

Variationsbreite

Einordnung	
Prüfschritt	Prüfschritt 2
Wirtsgestein	Steinsalz
Fachlich-regulatorische Beschreibung	
Fachliche Beschreibung	Anhand des rvSU-Kriteriums wird die räumliche Charakterisierbarkeit des Wirtsgesteinsbereichs mit Barrierefunktion (WbB) ¹ bewertet. Dazu wird herausgearbeitet, wie homogen bzw. heterogen die Abfolge der Gesteine im WbB ist und inwieweit sich somit die Eigenschaften des WbB ermitteln und räumlich übertragen lassen.
Bedeutung für die Sicherheit des Endlagersystems	Eine gute räumliche Charakterisierbarkeit ist Voraussetzung für eine zuverlässige Sicherheitsaussage und somit für belastbare Abwägungsentscheidungen im Standortauswahlverfahren.
Thematischer und regulatorischer Bezug	Hauptgruppe „Räumliche Charakterisierbarkeit und Zuverlässigkeit der Sicherheitsaussage“ (vgl. BGE 2023/3, S. 27 ff.); Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG § 7 Abs. 6 Nr. 3 Buchst. a) EndlSiUntV
Anwendungsmethodik	
Kategorisierung	Eine Einstufung eines Gebiets in Kategorie C mittels der aus den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien (geoWK) abgeleiteten rvSU-Kriterien erfolgt durch eine gemeinsame Betrachtung mehrerer dieser rvSU-Kriterien (BGE 2023/3, S. 34 f.).
Bewertungsmethodik	Das Auftreten von Gesteinstypen einer anderen Lithologie als Beimengung oder Schichten innerhalb des WbB wird als Analogiebetrachtung für die Ableitung der Variationsbreite der Eigenschaften verwendet. Als Bewertungsmaßstab dienen die am günstigsten zu bewertenden 100 m des WbB einer Lokation.
Bewertungs-/Datengrundlagen	Die Bewertung erfolgt anhand von Bohrungsdaten (Schichtenverzeichnisse, bohrlochgeophysikalische Daten).

¹ Als 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	
günstig	Die Variationsbreite ist gering.
bedingt günstig	Die Variationsbreite ist deutlich, aber bekannt bzw. zuverlässig erhebbar.
ungünstig	Die Variationsbreite ist erheblich und/oder nicht zuverlässig erhebbar.

1 Fachliche Herleitung des Kriteriums

Das rvSU-Kriterium „Variationsbreite“ orientiert sich am Indikator „Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich“ des geoWK zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit (Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG). Anhand des rvSU-Kriteriums wird die „*Ermittelbarkeit der Gesteinstypen und ihrer charakteristischen Eigenschaften im vorgesehenen Endlagerbereich, insbesondere im vorgesehenen einschlusswirksamen Gebirgsbereich*“ (Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG) bewertet. Da zum aktuellen Zeitpunkt kein einschlusswirksamer Gebirgsbereich (ewG) ausgewiesen werden kann, bezieht sich das rvSU-Kriterium auf den WbB. Die räumliche Charakterisierung des WbB soll möglichst zuverlässig möglich sein, da sie Voraussetzung für zuverlässige Sicherheitsbewertungen sowie für belastbare Abwägungsentscheidungen ist.

Eine günstige Charakterisierbarkeit zeichnet sich dadurch aus, dass die in einem Gebiet vorkommenden Gesteinstypen und ihre bewertungsrelevanten Eigenschaften ermittelbar und räumlich übertragbar sind. Die Charakterisierbarkeit hängt einerseits vom strukturgeologischen Aufbau (Faltung, Störungen) und andererseits von der räumlichen Verteilung der Gesteinstypen und ihrer Eigenschaften, also vom homogenen bzw. heterogenen Aufbau der Gesteinsabfolgen in vertikaler und lateraler Richtung ab. Die Bewertung des hier beschriebenen rvSU-Kriteriums „Variationsbreite“ nutzt Gesteinstypen einer Lokation (bzw. Bohrung), um die Homogenität/Heterogenität innerhalb der Bohrung zu bestimmen, beschränkt sich also auf die Bewertung der Homogenität/Heterogenität in vertikaler Richtung. Bei der Bewertung der räumlichen Verteilung der Gesteinstypen wird hingegen die laterale Variation der Gesteinstypen im Raum bewertet. Mit dem rvSU-Kriterium „Gesteinsausbildung“ werden Gesteinsfazies überregional bewertet, indem eine Summe von genetisch zusammenhängenden Gesteinstypen im Raum betrachtet wird.

Das rvSU-Kriterium „Variationsbreite“ dient der Bewertung der Spannweite bewertungsrelevanter Eigenschaften für die Gesteinstypen, die den WbB aufbauen. Diese Eigenschaften der Gesteinstypen – wie Wärmeleitfähigkeit, Gesteinsdurchlässigkeit (z. B. Diffusionsparameter), elastische Eigenschaften und Festigkeit – werden maßgeblich von der mineralogischen Zusammensetzung und der Textur des Gesteins bestimmt und sind wichtige Eingangsparameter für die Sicherheitsanalysen. Da die Variabilität der Eigenschaften ohne Erkundungsmaßnahmen in einem Gebiet in Phase I des Standortauswahlverfahrens nicht ermittelbar ist, wird für die Bewertung des rvSU-Kriteriums davon ausgegangen, dass eine Variabilität der vorkommenden Gesteinstypen – wie homogen/heterogen die Abfolge innerhalb des WbB ist – sich auch in der Variabilität der Eigenschaften selbst niederschlägt. Der Grund hierfür ist, dass ein Gesteinstyp ein in sich überwiegend ähnlich zusammenge-

setztes Gestein ist, das wiederum durch charakteristische, lithologisch bedingte Eigenschaften definiert ist. Kommen innerhalb des WbB mehrere verschiedene Gesteinstypen vor, wird dies also als Analogiebetrachtung mit einer großen Variationsbreite der Eigenschaften gleichgesetzt.

2 Details der Anwendungsmethodik

Die Bewertung des rvSU-Kriteriums „Variationsbreite“ basiert auf der geowissenschaftlichen Bearbeitung des Gebiets, wobei der Hauptfokus der Charakterisierung auf dem WbB liegt. Dabei wird zunächst auf petrographische Beschreibungen der vorhandenen Gesteinstypen in den Schichtenverzeichnissen der Bohrungen und ggf. zusätzlich auf bohrlochgeophysikalische Messungen zurückgegriffen. Anhand dieser Arbeiten wird ermittelt, aus welchen Gesteinstypen der WbB in einem Gebiet aufgebaut ist. Für die objektive Bewertung wird als Betrachtungsmaßstab ein Gebirgsbereich von 100 m Mächtigkeit festgelegt, da dies der Mindestanforderung „Mächtigkeit des ewG“ entspricht (gemäß § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG). Um ein konsistentes Vorgehen sicherzustellen, bezieht sich das rvSU-Kriterium „Variationsbreite“ auf die am günstigsten zu bewertenden 100 m des WbB, solange kein Einlagerungsbereich festgelegt wurde.

Bei der Bewertung des rvSU-Kriteriums wird an Stelle der Variationsbreite der Eigenschaften selbst das Vorhandensein verschiedener Gesteinstypen genutzt. Abfolgen, die weitestgehend aus einem Gesteinstyp bestehen, sind mit „günstig“ zu bewerten (Abbildung 1, Tabelle 1). Bestehen Abfolgen aus mehreren Gesteinstypen bzw. kommen vermehrt Einschaltungen anderer Lithologie vor, ist davon auszugehen, dass diese Abfolgen eine deutliche Variationsbreite der Eigenschaften aufweisen. Diese Abfolgen werden als „bedingt günstig“ bewertet. Eine Bewertung als „ungünstig“ erfolgt, wenn die Abfolgen aus mehreren Gesteinstypen mit erheblicher Variationsbreite der Eigenschaften aufgebaut sind und sich diese nicht zuverlässig ermitteln lassen.

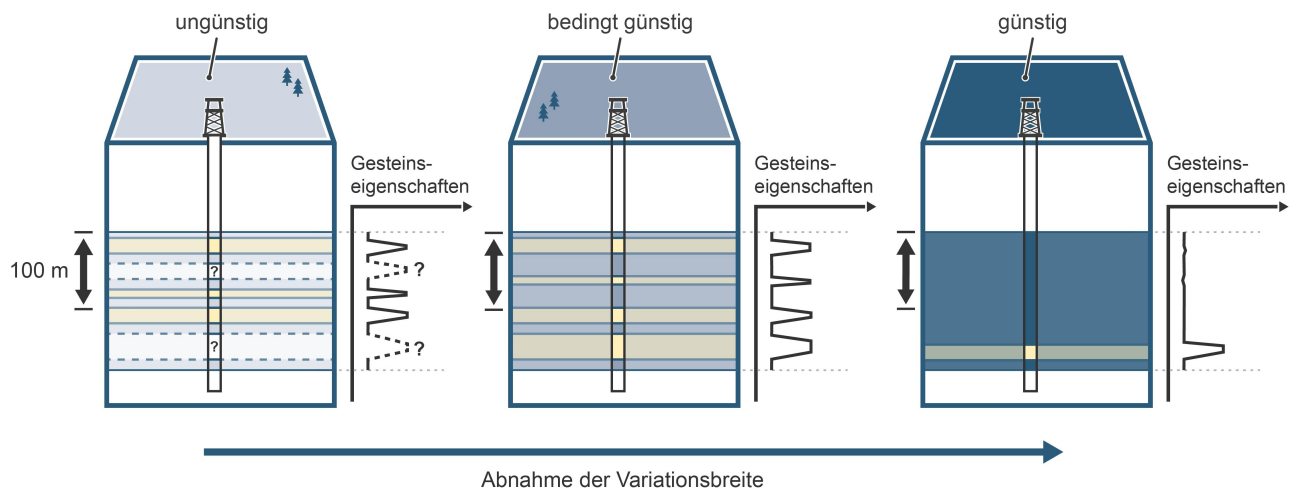


Abbildung 1: Anwendungsmethodik des rvSU-Kriteriums „Variationsbreite“. Das rvSU-Kriterium wird mit „ungünstig“ bewertet, wenn mehrere Gesteinstypen bzw. eine Wechsellagerung im Betrachtungsmaßstab und/oder die Eigenschaften nicht zuverlässig erhebbar sind. Die Anwendung des rvSU-Kriteriums bezieht sich auf die am günstigsten zu bewertenden 100 m des WbB einer Lokation. In den Teilabbildungen stellen die jeweils farblich hervorgehobenen Bereiche im Untergrund den WbB dar.

Tabelle 1: Wertungsgruppen des Indikators „Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich“ nach Anlage 3 (zu § 24 Abs. 3) StandAG und deren Übertragung auf das rvSU-Kriterium „Variationsbreite“

Wertungsgruppe	Nach StandAG	Allgemeine Beispielanwendung	Beispielanwendung Steinsalz
günstig	Die Variationsbreite ist gering.	Im Betrachtungsmaßstab kommt ein Gesteinstyp vor und dessen Eigenschaften sind bekannt bzw. zuverlässig erhebbar.	Steinsalz mit geringen Verunreinigungen; geringe Variationsbreite der Eigenschaften gemäß bohrlochgeophysikalischer Auswertung.
bedingt günstig	Die Variationsbreite ist deutlich, aber bekannt bzw. zuverlässig erhebbar.	Im Betrachtungsmaßstab liegen mehrere Gesteinstypen bzw. Wechsellagerung vor und die Eigenschaften der Gesteinstypen sind bekannt bzw. zuverlässig erhebbar.	Steinsalz mit weiteren Gesteinstypen anderer Lithologie (z. B. Anhydrit); deutliche Variationsbreite der Eigenschaften gemäß bohrlochgeophysikalischer Auswertung.
ungünstig	Die Variationsbreite ist erheblich und/oder nicht zuverlässig erhebbar.	Im Betrachtungsmaßstab liegen mehrere Gesteinstypen bzw. Wechsellagerung vor und/oder die Eigenschaften der Gesteinstypen sind nicht zuverlässig erhebbar.	Steinsalz mit weiteren Gesteinstypen anderer Lithologie (z. B. Anhydrit); erhebliche Variationsbreite der Eigenschaften gemäß bohrlochgeophysikalischer Auswertung.

Im Steinsalz in stratiformer Lagerung kann eine Bewertung der Abfolgen hinsichtlich der Variationsbreite zusätzlich zur Auswertung von Schichtenverzeichnissen anhand von geeigneten bohrlochgeophysikalischen Datensätzen erfolgen (Abbildung 1). Anhand dieser Datensätze kann die Mächtigkeit von homogenem Steinsalz an unterschiedlichen Lokationen (Bohrungen) ermittelt werden. Durch die Festlegung des Betrachtungsmaßstabs von 100 m kann die Bewertung des rvSU-Kriteriums anschließend anhand der Einzelbohrungen räumlich mithilfe von Mächtigkeitskarten übertragen werden. Die Übertragung ist auf die Gebiete beschränkt, für die räumlich repräsentative Bohrdaten vorliegen. Die Auflösung der meisten bohrlochgeophysikalischen Logs liegt detektorbedingt bei 0,5 m bis 1 m. Das bedeutet, dass die Parameter einer Gesteinsschicht mit einer Mächtigkeit von etwa dem 2-Fachen der Auflösung (also 1 m bis 2 m) noch korrekt gemessen werden. Unterhalb dieser Mächtigkeit ist eine Variabilität von Gesteinseigenschaften zwar noch sichtbar aber nur durch Modellierung des Sondenantwortverhaltens mit iterativem Schichtgrenzenabgleich auflösbar (Voss et al. 2009).

Für Steinsalz in steiler Lagerung wird die Bewertung des rvSU-Kriteriums in der Regel „günstig“ ausfallen. Der Grund ist, dass es durch den Salzaufstieg meist zur Bildung mächtiger Gesteinspakete (Steinsalz) mit weitgehend einheitlichen Gesteinseigenschaften und einer geringen Variationsbreite der Eigenschaften kommt. Es muss davon ausgegangen werden, dass diese Homogenbereiche mächtiger als 100 m sind, auch wenn dies auf Basis der vorhandenen Bohrungsdaten nicht immer bestätigt werden kann.

Literatur

- BGE (2023/3): *Vorgehen zur Ermittlung von Standortregionen aus den Teilgebieten*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. 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*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete/20200928_Glossar.pdf
- EndlSiUntV: Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094, 2103)
- 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
- Voss, B.; Torres-Verdin, C.; Gandhi, A.; Alabi, G.; Lemkecher, M. (2009): *Common Stratigraphic Framework To Simulate Well Logs And To Cross-Validate Static And Dynamic Petrophysical Interpretations*. In: Society of Petrophysicists and Well Log Analysts (SPWLA) (Hrsg.) *SPWLA 50th Annual Logging Symposium*, Woodland/Houston, 2009. Houston, Tex.: Society of Petrophysicists and Well Log Analysts (SPWLA). o.S.