Ungünstige flächenhafte Ausdehnung der Salzstruktur

Einordnung	
Prüfschritt	Prüfschritt 2
Wirtsgestein	Steinsalz (steile Lagerung)
Fachlich-regulatorische Beschreibung	
Fachliche Beschreibung	In Salzstrukturen sind große, homogene Steinsalzbereiche hinsichtlich der Wirtsgesteinseigenschaften als günstig zu bewerten. Es kann eine lineare Abhängigkeit zwischen der Gesamtfläche einer Salzstruktur und dem Anteil an homogenen Steinsalzbereichen angenommen werden. Aus diesem Grund sind bei einer zu kleinen Gesamtfläche der Salzstruktur keine ausreichend großen zusammenhängenden homogenen Steinsalzbereiche zu erwarten – es liegt eine ungünstige flächenhafte Ausdehnung der Salzstruktur vor. Eine Anwendung des Kriteriums auf Doppelsalinare (Zechstein/Rotliegend) ist nicht möglich.
Bedeutung für die Sicherheit des Endlagersystems	Die räumliche Charakterisierung des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion (WbB)[1] soll zuverlässig möglich sein.
Thematischer und regulatorischer Bezug	Hauptgruppe „Räumliche Charakterisierbarkeit und Zuverlässigkeit der Sicherheitsaussage“ (vgl. BGE 2023/3, S. 27 ff.); § 7 Abs. 6 Nr. 3 Buchst. a EndlSiUntV
Anwendungsmethodik	
Kategorisierung	Mittels der weiteren rvSU-Kriterien zu Prüfschritt 2 (BGE 2023/3, S. 35) werden ggf. frühzeitig eindeutige Nachteile eines Gebiets identifiziert. Als weiteres rvSU-Kriterium zu Prüfschritt 2 ist die ungünstige Bewertung dieses rvSU-Kriteriums damit hinreichend für die Nichterfüllung des Prüfschritts 2 und eine Einstufung in Kategorie C.
Bewertungsmethodik	Das Staßfurt-Steinsalz (z2Na) bildet typischerweise den größten zusammenhängenden Bereich aus homogenem Steinsalz in Salzstrukturen im Norddeutschen Becken. Die Bewertung erfolgt auf der Grundlage der linearen Korrelation zwischen der Gesamtfläche der Salzstruktur und der z2Na-Fläche. Der Grenzwert für die Gesamtfläche wurde so gewählt, dass die zur Verfügung stehende z2NA-Fläche dem Vielfachen des Vorsorgewerts des Endlagerflächenbedarfs entspricht.
Bewertungs-/Datengrundlagen	Die Bewertung der Gesamtfläche der Salzstrukturen erfolgt anhand geologischer 3D-Modelle.

[1] Als Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion (WbB) wird bis zum Zeitpunkt der konkreten räumlichen Festlegung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) in einem Untersuchungsraum der Wirtsgesteinsbereich bezeichnet, der den ewG aufnehmen kann (verändert nach BGE 2023/6). Innerhalb eines WbB kann theoretisch überall ein ewG platziert werden. Der ewG ist „*der Teil eines Gebirges, der bei Endlagersystemen, die wesentlich auf geologischen Barrieren beruhen, im Zusammenwirken mit den technischen und geotechnischen Verschlüssen den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle in einem Endlager gewährleistet*“ (§ 2 Nr. 9 StandAG).

Wertungsgruppen	
nicht ungünstig	Im WbB liegt nur Zechsteinsteinsalz vor und die Gesamtfläche der Salzstruktur ist größer oder gleich 16 km².
ungünstig	Im WbB liegt nur Zechsteinsteinsalz vor und die Gesamtfläche der Salzstruktur ist kleiner als 16 km².

1 Fachliche Herleitung des Kriteriums

Salzstrukturen sind aus unterschiedlichen Abfolgen von Evaporiten (z. B. Steinsalz, Sulfate, Karbonate) und Nebengesteinen (u. a. Tone) aufgebaut. Im Zuge der Salzstrukturgenese (Salzaufstieg) von ursprünglich stratiform abgelagerten Gesteinsabfolgen zu Salzstöcken/Salzmauern, werden diese Gesteine teils komplex verfaltet und verkippt. Eine Vorhersage der internen Konfiguration bzw. die räumliche Charakterisierung dieser Salzstrukturen ist im aktuellen Verfahrensschritt auf Basis von Bestandsdaten nur anhand überschlägiger Abschätzungen und Analogiebetrachtungen möglich. Dabei können die Salzstrukturen, aus denen Teilgebiete hervorgegangen sind, sowohl ausschließlich aus Evaporiten des Zechstein als auch aus einer Kombination aus Zechstein- und Rotliegend-Salinaren aufgebaut sein.

Innerhalb der Zechstein-Ablagerungen (z1- bis z7-Formationen) bietet das in großen Volumina akkumulierte Steinsalz der Staßfurt-Formation (z2) die besten geologischen Voraussetzungen einen ausreichend großen Homogenbereich innerhalb der Salzstruktur zu bilden, um dort im weiteren Verfahren einen ewG auszuweisen. Der Grund ist, dass die Staßfurt-Formation in ihrer ursprünglichen stratiformen Ablagerungsform bereits die größte zusammenhängende Mächtigkeit von Steinsalz zeigt. Zusätzlich weist sie einen hohen Reinheitsgrad auf und hat nur geringe Nebenanteile an z. B. Anhydrit. Das Hauptsalz der Staßfurt-Formation (z2Na) zeichnet sich weiterhin durch die Abwesenheit von anderen Lithologien, wie z. B. Einschaltungen von Kaliflözen aus, was durch zahlreiche Bergwerke und dem Kavernenbau bekannt ist (Balzer et al. 2020, Pollok et al. 2020). Hieraus folgt nicht, dass Homogensalzbereiche aus anderen Formationen (z. B. Leinesalz) grundsätzlich weniger geeignet sind bzw. dass dort kein ewG ausgewiesen werden kann. Vielmehr sind beim aktuellen Kenntnisstand die Erfolgsaussichten einen großen Homogensalzbereich innerhalb einer Salzstruktur vorzufinden, im Staßfurt-Steinsalz am größten. Zusätzlich ist es auch möglich, dass Homogensalzbereiche aus mehr als einer Zechstein-Formation bestehen. Da der konkrete innere Aufbau der Salzstruktur und die darin enthaltenen Homogensalzbereiche erst anhand zukünftiger Erkundungsergebnisse nachgewiesen werden können, wird im Folgenden ausschließlich das Staßfurt-Steinsalz als Referenz für die Bewertung herangezogen.

Im Rahmen des Projekts „Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Wirtsgesteinsanteilen mit Barrierefunktion und der Internbauvariabilität in Salzstrukturen“ (Pollok et al. 2024) wurde von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ein Vorgehen zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit von Salzstrukturen entwickelt. Die Methode basiert auf sieben geologischen Faktoren, die anhand von Bestandsdaten bewertet werden können und eine qualitative Bewertung der Internbauvariabilität zulässt. Einer dieser geologischen Faktoren ist die Gesamtfläche der Salzstruktur, der anhand der höchsten Wichtung von „sehr hoch“ eine besondere Bedeutung für die Gesamtbewertung hat. Hier wird u. a. anhand von geologischen Sohlenrissen verschiedener

Salzstrukturen eine lineare Abhängigkeit zwischen der Gesamtfläche einer Salzstruktur und der Fläche des Steinsalzes der Staßfurt-Formation belegt (Kapitel zur Querschnittsfläche in Pollok et al. 2024) (s. auch Abbildung 1). Dieser Zusammenhang wird für dieses rvSU-Kriterium „Ungünstige flächenhafte Ausdehnung der Salzstruktur“ genutzt, um eine vereinfachte Vorhersage der internen Konfiguration von Salzstrukturen zu ermöglichen. Damit sollen diejenigen Salzstrukturen identifiziert werden, in denen durch eine geringe Gesamtfläche die räumliche Charakterisierung ausreichend großer Homogensalzbereiche nicht zuverlässig möglich ist.

Mit der „Gesamtfläche der Salzstruktur“ ist die maximale flächenhafte Ausdehnung einer Salzstruktur gemeint. Berücksichtigt werden hierbei insbesondere die aufgestiegenen Bereiche aus Dach und Kern/Schlot. Nicht berücksichtigt wird ein ggf. großflächiger Wurzelbereich bzw. breitere Kissenfüße an der Basis der Salzstruktur. Für die Anwendung des Kriteriums wird deshalb die flächenhafte Ausdehnung bis zu der Suchtiefe von 1500 m u. GOK geprüft, da sich der breite Dachbereich von Salzstrukturen typischerweise oberhalb dieser Teufe befindet.

Der Vergleich der Gesamtfläche einer Salzstruktur und der Fläche des Steinsalzes der Staßfurt-Formation zeigt, dass im Durchschnitt etwas mehr als ein Drittel der Gesamtfläche aus Staßfurt-Steinsalz besteht. Die Ableitung der Wertungsgruppen für die Bewertung des geologischen Faktors orientiert sich an den Wertungsgruppen des geowissenschaftlichen-Abwägungskriterien-(geoWK-)Indikators „flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit (Vielfaches des Mindestflächenbedarfs)“ (Anlage 2 zu § 24 Abs. 3 StandAG). Dabei erfolgt unterhalb des Zweifachen des Vorsorgewerts für den Flächenbedarf (3 km² für Steinsalz, siehe BT-Drs. 18/11398) für die Fläche des Staßfurt-Steinsalzes eine „weniger günstige“ Bewertung. Dies entspricht 6 km² für die prognostizierten Homogenbereiche bzw. 16 km² für die maximale Gesamtfläche der Salzstruktur. Entsprechend erhalten Salzstrukturen mit einer maximalen Gesamtfläche unterhalb von 16 km² eine signifikante Abwertung, die durch die hohe Wichtung (vgl. Pollok et al. 2024) nicht vollständig durch andere geologische Faktoren kompensiert werden kann.

Die maximale Gesamtfläche der Salzstruktur lässt sich nicht für die Bewertung der zur Verfügung stehenden Flächen im Kontext der Bewertung des Flächenbedarfs für die zuverlässige Realisierung eines Endlagers übertragen. Dies ist damit begründet, dass die tatsächliche flächenhafte Ausdehnung des WbB in der Salzstruktur in der für das Endlager geplanten Tiefenlage durch die Morphologie der Salzstruktur meistens deutlich kleiner ist. Zusätzlich müssen die zur Verfügung stehenden Flächen nicht zwingend vollständig durch Homogensalzbereiche des Staßfurt-Steinsalzes abgedeckt werden, weshalb der oben beschriebene Zusammenhang für die Bewertung des geologischen Faktors „Querschnittsfläche“ im Rahmen der Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit für eine Flächenbewertung nicht direkt übertragbar ist. Da in diesen Homogensalzbereichen voraussichtlich die beste Eignung für den sicheren Einschluss und eine minimale Variation der Gesteinseigenschaften vorliegen, ist eine Realisierung des Endlagers in einem solchen Bereich jedoch anzustreben. Zusätzlich werden Salzstrukturen, die eine maximale Gesamtfläche von weniger als 16 km² besitzen, auch bei einer Bewertung des Flächenbedarfs in den repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) oder geoWK abgewertet, da die tatsächlich zur Verfügung stehenden Flächen für eine detaillierte Bewertung deutlich kleiner ausfallen.

Zusammenfassend werden Salzstrukturen mit einer maximalen Gesamtfläche von kleiner als 16 km² mit „ungünstig“ bewertet, da sie sowohl Nachteile bei der Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit als auch bei der flexiblen Realisierung des Endlagerbergwerks aufweisen, da keine ausreichend großen zusammenhängenden Homogenbereiche im Staßfurt-Steinsalz zu erwarten sind.

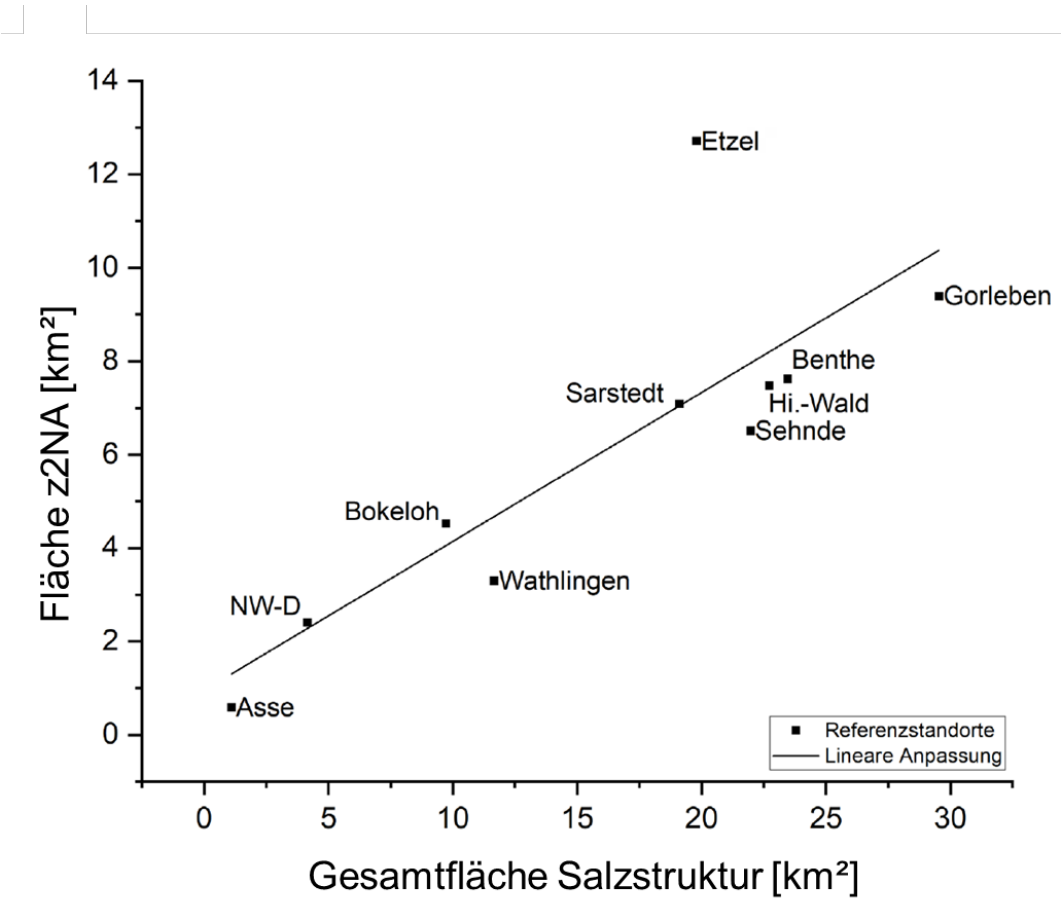

Abbildung 1: Fläche an Staßfurt-Steinsalz (z2Na) im Bezug zur Gesamtfläche der Salzstruktur gemäß ausgewerteter Referenzstandorte (Pollok et al. 2024)

2 Details der Anwendungsmethodik

Bewertungsgrundlage ist die maximale Gesamtfläche der entsprechenden Salzstruktur. Diese wird in einem Gebiet mithilfe der vorliegenden geologischen 3D-Strukturmodelle bis zu einer maximalen Teufe von 1500 m u. GOK ermittelt (Abbildung 2). Anschließend wird überprüft, ob die ermittelte Flächenausdehnung größer oder kleiner als 16 km^2 (der Grenze der Wertungsgruppe) ist.

Dieses Kriterium wird in dieser Auslegung im Wirtsgestein Steinsalz nur für Salzformationen in steiler Lagerung angewendet und nicht für Salzkissen oder Steinsalz in stratiformer Lagerung. Zusätzlich muss die Salzstruktur aus Zechsteinsalz aufgebaut sein. Der Grund ist, dass sich die fachliche Herleitung explizit auf Zechsteinsalze in steilstehenden Salzstrukturen bezieht und dies nicht auf abweichende geologische Situationen (u. a. Rotliegendsalze) übertragbar ist.

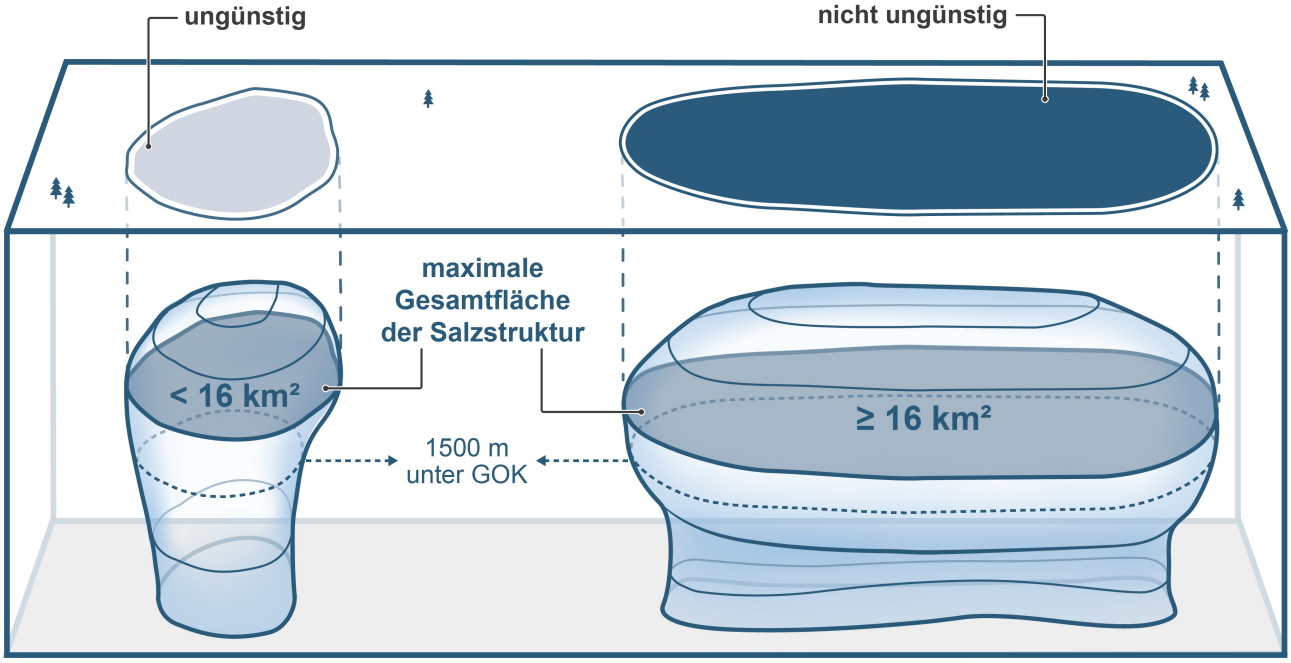

Abbildung 2: Anwendungsmethodik des rvSU-Kriteriums „Ungünstige flächenhafte Ausdehnung der Salzstruktur“.
Bewertet wird die größte zusammenhängende Flächenausdehnung der entsprechenden Salzstruktur bis zu einer maximalen Teufe von 1500 m u. GOK. Das rvSU-Kriterium wird mit „ungünstig“ bewertet, wenn im WbB nur Zechsteinsteinsalz vorliegt und die Gesamtfläche der Salzstruktur kleiner als 16 km² ist.

Literatur

Balzer, D.; Reichenbach, W.; Zeibig, S. (2020): *Staßfurt-Salz: Staßfurt-Steinsalz und Kaliflöz Staßfurt* In: DSK (Hrsg.), *Stratigraphie von Deutschland XII: Zechstein.* Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 89. S. 257 – 262. Berlin, Stuttgart: Deutsche Stratigraphische Kommission (DSK). ISBN 9783510492411

BGE (2023/3): *Vorgehen zur Ermittlung von Standortregionen aus den Teilgebieten*. Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE). Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE). https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Methodik/Phase_I_Schritt_2/20231004_Vorgehen_zur_Ermittlung_von_Standortregionen_aus_den_Teilgebieten_barrierefrei.pdf

BGE (2023/6): *Glossar der BGE zum Standortauswahlverfahren. Revision: 02*. Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE). Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE).

BT-Drs. 18/11398: Gesetzentwurf der Fraktionen CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN: Entwurf eines Gesetzes zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetze, Deutscher Bundestag, Drucksache 18/11398 vom 07.03.2017

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

Pollok, L.; Hammer, J.; Musmann, P. (2020): *Salinarstrukturen – Entstehung, Außenformen und Internbau* In: DSK (Hrsg.), *Stratigraphie von Deutschland XII: Zechstein.* Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 89. S. 559 – 593. Berlin, Stuttgart: Deutsche Stratigraphische Kommission (DSK). ISBN 9783510492411

Pollok, L.; Jähne-Klingberg, F.; Paul, B. (2024): *Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Wirtsgesteinsanteilen mit Barrierefunktion und der Internbauvariabilität in Salzstrukturen (Teilgebiete in Steinsalz in steiler Lagerung)*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover

StandAG: Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist