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

TG Teilgebiet
NBG Nationales Begleitgremium
GzM Gebiet zur Methodenentwicklung
rvSU repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchung
weitere Abkürzungen am Ende des Gutachtens

Auftraggeber: Nationales Begleitgremium
Geschäftsstelle
Buchholzweg 8
13627 Berlin

Projektnummer 153434-07

Potsdam, 30. März 2023

[redacted]

Dr. Michael Weber

Inhaltsverzeichnis

0.	**Inhaltsverzeichnis**	**02**
1.	**Vorbemerkungen**	**03**
2.	**Aufgabenstellung**	**03**
3.	**Datengrundlage und Akteneinsicht**	**04**
4.	**Geologische Grundlagen**	**04**
5.	**Daten – Bereitstellung, Aufbereitung, Probleme**	**05**
6.	**Internbau-Studie (IBSt – BGE/BGR)**	**10**
7.	**Offene Fragen und laufende Forschungsvorhaben der BGE**	**11**
8.	**Weiterentwicklung rvSU und sicherheitsgerichteter Diskurs**	**12**
9.	**Handlungsempfehlungen**	**14**
10.	**Zusammenfassung und Summary**	**15**
11.	**Literaturverzeichnis**	**16**
12.	**Abkürzungsverzeichnis**	**18**
13.	**Anhang**	**19**

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 14. Dezember 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.**

Nach Skype-Konferenzen mit BGE/NBG am 18. Januar 2023 und 24. Februar 2023 umfasste der Auftrag folgende Themen (zu Salz in steiler Lage).

1. **Daten – Bereitstellung, Aufbereitung, Probleme**
2. **Internbau-Studie (IBSt, BGE/BGR)**
3. **Offene Fragen und laufende Forschungsvorhaben der BGE**
4. **Weiterentwicklung rvSU und sicherheitsgerichteter Diskurs.**

3. Datengrundlage und Akteneinsicht

Für die Erstellung des Gutachtens wurden u.a. die in der Referenzliste genannten Unterlagen genutzt. Weiterhin wurde am 18. Januar 2023 eine Skype-Konferenz durchgeführt (BGE mit 6 MitarbeiterInnen, NBG mit 1 Mitarbeiter), sowie eine weitere Skype-Konferenz zur Klärung der Freigabe von BGE-Unterlagen (24. Februar 2023; BGE mit 2 MitarbeiterInnen, NBG mit 3 MitarbeiterInnen).
Der Vorort-Besuch bei der BGE in Peine fand am 8. und 9. Februar 2023 statt (BGE mit 11 MitarbeiterInnen). Dabei wurde auch der vertrauliche Datenraum der BGE genutzt. Die Ergebnisse der Akteneinsicht und der Diskussionen sind im Folgenden zusammengefasst.

4. Geologische Grundlagen

Die zentralen Fragen zur Eignung eines Salzstocks (Salz in steiler Lage) als potentielles Endlager sind

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

Abb. 1 zeigt einen Internbau eines Salzstocks mit inhomogenen Strukturen unterschiedlicher Genese.

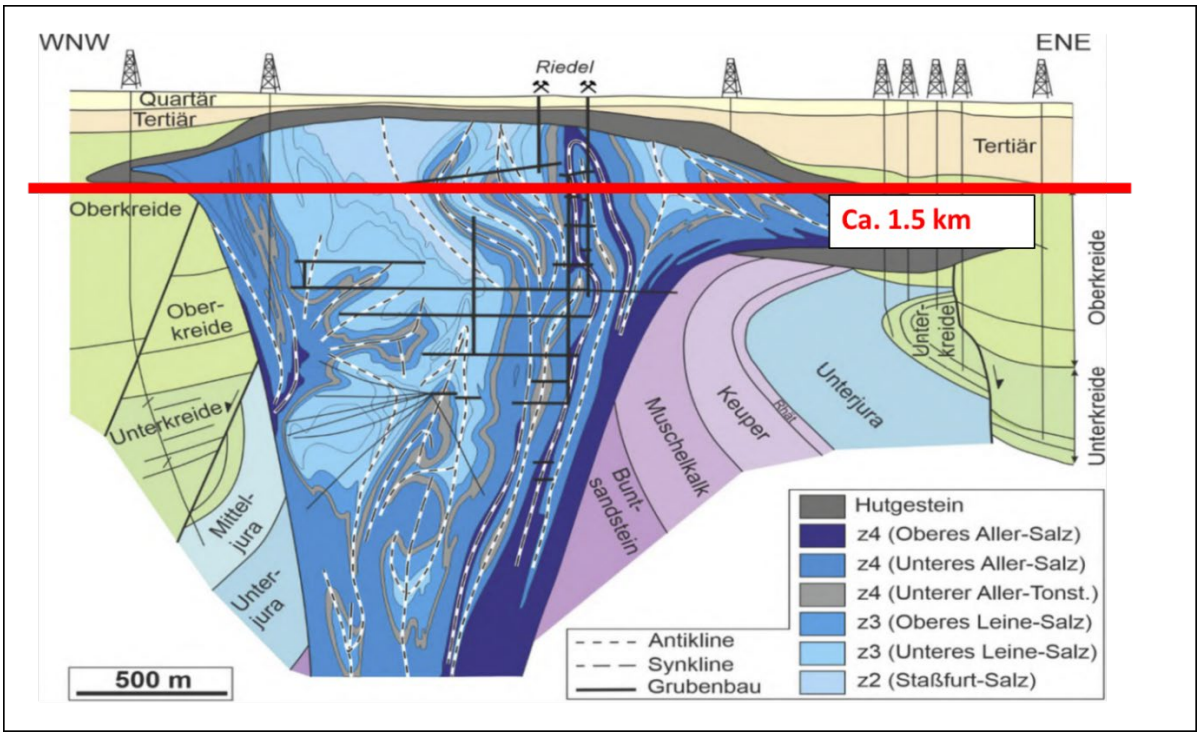

Abb. 1. Beispiel der Struktur / des Internbaus eines durch Bergbau gut erkundeten Salzstocks. Die ungefähre Tiefe von 1,5 km (max. Tiefe eines Endlagers) ist durch die rote Linie angezeigt (Jackson & Hudec 2017 und BGE). Abb. 6 zeigt mögliche Komplexitäten im oberen Teil von Salzstöcken.

Informationen über den Internbau eines nicht durch Bergbau erschlossenen TG müssen im jetzigen Stand des Verfahrens (Phase I, Schritt 2) mittels bereits existierender Daten ermittelt werden. Eine wesentliche Rolle spielen hierbei Daten non-invasiver, geophysikalischer

Methoden, vor allem Seismik, bzw. Bohrloch-Informationen. Neue geophysikalische Erkundungen von der Oberfläche aus sind erst in Phase II des Verfahrens vorgesehen. Unterirdische Erkundungen folgen in Phase III.

5. Daten – Bereitstellung, Aufbereitung, Probleme

5.1 Komplexität von Geodaten – Beispiel Salz in steiler Lage

Abb. 2 skizziert den oft schwierigen Weg der Aufbereitung und Prüfung der Daten im Wechselspiel der beteiligten Akteure (BGE/staatliche geologische Dienste (SGD)/private Firmen).

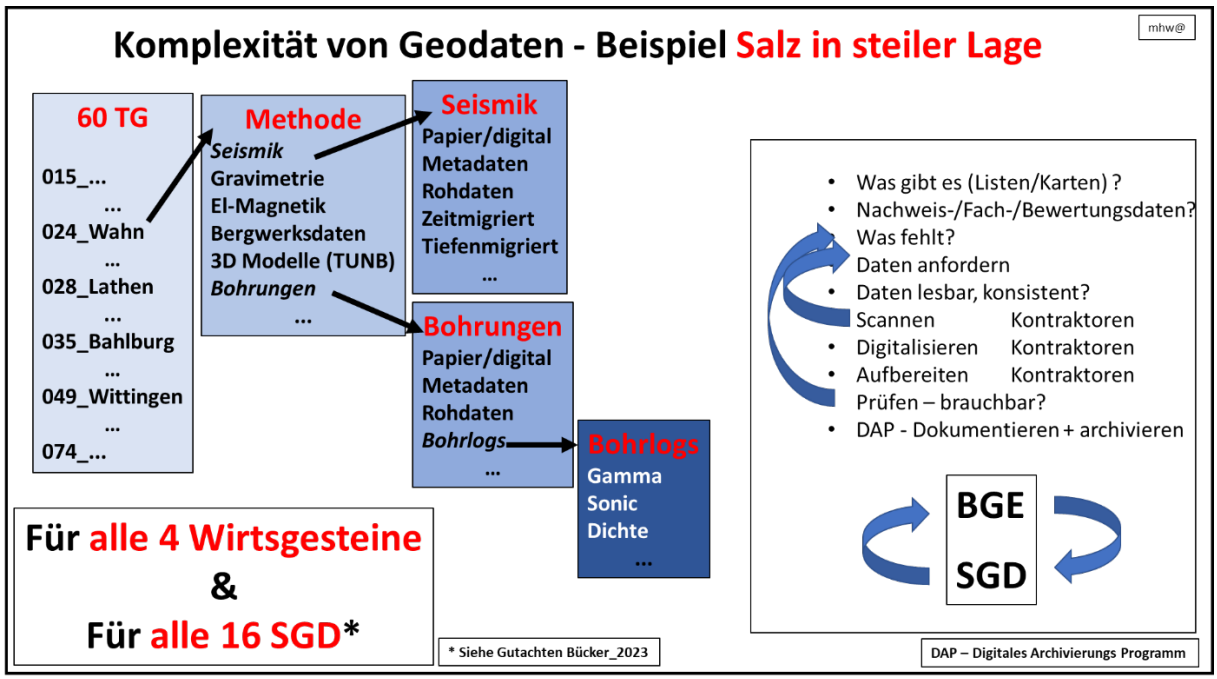

Abb. 2. Komplexität, Struktur und Details von Datenabfragen der BGE bei den SGDs: Teilgebiete (TG) -> Methoden -> Datenformate -> Methodendetails. Die SGDs müssen ihrerseits die Daten zum großen Teil von nichtstaatlichen Firmen abfragen. Die blauen Pfeile in der rechten Box symbolisieren, dass Datenabfrage bis Prüfung ein iterative Prozess ist. Die vier genannten TG werden im Folgenden besprochen.

Dieser iterative Prozess (rechte Box in Abb. 2) ist für alle vier Wirtsgesteine beim jeweils zuständigen Staatlichen Geologischen Dienst (SGD) durchzuführen. Oft stellt sich erst nach mehreren Prüfungen heraus, ob nutzbare Daten existieren. Erst nach Scannen, Aufbereiten und Prüfung auf Brauchbarkeit kann z.B. entschieden werden, ob sich ein seismisches Re-processing der alten Daten lohnt. Der hier skizzierte Prozess wird durch ein BGE-internes Archivierungssystem nachverfolgbar dokumentiert (DAP – Digitales Archivierungs-Programm).

Im Ergebnis ist die angefundene Datenlage deutlich schlechter als erwartet. Trotz hohem und engagiertem Einsatz der SGDs bei der Datenbereitstellung für die BGE (siehe auch Bücker_2023), gibt es weiterhin signifikante Verzögerungen bei der Suche und Aufbereitung der Daten, welche sich zumeist im Besitz von privaten Firmen befinden und von dort durch die SGDs in aufwendigen Verfahren beschafft werden müssen.

Der Hauptgrund für diese schwierige und lückenhafte Datenlage ist, dass, im Gegensatz zu unseren Nachbarländern, die digitale Datendokumentation und Archivierung wegen

fehlendem rechtlichem Rahmen in Deutschland jahrzehntelang stiefmütterlich behandelt wurde. Erst 2020 trat das Geologiedatengesetz (GeolDG) in Kraft (Details z.B. in Bücker_2021). Eine gute Übersicht der wichtigsten Themen und Probleme der momentan laufenden Datenbeschaffung durch die SGDs findet sich in Bücker_2023, siehe auch Anhang 1 für eine kompakte Übersicht.

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

Die BGE plant in den Jahren 2023 bis 2026 jährlich von 10 bis 20 TGs Salz in steiler Lage Daten nach obigem Schema (Abb. 2) anzufordern, aufzubereiten und zu untersuchen.
Die BGE hat außerdem begonnen direkt bei Firmen und Behörden nach relevanten Datensätzen nachzufragen; z.B. bei K+S, Wismut und DEEP.KBB (Bau und Betrieb von untertägigen Energiespeichern). Ein Problem ist hier allerdings, dass bei noch laufenden Studien/Arbeiten/Aufträgen der Firmen der Zugang zu den Daten meist nicht möglich ist.

Im Folgenden wird an vier TGs Salz in steiler Lage exemplarisch gezeigt werden, wie die Situation der Datenbeschaffung und die Nutzung der Daten momentan ist (Phase I, Schritt 2).

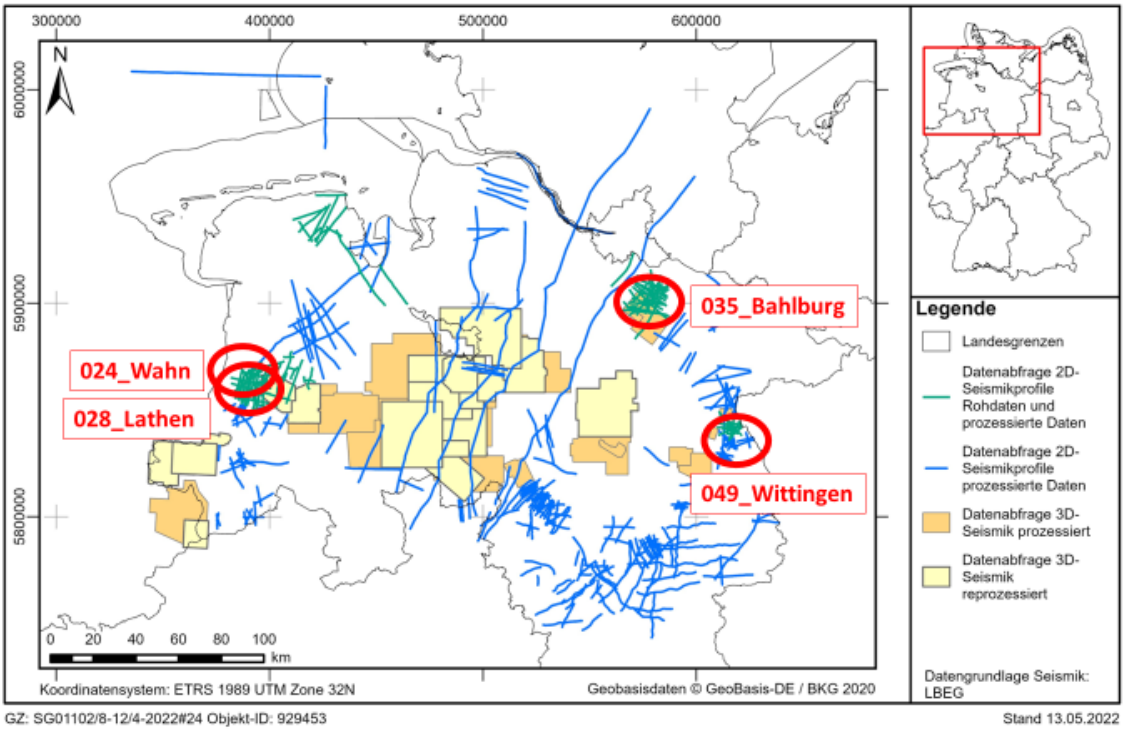

Abb. 3. Darstellung der BGE Datenabfrage beim Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG). Seismik (blaue & grüne Linien (2D) sowie gelbe & ockerfarbene Flächen (3D)). Die 4 TGs Wahn, Lathen, Bahlburg und Wittingen sind durch rote Ellipsen mit ihren jeweiligen TG-Nummern hervorgehoben. Weiterhin wurden Unterlagen zu ca. 20.000 Bohrungen in diesem Gebiet (bei verschiedenen SGDs) angefordert. Der Übersichtlichkeit halber sind diese hier nicht dargestellt, siehe aber Abb. 2; Bücker_2022. Quelle – BGE.

5.2 Beispiel Bahlburg (TG_35)

Das TG_Bahlburg ist das Gebiet zur Methodenentwicklung (GzM) für Salz in steiler Lage. Wie in Abb. 3 ersichtlich, gab es hier umfangreiche 2D Seismik Messungen. Die 3D Seismik südlich von Bahlburg überdeckt leider nicht das TG. Viele der gezeigten 2D Seismik-Linien sind vor den 1970ern aufgenommen worden und somit von einer Qualität, welche ein state-of-the-art-

Reprocessing nicht ermöglicht oder nicht sinnvoll erscheinen lässt. Zum Teil sind manche 2D Seismik Datensätze auch nicht mehr auffindbar. Von den fünf angefragten neueren seismischen Datensätzen sind bisher nur 3 als Zeitsektionen via LBEG geliefert worden. Für ein state-of-the-art-Reprocessing sind digitale Roh-Daten mit Metadaten nötig. Bisher (Stand März 2023) liegen diese angeforderten Datensätze der BGE nicht vor, so dass bisher kein seismisches Reprocessing durch Kontraktoren für das TG_Bahlburg möglich war.

Durch das Fehlen von gut dokumentierten, digitalen Roh-Daten kann somit momentan am GzM TG_Bahlburg keine Methodenentwicklung (zur Abbildung des Internbaus aus existierenden seismischen Daten) durchgeführt werden. Deswegen hat sich die BGE entschlossen, diesen Teil der Entwicklung des *„Werkzeugkastens zur Charakterisierung von Salzstöcken*“ an zwei anderen TGs durchzuführen, an denen bei der BGE hinreichend gute 2D Seismik Datensätze vorliegen. Hierbei handelt es sich um die TGs Wahn (024) und Lathen (028), siehe Abb. 3. Wenn in Zukunft die Daten für TG_Bahlburg vorliegen, werden die momentan entwickelten *„Werkzeuge“* aus dem *„Werkzeugkasten“* auf die Daten des GzMs angewendet.

Drei Bohrungen liegen innerhalb des TG_Bahlburg. Allerdings reichen nur zwei davon etwas tiefer, aber auch nur ins Hutgestein (siehe Abb. 1 für eine Skizze), und ohne geophysikalische Bohrlogs (siehe Abb. 2). Deswegen findet die Methodenentwicklung für Nutzung von Bohrungen an anderen, besser geeigneten Lokationen statt; siehe Kapitel 5.4, TG_49_Wittingen.

5.3 Beispiel Wahn (TG_24) + Lathen (TG_28)

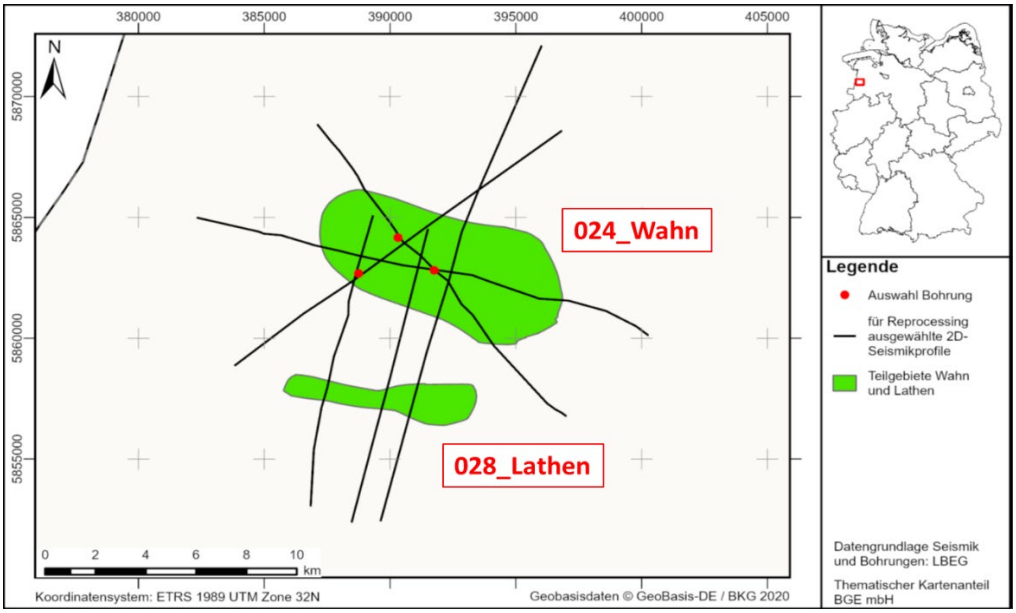

Abb. 4. Karte der TGs Wahn und Lathen. Die sechs Linien sind die der BGE vorliegenden 2D Seismik Profile (Roh-Daten). Die roten Punkte sind drei Bohrlokationen.
Quelle – BGE.

Sechs 2D seismische Linien wurden durch die BGE bei der LBEG angefordert (siehe Abb. 4). Fünf Linien wurden digital geliefert; eine weitere Linie in Papierform, diese ist mittlerweile gescannt und digitalisiert. Diese sechs Profile wurden zeit- und tiefenmigriert bis zur Zechsteinbasis, d.h. bis in mehrere Kilometer Tiefe. Diese processing-Arbeiten wurden durch einen Kontraktor durchgeführt und nahmen inklusive Qualitätskontrolle durch die BGE etwa sechs Monate in Anspruch. Das theoretische räumliche Auflösungsvermögen beträgt für

diesen hochüberdeckten Datensatz etwa 10 m horizontal und in der Tiefe. In die Interpretation gingen auch Informationen aus mehreren Bohrungen ein, welche hierfür gescannt, digitalisiert und interpretiert wurden.

Mit seismischen Methoden sind die unterschiedlichen Zechstein-Formationen z_2 (Staßfurt-Folge – geplanter Einlagerungshorizont) und jüngere Folgen wie z_3 (Leine) und z_4 (Aller) (siehe Abb. 1) nicht unterscheidbar, da die seismischen Geschwindigkeiten dieser Formationen zu ähnlich sind. Nur durch Informationen aus den Bohrlogs (siehe nächstes Kapitel), kombiniert mit geochemischen Analysen der Bohrkerne, sind die unterschiedlichen Zechstein-Folgen unterscheidbar. Eine wesentliche Rolle spielt hierbei der Bromid-Gehalt.

Weiterhin können Gravimetrie-Daten bei der Interpretation mitberücksichtigt werden, diese sind aber nicht in der Lage den Internbau aufzulösen. Elektrische Methoden haben wegen des schlechten Leiters Salz keine großen Eindringtiefen und können somit keine wesentlichen Informationen zur Internbau Studie von Salz-Diapiren beitragen.

Die meisten TG Salz in steiler Lage haben aufgrund ihrer ähnlichen Genese vergleichbare Gesteinsparameter. Dennoch ist jeweils zu prüfen, welcher Aufwand nötig wäre, solche Untersuchungen (2D Seismik Reprocessing, Bohrdaten, Gravimetrie), wie bei diesen beiden Teilgebieten, auch für alle anderen TG Salz in steiler Lage anzuwenden. Eine wesentliche Voraussetzung ist hierbei, dass hinreichend gute Daten vorhanden sind (siehe TG_Bahlburg).

5.4 Beispiel Wittingen (TG_49)

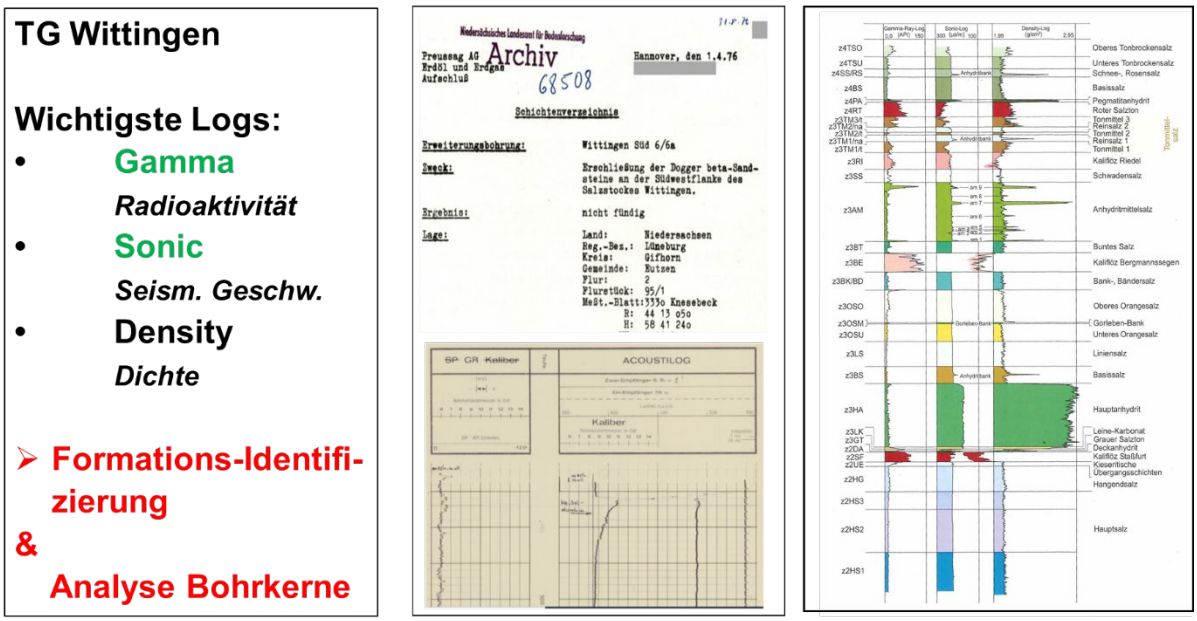

Abb. 5. (Links) Parameter der Bohrung Wittingen-Süd 6/6a. **(Mitte)** Analoge Schichtenverzeichnisse und Bohrlochmessungen (Gamma & Sonic). **(Rechts)** Synthetisches Profil mit drei Logs (Gamma (API), Sonic, Density) (Bornemann et al., 2008). API – American Petroleum Institute Skala.

Die drei wichtigsten, oft zusammen registrierten Bohrlogs sind:

- Gamma — Natürliche Radioaktivität; vor allem Kalium, Thorium, Uran (API)
- Sonic — Seismische Geschwindigkeit (km/s)
- Density — Dichte (g/cm^3); mittels künstlicher radioaktiver Quelle

Die jeweiligen Werte müssen jedoch erst aus den unterschiedlichen Messungen berechnet werden. Jede Formation/Schicht die damit beprobt wird, hat typische Wertebereiche für diese drei Parameter. Die Kombination der drei Werte (Gamma/Sonic/Density) erlaubt eine robuste und zuverlässige Charakterisierung des entlang des angetroffenen Gesteins. Ergänzt und verifiziert werden diese Ergebnisse durch die geochemischen Analysen von Bohrkernen.

Innerhalb des Norddeutschen Beckens mit 60 TGs Salz in steiler Lage, waren die Ablagerungs-bedingungen relativ konsistent, so dass dieses Wertetripel (Gamma/Sonic/ Density) eine robuste Zuordnung des angetroffenen Salzes, inklusive Subformationen erlaubt. Ein Problem kann allerdings die teilweise komplexe Verfaltung der ehemals flach liegenden Strukturen sein, insbesondere in den Randbereichen des Beckens, siehe aber auch Abb. 6. Beim Einscannen und Digitalisieren können weiterhin Probleme auftreten, siehe Bücker_2023.

5.5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen zu Geodaten

- Geodaten sind von großer Komplexität und müssen umfangreich qualitätsgeprüft werden.
- Es muss nach wie vor damit gerechnet werden, dass große Lücken in den durch die SGDs angeforderten Datenbestände vorhanden sind.
- Nur die Kombination verschiedener Methoden (vor allem Seismik- mit Bohr-Informationen und bereits vorhandene Studien) erlaubt eine erste Bewertung der Struktur des untersuchten TG.
- Der Internbau von Salzdiapiren zeigt oft große Komplexität aufgrund von Verfaltungen beim Aufstieg des Salzes und späterer tektonischer Prozesse, siehe auch Abb. 6.
- Die Beschaffung, Aufbereitung und Prüfung dieser Daten müssen weiter mit hoher Priorität betrieben werden. Hierzu scheint die Aufstockung von Personal und Finanz-mittel bei BGE / SGD unerlässlich (Details in Bücker_2023, siehe auch Weber_2021, Weber_2022).

Weber_2021 (30. Nov. 2021)
Das zentrale Problem der noch beschränkten Datenverfügbarkeit/Digitalisierung bei der Entwicklung des Standortauswahlverfahrens ist nicht gelöst. Ich empfehle dringend einen massiven, auch personellen, Ausbau, um die vor allem bei den SGDs vorhandenen Daten dem Verfahren in geeigneter Form zur Verfügung zu stellen.

Weber_2022 (1. Juli 2022)
Das Problem der beschränkten Datenverfügbarkeit, insbesondere von älteren Seismik- aber 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.

6. Internbau-Studie (IBSt – BGE/BGR)

Dieses Forschungsprojekt entwickelt eine Methode, die die Komplexität des Internbaus von Salzstrukturen prognostizieren kann. Das Projekt wird durch die BGR durchgeführt (März 2022 bis Dez. 2023) und basiert auf den älteren BGR Forschungsprojekten InSpEE und InSpEE-DS (BGR_2016, BGR_2020). Der Steckbrief des Forschungsvorhabens findet sich unter

https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Forschung/20220622_Steckbrief_zu_Projekt_Variabilitaet_Internbau_Salzstrukturen.pdf

Eine Vorstellung der komplexen Strukturen in einem Salzstock gibt Abb. 6. Die Informationen stammen im Wesentlichen aus Bohr-Informationen sowie unterirdischer Erkundung.

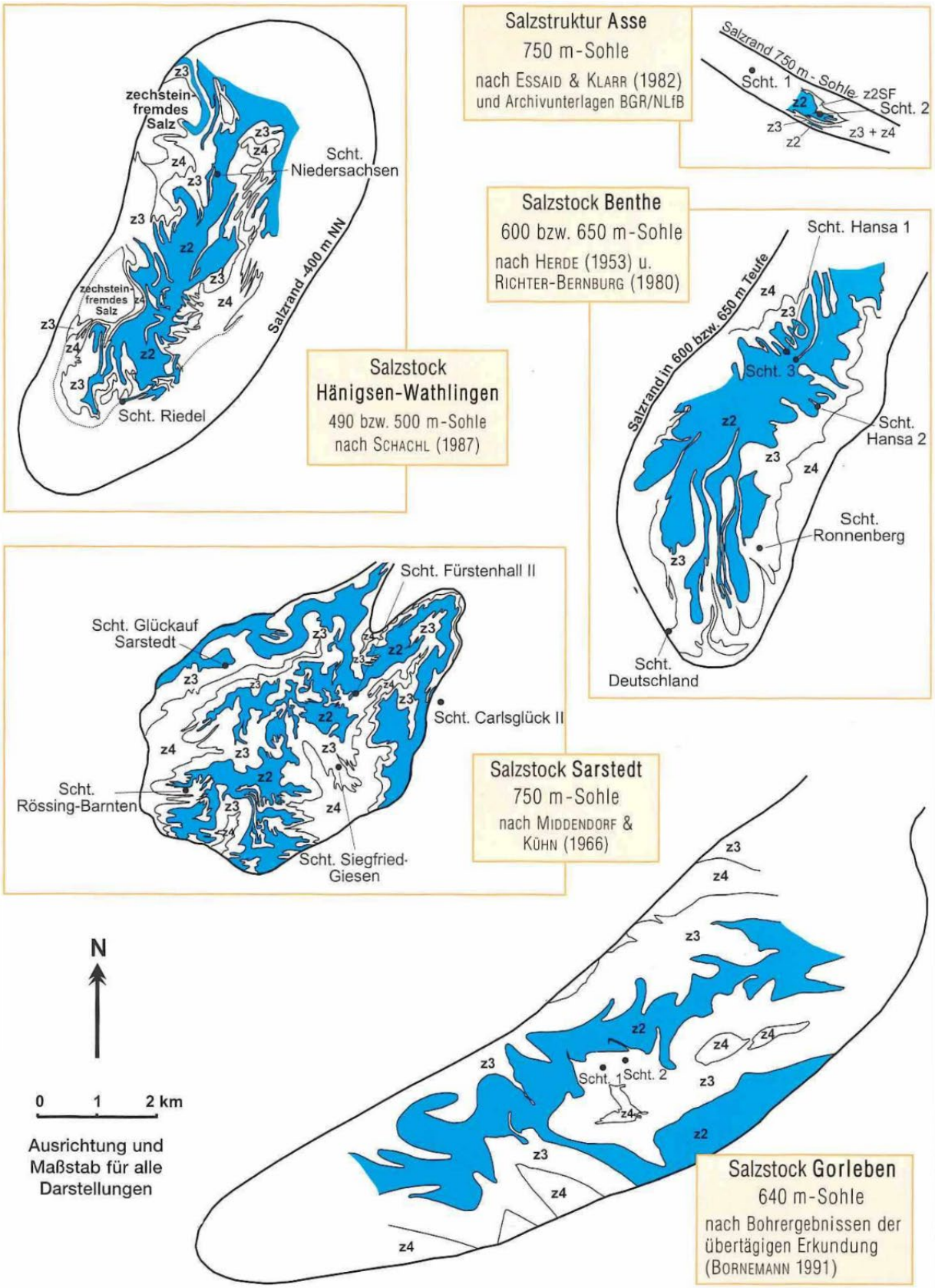

Abb. 6. Geologische Sohlenrisse (horizontale Schnitte) von Salzstrukturen mit Darstellung der z_2-Verbreitung (Staßfurt-Salz) in Hellblau (Bornemann et al. 2008, InSpEE_2016). **Keiner der hier gezeigten Salzstöcke ist TG !**

Die in InSpEE / InSpEE-DS entwickelten Ansätze bilden die Basis der IBSt, werden aber mit den heutigen Kenntnissen über Salzdynamik überarbeitet und weiterentwickelt, indem z.B. die Informationen aus weiteren Salzbergwerken in die Studie einfließen. Die wichtigsten Proxys, welche sich aus Morphologie und der tektonischen Entwicklung ergeben, scheinen Größe, Form und Reife des Salzstocks zu sein. Welches die Schlüsselparameter zur Prognose des Internbaus am Ende sein werden, wird erst mit Abschluss des Projekts Ende 2023 feststehen.

Eine erste Abschätzung des Zeitbedarfs für eine Internbau-Analyse findet sich in BGE_2022x1 (S. 99), wo eine Bearbeitungsdauer für eine Internbau-Prognose pro TG von 3 bis 4 Tagen angenommen wird. Eine robustere Abschätzung wird aber erst Ende 2023 bzw. nach einigen weiteren Tests feststehen.

7. Offene Fragen und laufende Forschungsvorhaben der BGE

BGE Forschungsprojekte – Stand Februar 2023 (Auswahl)

Seismische und andere geophysikalische Methoden

1. Test/Entwicklung von optimierten Workflows seismischer Methoden mit Synthetics
BGE erstellt synth. Modelle **(seit Q4/2021)**, Kontraktor berechnet Synthetics **(ab Q4/2022)** und bestimmt optimales Processing + Auflösungsgrenzen, incl. Diffraktionen.

2. Anwendung von State-of-the-Art Pre-Stack Processing auf existierenden Roh-Daten (meist 2D Linien)
CRS-Methode, RTM-Methode, Kirchhoff PreSDM ersatzweise Post-Stack **(ab Q4/2022)**

3. DOSIS - Entwicklung neuer 3D Seismik Processing Methoden
KIT und TUBA Freiberg, Kombination RTM und Kirchhoff **(ab 1/2022)**

4. GeoMetEr – Entwicklung von oberirdischen Erkundungsmethoden für Kristallin
TUBA Freiberg, LIAG, U. Münster et al., Kombination Seismik und Elektromagnetik **(Q1/2023)**

Internbaustudie (IBSt, aufbauend auf InSpEE) – siehe letztes Kapitel
Via bekannter Genese, Morphologie, Größe, Alter des Salzstocks –> Prognose für gut erkundete Salzstöcke, dann Reality Check (Mengen- und Volumenabschätzungen, Verfaltungen?). **Seit 5/2022** mit BGR

Abb. 7: Forschungsaktivitäten der BGE, Auswahl, Stand Februar 2023. CRS – Common Reflective Surface Stack, RTM – Reverse Time Migration, PreSDM – Pre-Stack Depth Migration. In blau Projekte für die ein Steckbrief auf der BGE-Web-Seite vorliegt.

7.1 Erste Ergebnisse und Entwicklungen

Thema 1 aus Abb. 7: Optimierte Workflows – 2D-Linien
Erste Ergebnisse der Arbeitsgemeinschaft von zwei Kontraktoren zur Rekonstruktion von synthetischen Störungen in Model-Salzdiapiren liegen seit Februar 2023 vor. Die Stärken und Schwächen der verwendeten seismischen Methoden sind wie erwartet: Die Kirchhoff Migration ist schneller, aber die zeitaufwändigere RTM liefert genauere Rekonstruktionen der synthetischen Störungen. Eine Bewertung für optimierte Workflows des Prozessierens der seismischen Daten, mit dem Ziel Störungen in Diapiren abzubilden, ist mit Abschluss der Arbeiten für Q1/Q2 2023 geplant.

Thema 2 aus Abb. 7. State-of-the-Art processing (2D-Linien)
Durch Kontraktoren wurden die in Abb. 4 (Kapitel 5.3; TG Wahn (024) & Lathen (028)) gezeigten 2D seismischen Linien/Roh-Daten aus den 1980ern und 1990ern reprozessiert. Die äußere Form des Salzstocks sowie die Struktur der Überdeckung des Diapirs sind gut aufgelöst. Bei der Interpretation wurden die durch einen weiteren Kontraktor gescannten und

aufbereiteten Bohrdaten berücksichtigt. Hierbei zeigte sich, dass die Tiefenlagen der rein seismisch bestimmten Strukturen Fehler von 5 bis 10% hatten. Dies demonstriert, wie wichtig die Kombination von Seismik und Bohrdaten für robuste Ergebnisse ist. Der Abschluss der Arbeiten ist ebenfalls für Q1/Q2 2023 geplant.

Probleme bei der Abbildung von 3D Strukturen mit 2D Messungen (Linien)
Wenn in 2D Linien seismische Signale detektiert werden, könnten diese „in-line", d.h. direkt unter der Linie liegen. Es kann aber nur aufgrund von 2D-Linien nicht ausgeschlossen werden, dass diese Signale seitliche Reflektionen, z.B. vom Rand des Diapirs, sind. Umgekehrt ist die Abwesenheit von tieferliegenden Signalen in den seismischen Sektionen kein Beweis, dass im Salzstock keine Störungen vorhanden sind. Geneigte Strukturen im Internbau des Diapirs können seismische Signale seitlich aus der reinen 2D Geometrie hinaus reflektieren.

Für eine robuste Zuordnung seismischer Signale zu möglichen Störungen in dreidimensionalen Salzdiapiren ist 3D Seismik in Kombination mit Bohrinformationen unabdingbar.

7.2 Fehlende Dokumentation der Forschungsprojekte der BGE

Leider ist bis heute (März. 2023), bis auf die IBSt und GeoMetEr, noch kein Steckbrief der in Abb. 7 genannten Projekte auf der BGE-Web Seite zu finden, siehe bereits Weber_2022. Weiterhin sind diese Projekte, sowie andere Projekte, z.B. **URS** („Ungewissheiten und Robustheit mit Blick auf die Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle", BGE_2022m, S. 617 ff)**,** nicht über ihr Akronym auf den BGE Web-Seiten auffindbar.
Hier besteht dringender Nachholbedarf.

Es fehlt weiterhin (siehe auch Weber_2021, _2022) Dokumentation über den Stand zu

- Umfassender Literaturstudie zum Internbau bei Salzstöcken (SGD, K+S, DGMK, DOW Chemical, etc.)
- Liste und Karte der bereits gelieferten Datensätze für jedes TG
- Qualitätskontrollen von gelieferten Daten (standardisiert + nachvollziehbar)

8. Weiterentwicklung rvSU und sicherheitsgerichteter Diskurs

Eine wesentliche Aufgabe der BGE in den nächsten Monaten ist die Weiterentwicklung der rvSU und des sicherheitsgerichteten Diskurses mit dem Ziel, die am besten geeigneten Bereiche zu identifizieren.

Beschreibung der vier Kategorien (BGE_2022m):

Kategorie D enthält auf Grund des Vorliegens von Ausschlusskriterien oder der Nichteinhaltung von Mindestanforderungen ungeeignete Bereiche (Prüfschritt der zielgerichteten Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen).

Kategorie C enthält Bereiche, die auf Grund der qualitativen oder quantitativen Bewertung ungeeignet sind oder keine überwiegend gute Bewertung vorweisen (Prüfschritt der qualitativen Bewertung des sicheren Einschlusses und Prüfschritt der quantitativen Bewertung des sicheren Einschlusses).

Kategorie B enthält Bereiche, die auf Grund der quantitativen Bewertung genauer untersucht werden, aber weniger gut geeignet sind als die Bereiche in Kategorie A (Prüfschritt des sicherheitsgerichteten Diskurses (SiDi)).

Kategorie A enthält die am besten geeigneten Bereiche (Prüfschritt des SiDi).

Ausschließlich die Bereiche aus Kategorie A werden im Anschluss an die rvSU im Rahmen von § 14 StandAG mit den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien weiterbearbeitet.

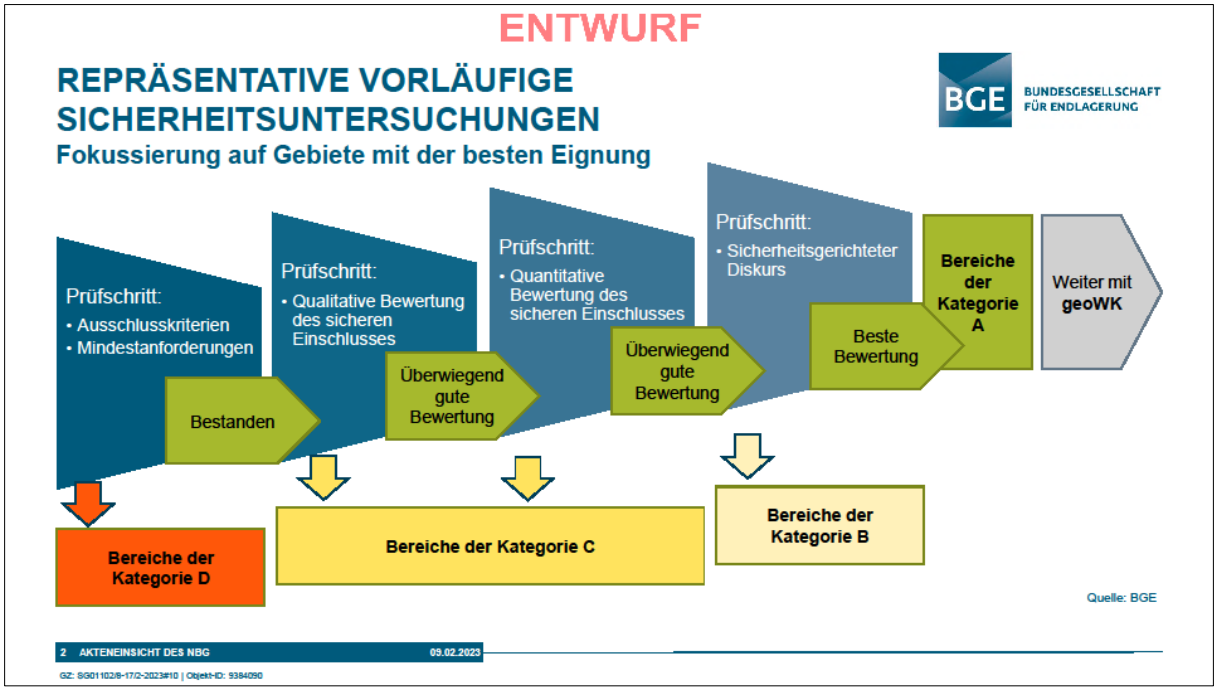

Abb. 8. Abfolge der Prüfschritte zur Bestimmung der Gebiete mit der besten Eignung. Stand Februar 2023.
Quelle – BGE.

Die Methodik des letzten Prüfschritts (SiDi) befindet sich momentan bei der BGE in der Entwicklung.
„Dieser Diskurs wird verbalargumentativ erfolgen, aber ergänzend die Evaluierung von entsprechenden Kennzahlen enthalten. Das Ergebnis des sicherheitsgerichteten Diskurs sind Bereiche, die in Kategorie A oder Kategorie B fallen.“ (BGE_2022m).

Eine frühestmögliche öffentliche und auch für Laien verständliche Präsentation und Diskussion wie dies umgesetzt werden soll, ist von großer Wichtigkeit für den Fortschritt und die Glaubwürdigkeit des Verfahrens.

9. Handlungsempfehlungen an BGE

Beschaffung, Aufbereitung und Prüfung von Daten muss weiter hohe Priorität haben. Data Mining unter Nutzung von Data-Scouts, die aktiv und gezielt nach existierenden Daten und Studien suchen, wäre für den Verfahrensfortschritt von großer Hilfe.

Zeitnahe Erstellung von

- **Fehlenden Steckbriefen zu Forschungsprojekten auf BGE Web-page**
- **Verbesserung der Akronym-Suche zu Projektbeschreibungen**

Zeitnahe Dokumentation über den Stand zu

- **Umfassender Literaturstudie zum Internbau bei Salzstöcken**
- **Liste und Karte der bereits gelieferten Datensätze für jedes TG**
- **Qualitätskontrollen von gelieferten Daten (standardisiert + nachvollziehbar)**

Frühestmögliche öffentliche und auch für Laien verständliche Präsentation und Diskussion der Weiterentwicklung der rvSU und des sicherheitsgerichteten Diskurses.

10. Zusammenfassung und Summary

Daten

- Es gibt nach wie vor große Lücken in den Datenbeständen
- Für eine robuste Zuordnung seismischer Signale zu möglichen Störungen im Internbau der 3D Diapire ist 3D Seismik in Kombination mit Bohrinformationen nötig
- Beschaffung, Aufbereitung & Prüfung von Daten muss weiter mit hoher Priorität betrieben werden (Weber_2021, Weber_2022, Bücker_2023)

InternBau Studie

- Internbau zeigt oft große Komplexität (Verfaltungen bei Aufstieg / spätere Tektonik)
- Ergebnisse der Internbau Studie der BGR liegen erst 12/2023 vor

Dringender Nachholbedarf bei BGE

- Oft fehlende Steckbriefe zu Forschungsprojekten auf BGE Web-page
- Verbesserung der Akronym-Suche zu Projektbeschreibungen (z.B. URS)

Fehlende Dokumentation über den Stand zu

- Umfassender Literaturstudie zum Internbau bei Salzstöcken
- Liste und Karte der bereits gelieferten Datensätze für jedes TG
- Qualitätskontrollen von gelieferten Daten (standardisiert + nachvollziehbar)

Eine frühestmögliche öffentliche und auch für Laien verständliche Präsentation und Diskussion der Weiterentwicklung der rvSU und des sicherheitsgerichteten Diskurses ist von großer Wichtigkeit für den Fortschritt und die Glaubwürdigkeit des Verfahrens.

English

Data

- Unfortunately, large gaps in data availability
- 3D Seismics combined with borehole info is necessary to reliably associate seismic signals to the 3D internal structure of salt diapirs
- Acquisition, preparation and quality checks of data must continue to have uttermost priority in the present stage (Weber_2021, Weber_2022, Bücker_2023)

Internbau Study

- Internal structure of diapirs often shows great complexity (ascent folding / tectonics)
- Results of Internbau study of the BGR will be available by 12/2023

Urgent action needed by BGE

- Provide short summaries to research projects on BGE Web-page (see e.g. IBSt)
- Improve acronym search to research projects

Provide documentation over status of

- Comprehensive study of literature concerning the internal structure (Internbau) of salt diapirs
- List and map of data provided/available for each sub-area (*Teilgebiet)*
- Quality control of data delivered (standardized and re-producible)

Presentation and public discussion of the BGE-Strategy for the development of the rvSU and the safety-oriented discourse *(sicherheitsgerichteter Diskurs),* should be done as soon as possible.

11. 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

BGE_2022y: Bericht „Zeitliche Betrachtung des Standortauswahlverfahrens aus Sicht der BGE“. Rahmenterminplanung für Schritt 2 der Phase I bis zum Vorschlag der Standortregionen und zeitliche Abschätzungen für Phase II und III. Stand 16.12.2022. Peine: BGE, p. 121.
GZ: SG01101/5-14/20-2022#21 – Objekt-ID: 9024021 – Revision: 00

BGE_2022x: Bericht „Zeitliche Betrachtung des Standortauswahlverfahrens“. Stand 28.10.2022. Peine: BGE, p. 29 + 3 Anlagen
GZ: SG01101/5-14/20-2022#16 – Objekt-ID: 8830954 – Revision: 00

BGE_2022x1: Anlage 1 zu Bericht „Zeitliche Betrachtung des Standortauswahlverfahrens“: Rahmenterminplanung für die Ermittlung von Standortregionen für die übertägige Erkundung (Schritt 2, Phase I). Stand 28.10.2022. Peine: BGE, p. 119
GZ: SG01101/5-14/20-2022#16 – Objekt-ID: 8839880 – Revision: 00

BGE_2022x2: Anlage 2 zu Bericht „Zeitliche Betrachtung des Standortauswahlverfahrens: Abschätzung der Zeitbedarfe für die Durchführung der übertägigen und untertägigen Erkundungen im Rahmen von $$ 16, 18 StandAG (Phase II und Phase III) Stand 28.10.2022. Peine: BGE, p. 49
GZ: SG01101/5-14/20-2022#16 – Objekt-ID: 8809283 – Revision: 00

BGE_2022x3: Anlage 3 zu Bericht „Zeitliche Betrachtung des Standortauswahlverfahrens: Kommunikation der zeitlichen Betrachtung für das Standortauswahlverfahren. Stand 28.10.2022. Peine: BGE, p. 5
GZ: SG01101/5-14/20-2022#16 – Objekt-ID: 8888116 – Revision: 00

BGE_2023a: Fachliche Einordnung zur „Stellungnahme der BGR zur Methodenentwicklung für die repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen der BGE“ vom 01.07.2022, Stand 19.1.2023, Peine: BGE, p. 50
Geschäftszeichen: SG01201/6-5/9-2022#23– Objekt-ID: 8474491– Revision: 00

BGR_2016: 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, Auswahl-kriterien 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_2021_TUNB: Potenziale des unterirdischen Speicher- und Wirtschaftsraumes im Nord-deutschen Becken (TUNB). https://gst.bgr.de
https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Nutzung_tieferer_Untergrund_CO2Speicherung/Projekte/Nutzungspotenziale/Laufend/TUNB.html

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

Bücker, C.: 2022: Gutachten zur Verfügbarkeit von Geodaten, 2022. S. 20
https://www.nationales-begleitgremium.de/SharedDocs/Artikel/DE/Artikel_Gutachten/Artikel_Gutachten_Sachverstaendige/2022/ZF_Gutachten_Zugang_Geodaten_Buecker_31_5_

Bücker, C.: 2023: Gutachten zu: Datenaustausch SGD- BGE, 2023. S. 20
(demnächst auf NBG Web-Seite).

Bornemann, O., Behlau, J., Fischbeck, R., Hammer, J., Jaritz, W., Keller, S., Mingerzahn, G. & Schramm, M. (2008): Standortbeschreibung Gorleben Teil 3. Ergebnisse der über- und untertägigen geologischen Erkundung des Salinars. – Geol. Jb., C 73: 1-211; Hannover.

GeolDG_2020: Geologiedatengesetz vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1387), S. 21

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

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.

Weber_2021: Gutachten für NBG vom 30. Nov. 2021, S. 15.
https://www.nationales-begleitgremium.de/SharedDocs/Downloads/DE/Downloads_Gutachten/Gutachten_Sachverstaendige/2021/Gutachten_Methodenentwicklung_Sachverst_12_2021/Gutachten_Salz_steil_Weber_30_11_2021.html

Weber_2022: Gutachten für NBG vom 1. Juli 2022, S. 20.
https://www.nationales-begleitgremium.de/SharedDocs/Downloads/DE/Downloads_Gutachten/Gutachten_Sachverstaendige/2022/Gutachten_Methodenentwicklung_Sachverst_07_2022/Gutachten_Salz_steil_Weber_1_7_2022.html

12. Abkürzungsverzeichnis

API	American Petroleum Institute – Skala zur Messung natürlicher Radioaktivität
BASE	Bundesamts für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoff
DAP	Digitales Archivierungs Programm der BGE
DEA	Deutsche Erdöl AG (bis Mai 2019)
DEEP.KBB	Dienstleister für Bau und Betrieb von untertägigen Energiespeichern
DGMK	Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für nachhaltige Energieträger, Mobilität und Kohlenstoffkreisläufe e.V.
DOW	Dow Chemical Company
ewG	einschlusswirksamer Gebirgsbereich
ESK	Entsorgungskommission (www.entsorgungskommission.de)
GzM	Gebiet zur Methodenentwicklung
GeoIDG	Geologiedatengesetz (https://www.gesetze-im-internet.de/geoldg/)
geoWK	geowissenschaftliche Abwägungskriterien
IBSt	Internbau-Studie der BGR (2021-2023)
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
K+S	Kali + Salz Industrie
LBEG	Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
NBG	Nationales Begleitgremium
rvSU	repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchung
SGD	Staatliche Geologische Dienste
Salzstock	Synonym für Steinsalz in steiler Lage
SiDi	Sicherheitsgerichteter Diskurs
StandAG	Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz)
TG	Teilgebiet
TUBA	Technische Universität Bergakademie (Freiberg)
TUNB	3D-Modell zur Geologie des Norddeutschen Beckens https://gst.bgr.de/
URS	Forschungsprojekt: „Ungewissheiten und Robustheit mit Blick auf die Sicherheit eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle“
Wismut	Bergbauunternehmen - Wismut AG, ab 1954 SDAG Wismut
ZB	Zwischenbericht (BGE_2020)

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

13. Anhang

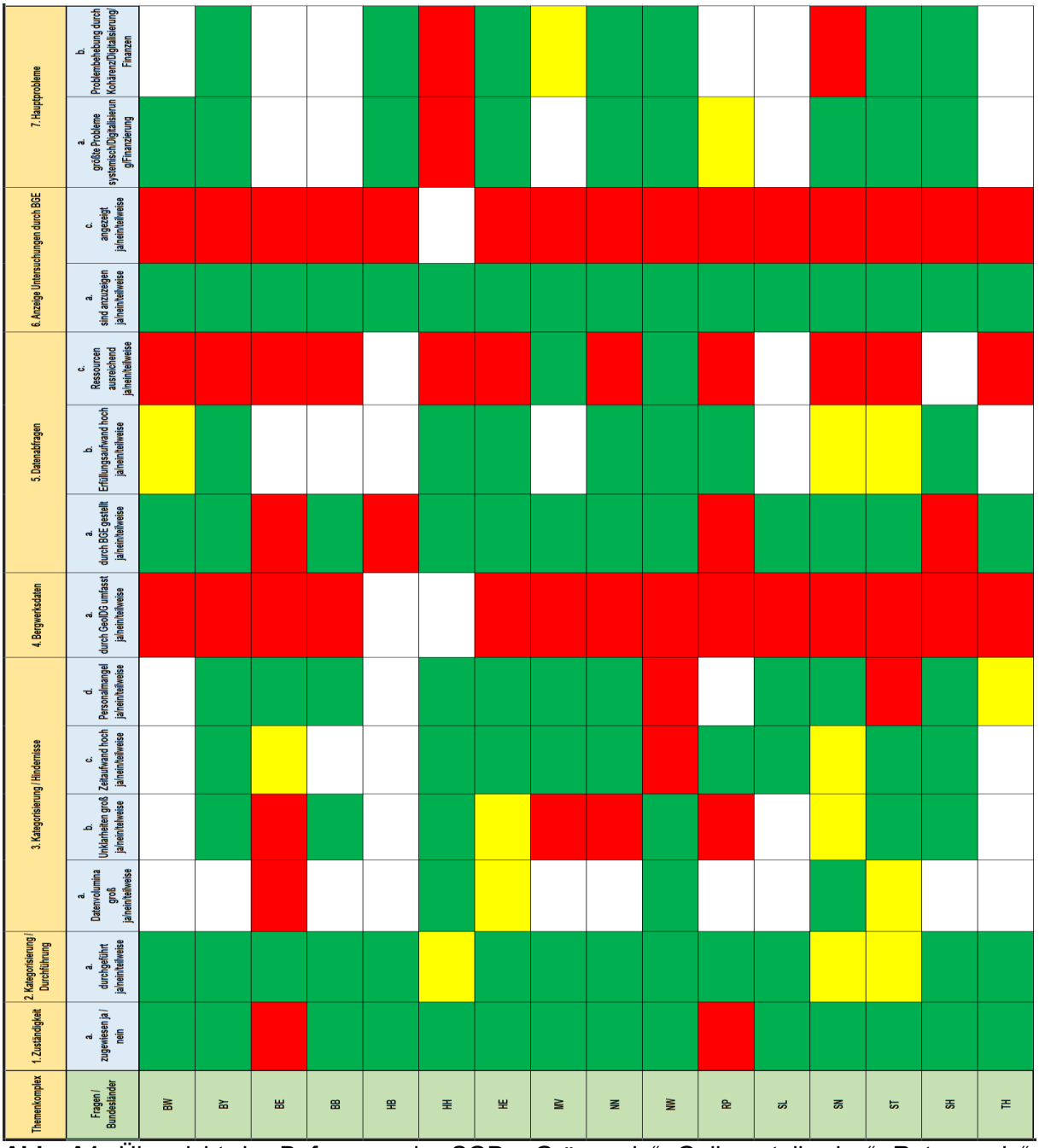

Abb. A1: Übersicht der Befragung der SGDs. Grün = „ja“, Gelb = „teilweise“, Rot = „nein“, Keine Antwort = „weißes Feld“. (Bücker_2023).