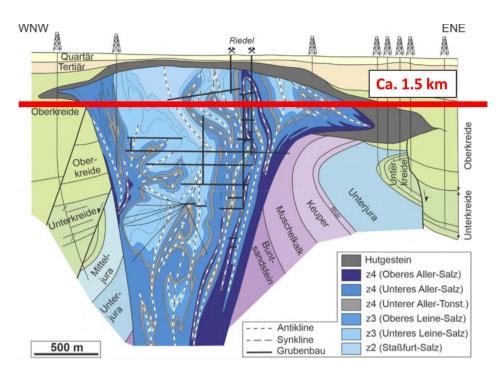
- Wie sieht der Intern-Bau eines Salzstocks aus?
- Enthält der Salzstock Störungen und/oder Einlagerungen, welche die Ausweisung eines hinreichend großen, einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) verhindern?

Das Vorgehen der BGE bei der Methodenentwicklung der rvSU wird anhand dieser Fragen exemplarisch dargestellt, ebenso die sich hieraus ergebenden zukünftigen Schritte / Empfehlungen. (siehe auch Präsentation vom 19. Juli 2022; 64. Sitzung des NBG).

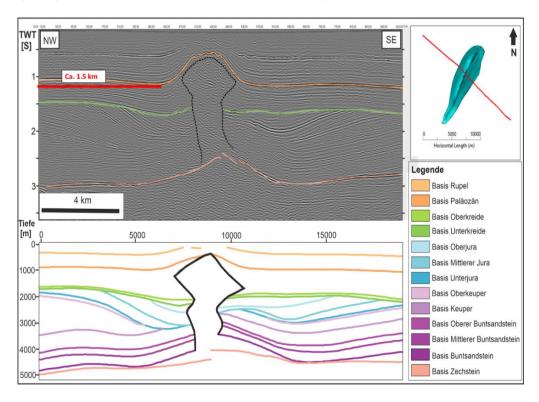
Abb. 2 zeigt einen Intern-Bau eines Salzstocks mit inhomogenen Einlagerungen unterschiedlicher Genese. Diese Informationen stammen im Wesentlichen aus der bergbaulichen Nutzung dieses Salzstocks. Die horizontale rote Line zeigt ungefähr die Tiefenlage von 1.5 km, der Maximaltiefe eines möglichen Endlagers.

Für ein potentielles Endlager ist eine frühere bergbauliche Nutzung ein Ausschlusskriterium (§22 StandAG). Deswegen müssen Informationen über den Intern-Bau eines TG über noninvasive, geophysikalische Methoden, vor allem Seismik, ermittelt werden. Dazu müssen im jetzigen Stand des Verfahrens (Phase I, Schritt 2) bereits existierende Daten aus den TG genutzt werden, da neue geophysikalische Erkundungen erst in Phase II vorgesehen sind.

Abb. 3 zeigt exemplarisch für das TG Bahlburg ein Beispiel für den heutigen Daten- / Informations-Stand, basierend auf Daten und Processing / Interpretationen aus den 1980'ern.



**Abb. 2:** Beispiel der Struktur / des Intern-Baus eines durch Bergbau gut erkundeten Salzstocks. Die ungefähre Tiefe von 1.5 km (max. Tiefe eines Endlagers) ist durch die rote Linie angezeigt. Quelle –Jackson & Hudec (2017) und BGE.



**Abb. 3: (Oben)** Stack seismischer Daten entlang eines Profils über das TG Bahlburg in two-way-time (TWT, in Sekunden). **(Unten)** Interpretation aus den 1980ern. Die ungefähre Tiefe von 1.5 km ist durch die rote Linie angezeigt. Quelle – BGE / BGR.

Abb. 3 (Oben) ist ein Stack (Summe) seismischer Reflexions-Daten als Funktion der Zeit, d.h. die vertikale Achse gibt die Laufzeit des seismischen Signals von der Oberflächenquelle zu einem Reflektor in der Tiefe und zurück zur Oberfläche (TWT in Sekunden). Die Daten wurden 1984/85 durch die KW-Industrie gewonnen. Oberhalb / innerhalb des Salzstocks (schwarze Linien/Konturen) sind Störungen im Reflexionsbild erkennbar (Abb. 3. Oben, bei ca. 0.5 und 1,2 sec).

Diese Ergebnisse sind aber (noch) nicht geeignet, eine Aussage zur möglichen Eignung / Nichteignung des TGs zu treffen. Folgende **zukünftige Bearbeitungen** solcher Zeit-Stacks sind noch durchzuführen, bevor belastbare Schlussfolgerungen zur möglichen Eignung des Salzstocks gezogen werden können:

- 1. **Fokussierung** der Untersuchungen auf die obersten 1.5 km KW-Industrie Fokus war in ca. 3 bis 5 km Tiefe
- 2. Bestimmung und Kalibrierung eines guten **Geschwindigkeitsmodells** des TG 3D Geschwindigkeits-Modelle als Grundlage für Tiefenmigration
- 3. **Tiefenmigration** der Daten zur Erstellung eines Untergrundmodels des TG Konversion von Signalen aus der Zeitdarstellung (TWT) in ihre jeweilige richtige Tiefe und (!) korrekte räumliche Lage mit state-of-the-Art Migrations-Methoden

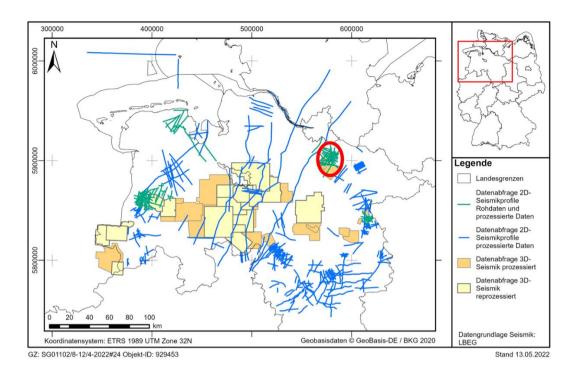
Man unterscheidet zwei Arten von Tiefenmigration, welche unterschiedliche Daten benötigen. Die Pre-Stack Migration ergibt i.d.R. bessere Abbilder.

- 1. Post-stack Migration
  Basiert auf aufsummierten Daten (Stacks), weniger Speicherplatz- + Rechenzeitbedarf
- 2. Pre-stack Migration
  Benötigt Roh-Daten (Einzelaufzeichnungen), viel Speicherplatz- + Rechenzeitbedarf

Abb. 4 ist ein Beispiel für die Aktivitäten der BGE bei der Akquise und Dokumentation von seismischen Daten der KW-Industrie via LBEG. Es handelt sich dabei um die Abfrage nach ca. 200 2D-Profilen (z.T. nur als Stacks und / oder nur in Papierform vorliegend) aus den Jahren 1964 bis 2008 und um ca. 40 Rohdaten-Sätze. Das LBEG muss diese Daten und die begleitende Dokumentation zum großen Teil erst noch von den Eignern der Daten (meist KW-Industrie oder deren Rechts-Nachfolgern) beschaffen und Kategorisierungen vornehmen. Dasselbe gilt auch für mehrere angefragte 3D-Datensätze. Für das TG Bahlburg (rote Ellipse) wurden mehrere Roh-Datensätze angefordert (Abb. 4).

Bei meinem Besuch der BGE am 13. und 14. Mai 2022 lag ein Scan eines un-migrierten Stacks aus der BGE-Datenbank vor. Hierbei handelt es sich um einen Stack von Schuss-Seismik von 1985/86, die ähnlich wie in Abb. 3. (Oben) Andeutungen von seismischer Energie innerhalb der Konturen des Salzstocks enthielt. Vor einer Interpretation ist allerdings noch eine Tiefenmigration nötig, um die Quelle dieser Energie zu bestimmen, welche auch aus den Randbereichen des Salzstocks kommen könnte.

Momentan kann davon ausgegangen werden, dass für alle 60 Salzstöcke seismische Daten existieren. Welche Daten (Roh, Stacks, prozessiert, 2D bzw. 3D) in welcher Qualität vorliegen, vor allem mit möglichst ausführlicher Dokumentation, ist momentan (Juni 2022) noch nicht abzuschätzen. Eine wichtige Aufgabe wird die standardisierte und nachvollziehbare Qualitätskontrolle und die Dokumentation der Qualitätskontrolle der gelieferten Daten sein. Für die oben genannten zukünftigen Bearbeitungen ist dies entscheidend, da z.B. die besser auflösende Pre-stack Methode Roh-Daten und eine gute Dokumentation/Meta-Daten erfordert.



**Abb. 4:** Beispiel für BGE Datenabfrage von Seismik via LBEG; für das Land Niedersachen (41 von 60 TG Salz in steiler Lagerung). Das TG Bahlburg liegt innerhalb der roten Ellipse. Quelle – BGE.

Die nächste Abbildung zeigt einige Aktivitäten der BGE, hier hauptsächlich bzgl. Seismik, welche der Bestimmung des Intern-Baus von Salzstöcken dienen.

#### Laufende BGE Aktivitäten

#### Seismische Daten

- 1. Datenabfrage bei LBEG nach KW-Daten, 5/2022, siehe Abb. 4.
- 2. Scannen und digitalisieren dieser Daten, seit 2019 2025, durch zertifizierte Dienstleister

#### Seismische Methoden

- Test/Entwicklung optimierter Workflows seismischer Methoden mit Synthetics (seit Q4/2021)
   BGE erstellt synth. Modelle, Kontraktor berechnet Synthetics und bestimmt optimales
   Processing + Auflösungsgrenzen, incl. Diffraktionen.
- Anwendung von Pre-Stack Processing auf existierenden Roh-Daten (ab Q4/2022 ?)
   Mittels 1. bzw. ersatzweise Post-Stack

#### Internbaustudie (aufbauend auf InSpEE) (ab 5/2022)

BGR: Via bekannter Genese, Morphologie, Größe, Alter des Salzstocks -> Prognose für gut erkundete Salzstöcke, Reality Check (Mengen- + Volumenabschätzungen, Verfaltungen?).

**Abb. 5:** Überblick über Aktivitäten der BGE zur Bestimmung des Intern-Baus von Salzstöcken. In Hellblau sind Projekt-/Kontraktoren-Aufträge gezeigt, in Lila, Forschungsaufträge; jeweils mit Datum der Initiierung, bzw. Laufzeit. InSpEE – Forschungsprojekt der BGR zu Salzkavernen (BGR 2016b, BGR 2020).

#### Information über Projekt- und Forschungsaufträge

Es ist meiner Ansicht nach nicht ausreichend,

"Die **Ergebnisse** aus konkret ausgeschriebenen Vorhaben auf der Internetpräsenz der BGE zu veröffentlichen" und "die Liste der Forschungsaufträge der BGE halbjährlich up-zudaten". (Antwort der BGE auf Anfrage nach dem Umweltinformationsgesetz vom 5.8.2020).

Das transparente Verfahren der Endlagersuche erfordert meiner Meinung nach, dass Projektund Forschungsaufträge **spätestens 1 Monat nach jeweiligem Abschluss des Vertrags** bei der BGE veröffentlicht werden, damit die Themen welche die BGE bearbeitet bekannt sind. Weiterhin sollten dann diese Projekte, via Akronym, bzw. über Stichworte, in der Stichwortsuche der BGE auffindbar sein.

#### Bohrdaten

Wie für die seismischen Daten erfolgt das Scannen und Aufbereiten der Bohrlochdaten nach einem ähnlich strukturierten Verfahren, bevor diese Informationen dann Eingang in die 3D-Integration finden. Für das TG Bahlburg handelt es sich z.T. um gut dokumentierte Bohrungen zurück bis zu den 1910ern (!), welche als Bohrmarker im 3D-Modell TUNB integriert sind (BGR\_2021\_TUNB, 3D Untergrundmodell Norddeutschlands). Falls sich hierbei deutliche Abweichungen zum TUNB Modell zeigen, wird im momentanen Stand des Verfahrens individuell geprüft, ob sich dadurch die Bewertung der Schichtfolgen/Interpretation ändert.

#### Einsicht in Vergabeunterlagen

Bei der Überprüfung einiger der in Abb. 5 genannten Projekte machten sowohl die Aufträge als auch die beauftragten Kontraktoren einen professionellen und korrekten Eindruck. Die Anforderungen der Ausschreibungen und Vergaben wurden im vertraulichen Datenraum der BGE überprüft. Dies betraf z.B. fachliche Kriterien, Nachweis von Zertifikaten und Personalqualifikationen mit Dokumentation bereits erfolgreich durchgeführter Projekte, vorzulegende detaillierte Bearbeitungspläne sowie Datenschutzkonzepte. Die Vergabe nach einem transparenten Punktesystem ist nachvollziehbar und inhaltlich korrekt. Die Qualifikation des Anbieters war hierbei von besonderer Bedeutung.

#### **Datenarchiv**

Die Entscheidung der BGE, ihre Daten, im Gegensatz zur BGR (Bund\_eV\_2022) und mehreren KW/Energie-Firmen, nicht in einer externen Cloud, sondern In-House zu speichern, findet in Anbetracht der Wichtigkeit und Sensitivität der Daten für die Entscheidungen in der Entwicklung eines Endlagers meine **volle Unterstützung**. Allerdings scheint mir weiterhin eine massive personelle und finanzielle Investition in Planung, Management und Betrieb eines solchen Daten-Archivs nötig.

Der Daten-Schatz, der momentan bei der BGE entsteht, ist in dieser Form und Wertigkeit einmalig und erfordert entsprechendes Commitment.

Leider bestand in Deutschland bis zum Geologiedatengesetz (GeoIDG; 2020), im Gegensatz zu Nachbarländern wie Niederlande und Norwegen, keine gesetzliche Regelung und Verpflichtung, geowissenschaftliche Daten zeitnah nach der Akquise in standardisierter Form an einer zentralen Stelle abzuliefern.

Siehe auch Gutachten Bücker "Geologiedaten" vom 22.5.2022 und Bücker (2021).

#### Empfehlungen zu geologischen Aspekten der Methodik der rvSU:

- Durchführung einer umfassenden Literaturstudie zum Intern-Bau von Salzstöcken (inkl. der Ergebnisse und Aktivitäten der Kali + Salz Firmen)
- Standardisierte und nachvollziehbare Qualitätskontrolle der gelieferten Daten und Dokumentation der Qualitätskontrolle
- Zeitnahe und auffindbare Dokumentation der Projekt- und Forschungsaufträge der BGE auf der Web-Seite
- Basierend auf der Verfügbarkeit von Daten müssen unterschiedliche Migrations-Verfahren angewendet werden.
- Insbesondere bei der Anwendung von State-of-the-Art Migrations-Methoden auf Roh-Daten besteht die Möglichkeit, dass wichtige Informationen zum Intern-Bau von Salzstöcken ableitbar sind, dies gilt analog für andere Wirtsgesteine.
- Die anschließende Kombination dieser Ergebnisse mit der Internbau-Studie der BGR (Projekt in Arbeit) stellt einen wesentlichen Schritt zur Klassifizierung des Intern-Baus von Salzstöcken ohne neue Erkundung dar (Phase I, Schritt 2).
- Meiner Einschätzung nach wird die BGE, auch nach Abschluss der Methodenentwicklung der rvSU, weiter externe Dienstleister benötigen.

## 6. rvSU und Geowissenschaftliche Abwägungskriterien (geoWK)

Schnittmengen zwischen rvSU mit, und Abhängigkeiten von, den geoWK.

Abb. 6 zeigt einen Ausschnitt einer Übersicht der komplexen Zusammenhänge / Wechselwirkungen / Schnittmengen (rote Pfeile) zwischen den verschieden Elementen der rvSU.

							<b>&gt;</b>			
sche tät										
	Grundwasser- alter						<del>2</del>			
	<b>₹</b>	Gebirgsdurch- lässigkeit					<b>₹</b>			
			Mächtigkeit des ewG					Ð		
				Minimale Teufe des ewG				₹		
					Fläche				$\hat{r}$	
	Û					Erhalt der Barrierewirkung	₽			
							Transport radio- aktiver Stoffe durch Grund- wasserbewe- gungen und Diffusion im ewG			
			Û	Û	Û	Û.		Konfiguration der Gesteinskörper		
									räumliche Charakteri- sierbarkeit	
							ÝE.			Ia Sta g Ve

**Abb. 6:** Ausschnitt aus der Darstellung möglicher Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen Ausschlusskriterien (blau, §22 StandAG), Mindestanforderungen (grün, §23 StandAG) und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK, gelb, §24 StandAG) – siehe auch Abb. A3. Quelle – Entsorgungskommission ESK (ESK\_2021a, b (Anhang 2, Matrix 1)).

Insbesondere Modul 1+2 der rvSU (Geosynthese und Vorläufiges Sicherheitskonzept, Abb. 1) sowie §§ 22 bis 24 des StandAG sind davon betroffen Eine Berücksichtigung der Schnittmengen / Abhängigkeiten zwischen rvSU mit/von den geoWK (Orange in Abb. 6) wird im weiteren Verfahren schrittweise und in ständiger Rückkopplung / Rücksprung durchgeführt werden. Wie dies von Fall zu Fall umgesetzt werden wird, lässt sich momentan und bei der Komplexität der Aufgabe noch nicht umfassend beurteilen.

#### **Unsicherheiten / Ungewissheiten**

Die entsprechenden Verfahren und Tabellen werden z.T. noch entwickelt und momentan am Opalinuston getestet. Das prinzipielle Vorgehen ist:

- 1. Modellierung / Berechnung mit "best estimates"
- 2. Mit einem "*Monte-Carlo Ansatz*" werden dann unterschiedliche Szenarien mit unterschiedlichen Parameterkombinationen durchgerechnet
- 3. Die Ergebnisse davon werden genutzt um zu prüfen, welcher Prozentsatz der Modellierungen die zuvor gesetzten Grenzkriterien verletzen

Somit soll die Fortpflanzung von Ungewissheiten in jedem Schritt der Methodenentwicklung, auch bei verschiedenen Szenarien, berücksichtigt werden. Details in BGE\_2022m (Anlage zum Konzept ...; S. 523, Abb. 190, ff. und Abb. 206 auf S. 552).

Eine wesentliche Erweiterung im weiteren Verfahren wird sein, anstatt der bisherigen 1D-Modellierungen (Modelle nur als Funktion der Tiefe), die Berechnungen (z.B. der Permeabilität) in 3D Modellen durchzuführen. Gerade bei der Permeabilität ist es entscheidend, wie diese abgeleitet/berechnet wird. Für die rvSU werden bisher nur 1D-Modelle genutzt, bei der wvSU (weiterentwickelte vorläufige Sicherheitsuntersuchung, Phase II) werden dann 3D Modelle genutzt.

Im Rahmen des **Forschungsclusters URS** ("Ungewissheiten und Robustheit mit Blick auf die Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle", BGE\_2022m, S. 617 ff) sind mehrere Forschungsprojekte zum Thema der Unsicherheiten angelaufen. Das Projekt "GeoBlocks" widmet sich hierbei insbesondere den Ungewissheiten in geologischen Modellen.

Zu Unsicherheiten siehe auch Gutachten Grötsch - "Tongestein" vom 30.6.2022

# 7. Anteil von Referenzdaten bei Erstellung der Geosynthesen der UR Welche Rolle spielen Referenzdaten bei der Geosynthese?

Momentan kann angenommen werden kann, dass für alle 60 TG (Salz steil) zumindest teilweise Geo-Daten vorliegen (hauptsächlich Seismik und Bohrdaten). Allerdings ist momentan noch nicht der Umfang und vor allem die Qualität dieser Daten abzusehen. Deswegen wird es sinnvoll sein, auch Referenzdaten zu kreieren (z.B. wie bei der Intern-Bau Studie durch die BGR, Abb. 5). Wie die (Weiter)-Entwicklung der Referenzdaten genau erfolgen wird, wird erst im Laufe der nächsten Schritte klar werden.

## 8. Begleitung und Bewertung der öffentlichen Vorstellung

#### Allgemeine Bemerkung

Nicht alle MitarbeiterInnen der BGE sind im gleichen Maße geeignet, die komplexen Sachverhalte der Endlagerung der Öffentlichkeit situationsangepasst zu präsentieren.

#### Methodenentwicklung Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung (Bahlburg) 28.3.2022 Öffentliche Vorstellung der Gesamtmethodik 29.3.2022

Bei den Präsentationen durch die BGE-MitarbeiterInnen gab es teilweise einen Info-Overload, dem nur noch ExpertInnen und Eingeweihte folgen konnten.

# Online-Konsultation der BGE zur Methodenentwicklung der rvSU bis 31.5.2022 Die entsprechende Web-Seite

#### https://www.forum-bge.de/forum-26.html

wurde zwar bei den Vorträgen genannt, war aber danach unabhängig davon nur äußerst schwer zu finden. So ergab z.B. eine Stichwortsuche nach "Online-Konsultation" über 160 Hits und die Ziel-Seite lag 5 Level unter der entsprechenden Startseite

Online-Konsultation / Typ: Seiten / 2. Seite / Mitreden erwünscht / Diskutieren im BGE-Forum

Dieses war möglicherweise auch die Ursache für die geringe Anzahl der Kommentare dort: 1 Person mit wissenschaftlichen Kommentaren.

Ohne obigen Link ist diese Seite jetzt nicht mehr zu erreichen. (Stand 24/6/2022)

**Diskussion der Ergebnisse auf den Tagen der Standortauswahl**8. bis 10.6.2022

Dass der Livestream am 10.6.2022 erst mit über 20-minütiger Verzögerung startete, hat möglicherweise zur relativ geringen Resonanz (20-40 online-TeilnehmerInnen) beigetragen.

#### Was sollte die BGE berücksichtigen?

- Verpflichtendes Medientraining für MitarbeiterInnen mit Öffentlichkeitskontakten
- Reduktion des Informationsgehaltes bei Vorträgen, angepasst an Zielgruppen
- Füllung des BGE-Stichwortverzeichnisses siehe z.B. "Online-Konsultation".
- Transparentere Struktur der Web-Seiten.
- Erleichterung des nachträglichen Auffindens von abgeschlossenen Online-Konsultationen.

## 9. Handlungsempfehlungen an BGE

#### Intern-Bau von Salzstöcken

Re-processing existierender Roh-Daten (falls vorhanden) mit unterschiedlichen
 (!) seismischen State-of-the-Art Migrations-Methoden und Fokus <1.5 km Tiefe</li>
 UND

Kombination mit der Intern-Bau-Studie der BGR (z.T. in Planung)

#### **Dokumentation und Informationspolitik**

- Zeitnahe (≤1 Monat) Doku auf BGE Web-Seiten inkl. Stichwortverzeichnis von Forschungsaufträgen und sonstigen Aufträgen (z.B. Datenaufbereitung)
- Neueste Berichte/Reports/Werke in "NEWS/Aktuelles" diese sind momentan nicht auffindbar, ohne dass die BGE Folder-Struktur durchsucht werden muss.
- Doku für jedes (!) TG: Welche Infos, Datensätze sind eingegangen / was fehlt?
- Verpflichtendes Medientraining für MitarbeiterInnen mit Öffentlichkeitskontakten
- Reduktion des Informationsgehaltes bei Vorträgen, angepasst an Zielgruppen
- Füllung des BGE-Stichwortverzeichnisses siehe z.B. URS Forschungscluster "Ungewissheiten & Robustheit mit Blick auf die Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle", ist nicht auffindbar.

#### Weitere Informationen

• Check weiterer Infos z.B. dgmk.de \*, bzw. auch bei Kali- und Salz Industrie

# Weiteres Verfahren \*\*

Wichtige, demnächst anzugehende Punkte für einen transparenten und nachvollziehbaren Standortvergleich

- Vorgehensweise bei der sicherheitsgerichteten Abwägung
- Priorisierung und Wichtung von Kriterien
- Mögliche Aggregierung von Kriterien
- Vergleich von Endlagersystemen mit unterschiedlichen Sicherheitskonzepten

DGMK 593-5: "Predicting stress re-orientations associated with major geological structures in ..."

DGMK 577-2/2: "Structure and Evolution of the Central European Basin System according to 3D Modeling."

DGMK 534: "Optimierung von Geschwindigkeitsparametern für die Zeit-/Tiefenkonversion - Untersuchungen ..."

(+ weitere vertrauliche Reports, keine Daten)

<sup>\*</sup>DGMK Publikationen (Auszug):

<sup>\*\*</sup>Reichert, B., ESK Präsentation in der 58. Sitzung NBG, 20.1.2022

## Generell

Das Problem der beschränkten Datenverfügbarkeit, insbesondere von älteren Seismikaber auch Bohr-Daten, ist weiterhin nicht gelöst. Dies ist eine zentrale Problematik bei der Entwicklung der rvSU und bei der dann folgenden Einengung der potentiellen Lokationen eines Endlagers.

#### 10. Literaturverzeichnis

BGE\_2020: Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) (Stand 28.09.2020)

GZ: SG01101/16-1/2-2019#3 - Objekt-ID: 755925 - Revision: 000.

BGE\_2022k: Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung, BGE, Stand 28.03.2022, S. 62

GZ: SG02303/97-1/1-2022#1 - Objekt-ID: 913984 - Revision: 00.

BGE\_2022m: Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung, BGE, Stand 28.03.2022, S. 744. (Anlage zu BGE 2022k)

GZ: SG02303/97-2/2-2022#10 - Objekt-ID: 919256 - Revision: 00

BGR\_2016b: InSpEE - Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahl-kriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft), Abschlussbericht, März 2016, S. 346.

BGR\_2020: InSpEE-DS - Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft), Doppelsalinare und flach lagernde Salzschichten; Teilprojekt – Bewertungskriterien und Potentialabschätzung Abschlussbericht, März 2020, S. 80.

BGR\_2021a: Nutzung der geowissenschaftlichen Methodendatenbank GeM-DB, Zwischenbericht, Beileke, T. et al. (Stand Januar 2021).

https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Uebertaegig e\_Erkundungen/2021\_04\_15\_nutzung\_datenbank\_zwischenbericht.pdf?\_\_blob=publicationFile&v=2

BGR\_2021b: Datenbankbasierte Zusammenstellung geowissenschaftlicher Erkundungsmethoden für die übertägige Standorterkundung gemäß §16 Stand AG, Zwischenbericht, Kneuker, T. et al. (Stand Januar 2021).

https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Uebertaegig e\_Erkundungen/2021\_04\_15\_datenbank\_geomaps\_zwischenbericht.pdf?\_\_blob=publication File&v=3

BGR\_2021\_TUNB: Potenziale des unterirdischen Speicher- und Wirtschaftsraumes im Norddeutschen Becken (TUNB). (Stand 1.7.2021). <a href="https://gst.bgr.de">https://gst.bgr.de</a>
https://gst.bgr.de
https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Nutzung\_tieferer\_Untergrund\_CO2Speicherung/Projek te/Nutzungspotenziale/Laufend/TUNB.html

Bücker, C.: 2021: Das Geologiedatengesetz GeolDG – Was ist neu? "Rote Blätter", Mitteilungen der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Heft 1/2021.

Bund\_eV\_2022: Cloud-Infrastruktur für BGR für Aufgaben nach GeolDG, Vergabeplattform des Bundes, (2022)

https://www.evergabe-online.de/tenderdetails.html?0&id=440865&cookieCheck

EndlSiAnfV: Endlagersicherheitsanforderungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094).

EndlSiUntV: Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094, 2103).

ESK\_2021a: Diskussionspapier der Entsorgungskommission vom 18.02.2021, Diskussionspapier – Standortvergleich, p. 32 https://www.entsorgungskommission.de/de/beratungsergebnisse

ESK\_2021b: Diskussionspapier der Entsorgungskommission vom 18.02.2021 bei NBG, Diskussionspapier – Standortvergleich., Anhang 2: Matrix 1: Exemplarische Darstellung möglicher Abhängigkeiten zwischen Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und Abwägungskriterien.

https://www.entsorgungskommission.de/de/beratungsergebnisse

ESK\_2022: Die ESK – ESK-Diskussionspapier: Standortvergleich, Vortrag B. Reichert bei NBG, 20.01.2022, p. 38.

Jackson, C.A.L., Jackson, M.P.A., Hudec, M.R., Rodriguez, C., 2015: Enigmatic Structures within Salt Walls of the Santos Basin - Part 1: Geometry and Kinematics using 3D Seismic Reflection and Well Data, Journal of Structural Geology, Volume 75, June 2015, Pages 135-162, https://doi.org/10.1016/j.jsg.2015.01.010

Jackson, C.A.L., and Hudec, M.R., 2017: Salt Tectonics, Principles and Practice, Cambridge, Cambridge Univ. Press.

RESUS\_2020: Empfehlungen zur sicherheitsgerichteten Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien des StandAG, GRS, (Stand August 2020). <a href="https://www.grs.de/aktuelles/Endlagersuche-">https://www.grs.de/aktuelles/Endlagersuche-</a>

Wissenschaftliche Methodik fuer einen Standortvergleich

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.

# 11. Abkürzungsverzeichnis

BASE Bundesamts für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung

BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoff

BPG Beratungs- und Planungs-Gruppe (https://www.endlagersuche-

infoplattform.de/SharedDocs/Glossareintraege/DE/B/beratungsplanungsgrupp

e.html) jetzt PFE

**DGMK** Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für nachhaltige Energieträger,

Mobilität und Kohlenstoffkreisläufe e.V.

**ewG** einschlusswirksamer Gebirgsbereich

EndlSiUntV Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung

ESK Entsorgungskommission (<u>www.entsorgungskommission.de</u>)
GRS Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH

**GzM** Gebiet zur Methodenentwicklung

**GeolOG** Geologiedatengesetz (https://www.gesetze-im-internet.de/geoldg/)

**geoWK** geowissenschaftliche Abwägungskriterien

**KW** Kohlenwasserstoff

LBEG Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

NBG Nationales Begleitgremium
PFE Planungsteam Forum Endlager

rvSU repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchung

**RESUS** Forschungsprojekt zu repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen

zur sicherheitsgerichteten Abwägung von Teilgebieten mit besonders günstigen geologischen Voraussetzungen für die sichere Endlagerung

wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle

SGD Staatliche Geologische Dienste
Salzstock Synonym für Steinsalz in steiler Lage

StandAG Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für

hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz)

**TG** Teilgebiet

**TUR** Teil-Untersuchungsräume

TUNB Potenziale des unterirdischen Speicher- und Wirtschaftsraumes im Nord-

deutschen Becken https://gst.bgr.de/

**TWT** Two-Way-Time

**UR** Untersuchungsräume

URS Forschungsprojekt: "Ungewissheiten und Robustheit mit Blick auf die

Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle"

wvSU weiterentwickelte vorläufige Sicherheitsuntersuchung

**ZB** Zwischenbericht (BGE 2020)

Das hier vorgelegte Gutachten wurde vor der Einreichung mit Dr. Christian Bücker (Mitglied der Sachverständigengruppe des NBG) diskutiert.

# 12. Anhänge

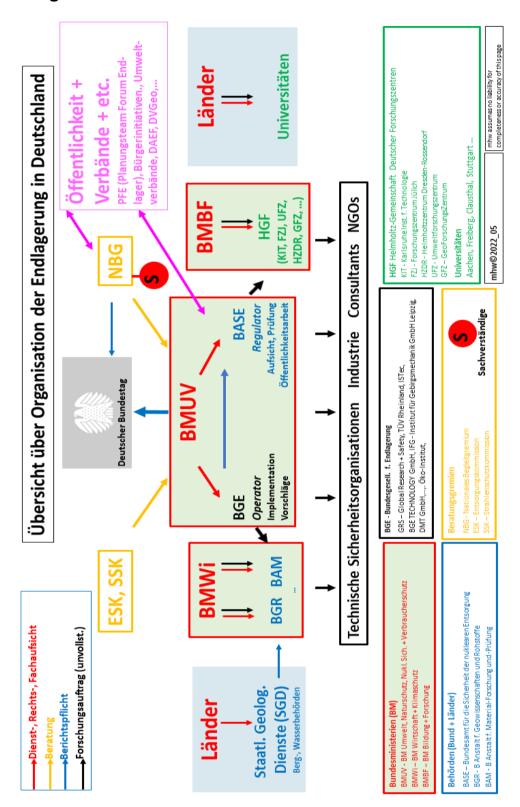
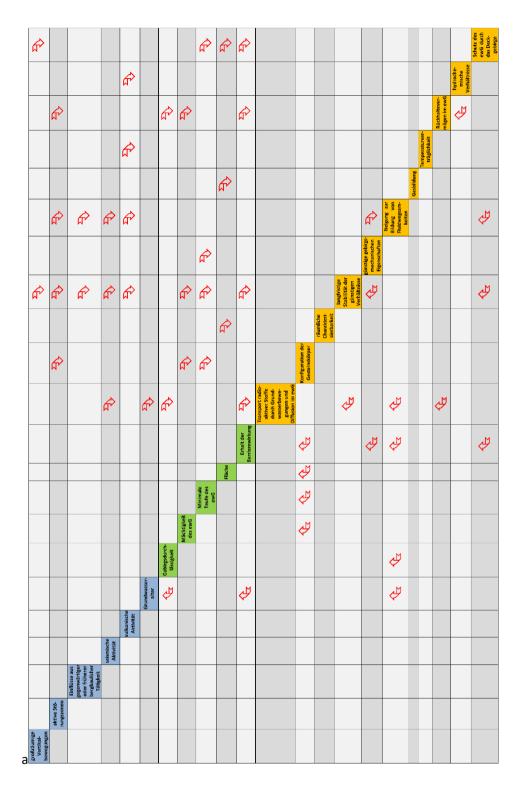


Abb. A1: Übersicht über Organisation der Endlagerung in Deutschland (Stand 5/2022).

(Rechenzeit + Speicherplatzbedarf!) Villamizar, B.J.G., et al. (2022), Seismic imaging of crystalline structures..., G.J.I., ggac208, <a href="https://doi.org/10.1093/gji/ggac208">https://doi.org/10.1093/gji/ggac208</a>
Wang, P. et al., 2019; Full-waveform inversion for salt: A coming of age. The Leading Edge 2019;; 38 (3): 204–213. doi: <a href="https://doi.org/10.1190/ile38030204.1">https://doi.org/10.1190/ile38030204.1</a>
Zhen-Chun Li, Ying-Ming Qu, 2022; Research progress on seismic imaging..., Petroleum Science, V 19, 11, 128–146, ISSN 1995-8226, <a href="https://doi.org/10.1016/j.petsci.2022.01.015">https://doi.org/10.1016/j.petsci.2022.01.015</a>. Freitas et al. 2009: Seismic depth processing using the CRS technique ..., Wit Report 2009, https://www.wit.unihamburg. de/import/documents/reports/2009/wit2009-freitas.pdf Datengestützten Abbildung mit Mehrparameter-Analyse beliebig gelagerten Reflektoren Baykulov, M., et al., 2009, Revisiting the structural setting of the Glueckstadt..., Tect. Ph., V 470, 11–2,162-172, ISSN 0040-1951, https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.05.027 Littke, R., et al., 2008. Dynamics of Complex Intracontinental Basins: The Central European Basin System. Springer Verlag Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-540-85084-7. Kalita M, et al., 2019, Regularized full-waveform inversion with automated salt-flooding. GEOPHYSICS: 1-74. Available: http://dx.doi.org/10.1190/geo2018-0146.1. lan F. Jones, Ian Davison 2014; Seismic imaging in and around salt bodies. Interpretation; 2 (4): SL1–SL20. doi: https://doi.org/10.1190/INT-2014-0033.1 FWI - Full Waveform Inversion (braucht niedrige Frequenzen!) Rückwärtsmodellierung des seismischen Wellenfeldes PSDM – Pre-Stack Depth Migration (Kirchhoff) Projektion von Reflektorelementen vor dem Stapeln CRS – Common Reflective Surface Stack RTM – Reverse Time Migration Post-Stack Migration State-of-the-Art - Pre-Stack CMP-Stapelung Classic - Post-Stack

**Abb. A2:** Überblick über einige seismische Methoden, die bei der Untersuchung des Intern-Baus von Salzstöcken, aber auch allen anderen TG, zur Anwendung kommen könnten.



**Abb. A3:** Darstellung möglicher Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen Ausschlusskriterien (blau, §22 StandAG), Mindestanforderungen (grün, §23 StandAG) und geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK, gelb, §24 StandAG). Quelle – ESK (ESK\_2021a, b (Anhang 2, Matrix 1)).