

Gebirgsdurchlässigkeit

Einordnung	
Prüfschritt	Prüfschritt 1
Wirtsgestein	Tongestein
Fachlich-regulatorische Beschreibung	
Fachliche Beschreibung	Die Gebirgsdurchlässigkeit stellt die hydraulische Leitfähigkeit eines Gesteinsverbands dar und ergibt sich aus der Trennfugendurchlässigkeit und der Gesteins- oder Matrixdurchlässigkeit. Die Gebirgsdurchlässigkeit charakterisiert somit das Vermögen des Gesteins, Fluide zu transportieren. Sofern kein direkter Nachweis der Gebirgsdurchlässigkeit möglich ist, ist es zulässig, dass der Wirtsgesteinsbereich mit Barrierefunktion (WbB) ¹ aus Gesteinstypen besteht, denen grundsätzlich eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als 10^{-10} m/s zugeordnet werden kann. Bei der Ermittlung des WbB wird daher angenommen, dass Tongesteine nach der Begriffsbestimmung für das Wirtsgestein Tongestein eine ausreichend geringe Gebirgsdurchlässigkeit aufweisen.
Bedeutung für die Sicherheit des Endlagersystems	Durch Grundwasserbewegungen können radioaktive Stoffe potenziell aus dem WbB ausgetragen werden. Bei einer hohen Gebirgsdurchlässigkeit (k_f größer oder gleich 10^{-10} m/s) kann der sichere Einschluss von Radionukliden nicht zuverlässig gewährleistet werden.
Thematischer und regulatorischer Bezug	Hauptgruppe „Einschlusseigenschaften des Wirtsgesteins“ (vgl. BGE 2023/3, S. 27 ff.); § 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG § 7 Abs. 6 Nr. 3 Buchst. e) EndlSiUntV
Anwendungsmethodik	
Kategorisierung	Das Nichterfüllen dieses rvSU-Kriteriums zu Prüfschritt 1 ist hinreichend für die Einstufung in Kategorie D (BGE 2023/3, S. 32), was dadurch begründet ist, dass sich das rvSU-Kriterium an den gesetzlich festgelegten Mindestanforderungen (§ 23 StandAG) orientiert.
Bewertungsmethodik	Die Bewertung des rvSU-Kriteriums erfolgt anhand der Beschreibung des WbB auf Grundlage der Begriffsbestimmung für das Wirtsgestein Tongestein (Anhang 6.3 in BGE 2022/2, S. 709 f.). Sie erfolgt in Abhängigkeit der verfügbaren 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).

	mit Hilfe von entweder überregionalen stratigraphischen oder regionalen lithologischen Einheiten.
Bewertungs-/Datengrundlagen	Die Bewertung erfolgt anhand von Mächtigkeitkarten, Profilschnitten, geologischen Karten, geologischen 3D-Strukturmodellen, Bohrungsdaten (Schichtenverzeichnisse, bohrlochgeophysikalische Messungen), Ausstrichdaten sowie anhand der Publikation „Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands. Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen“ (Hoth et al. 2007).
Wertungsgruppen	
erfüllt	Die Gesteinstypen erfüllen die Begriffsbestimmung für das Wirtsgestein Tongestein und demnach voraussichtlich die Anforderungen an die Gebirgsdurchlässigkeit.
nicht erfüllt	Die Gesteinstypen erfüllen die Begriffsbestimmung für das Wirtsgestein Tongestein nicht. Demnach ist die Gebirgsdurchlässigkeit k_f höchstwahrscheinlich größer oder gleich 10^{-10} m/s.

1 Fachliche Herleitung des Kriteriums

Das rvSU-Kriterium „Gebirgsdurchlässigkeit“ orientiert sich an der gleichnamigen Mindestanforderung und ist in § 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG definiert: „[In] einem einschlusswirksamen Gebirgsbereich muss die Gebirgsdurchlässigkeit k_f weniger als 10^{-10} m/s betragen; sofern ein direkter Nachweis in den Begründungen für die Vorschläge nach den §§ 14 und 16 [StandAG] noch nicht möglich ist, muss nachgewiesen werden, dass der einschlusswirksame Gebirgsbereich aus Gesteinstypen besteht, denen eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als 10^{-10} m/s zugeordnet werden kann.“ Da zum aktuellen Zeitpunkt kein einschlusswirksamer Gebirgsbereich (ewG) ausgewiesen werden kann, bezieht sich das rvSU-Kriterium auf den WbB.

Als Grundlage für die Bewertung von Tongesteinen hinsichtlich der Gebirgsdurchlässigkeit werden die Studien von Hoth et al. (2007) sowie von Appel & Habler (2002) herangezogen. Die Studien beschreiben einen generellen Zusammenhang zwischen Gesteinstyp und Gebirgsdurchlässigkeit; Tonanteile verschiedener Gesteinstypen lassen sich nach Hoth et al. (2007) anhand von lithologischen Beschreibungen aus Schichtenverzeichnissen aushalten.

Da durch die Verwendung des Begriffs „Tonanteil“ von Hoth et al. (2007) der Eindruck einer quantitativen Bestimmung der Tonmineral- oder Korngrößenanteile entstehen kann, der vermieden werden sollte, verwendet die BGE den Begriff „Tonwert“. Der Tonwert wird nach der Methode des Tonanteils von Hoth et al. (2007, S. 12 ff.) aus den Beschreibungen der Gesteinsabfolge abgeleitet, die in den Schichtenverzeichnissen dokumentiert sind. Um von unterschiedlichen Bearbeitenden vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, wurde der von Hoth et al. (2007) entwickelte Bewertungsschlüssel durch die BGE konkretisiert (Tabelle 1). Tonmergelstein erhält einen Tonwert von 65. Mergelstein, kalkigem Mergelstein, Kalkstein mit anteilig siltigem und sandigem Tongestein werden Tonwerte kleiner 60 zugeordnet.

Zwar weisen Hoth et al. (2007) darauf hin, dass der aus den Gesteinstypen abgeleitete Parameter „Tonanteil“ ein Hilfsmittel ist, der für die großräumige Evaluierung der deutschen Tongesteinsformationen benutzt wurde, allerdings nicht zu einer direkten Ableitung einer Gebirgsdurchlässigkeit genutzt werden kann. Es wird aber angenommen, dass ein Tonwert von 60 oder weniger das rvSU-Kriterium an die Gebirgsdurchlässigkeit kleiner 10^{-10} m/s wahrscheinlich nicht erfüllt und damit ein WbB nicht zuverlässig festgelegt werden kann.

Appel & Habler (2002) untersuchten diese Zusammenhänge quantitativ. Nach Appel & Habler (2002) sind die Bandbreiten der k_f -Werte von Tongestein deutlich schmaler als bei Mergelstein (Tonwert von maximal 60). Tongestein erfüllt überwiegend die Mindestanforderungen einer Gebirgsdurchlässigkeit von kleiner als 10^{-10} m/s. Bei Mergelstein liegen Medianwert (und geometrischer Mittelwert) der k_f -Werte zwar für endlagerrelevante Teufen bei Werten kleiner als 10^{-10} m/s, die Bandbreite der Werte reicht aber weit in den Bereich höherer k_f -Werte hinein. Deshalb kann hier nicht davon ausgegangen werden, dass für Mergelstein k_f -Werte kleiner als 10^{-10} m/s zuverlässig eingehalten werden.

Tabelle 1: Beispiele für Gesteinstypen von Tongesteinen mit entsprechenden Tonanteilen nach Hoth et al. (2007) und Tonwerten (BGE)

Gesteinstypen	Tonanteil (%) nach Hoth et al. (2007)	Tonwert (BGE)
Ton/Tonstein	100	100
Ton/Tonstein mit sehr geringen Einschaltungen	80 bis 90	85
Ton/Tonstein, schluffig/sandig/karbonatisch	85 bis 95	90
Mergeltonstein	80	80
Tonmergelstein	65	65
Ton als Hauptkomponente, mit drei Nebenkomponten	40	40
Ton als Hauptkomponente, mit vier Nebenkomponten	30	30
Ton/Tonstein, Silt/Siltstein in Wechsellagerung	60	60
Silt/Siltstein, Ton/Tonstein in Wechsellagerung	40	40
Ton als Hauptkomponente mit zwei Nebenkomponten in Wechsellagerung	40 bis 50	45
Mergelgestein, kalkige Mergelsteine, Kalksteine	Keine Angaben	0 bis 60

2 Details der Anwendungsmethodik

Da sich das rvSU-Kriterium auf den WbB bezieht, ist Grundlage für die Anwendung des rvSU-Kriteriums eine erste Beschreibung der Konfiguration des WbB; diese Beschreibung erfolgt als einer der

ersten Arbeitsschritte in der geowissenschaftlichen Bearbeitung anhand der zur Verfügung stehenden Daten zu überregionalen stratigraphischen oder regionalen lithologischen Einheiten. Um einen WbB festlegen zu können, muss der Untergrund aus Gesteinstypen bestehen, denen eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als 10^{-10} m/s zugeordnet werden kann und die mindestens 100 m mächtig sind. Die Prüfung, ob ein WbB ermittelt werden kann, erfolgt also auf Basis der Begriffsbestimmung für das Wirtsgestein Tongestein (Anhang 6.3 in BGE 2022/2, S. 709 f.) durch die Anwendung der beiden rvSU-Kriterien „Gebirgsdurchlässigkeit“ und „Mächtigkeit“, die deshalb in der Praxis zusammen betrachtet und geprüft werden.

Für die Anwendung des rvSU-Kriteriums wird mithilfe der in Schichtenverzeichnissen vorhandenen lithologischen Beschreibungen zunächst den auftretenden Gesteinstypen ein Tonwert (Tabelle 1) zugeordnet. Als Bewertungsgrundlage dienen Schichtenverzeichnisse. Der Tonwert ist abhängig von Haupt- und Nebenkomponenten sowie der Schichtung (z. B. Wechsellagerung) der Sedimentgesteine, die in den Schichtenverzeichnissen beschrieben werden. Die Zuordnung eines Tonwerts erfolgt für die Bohrungen, die einen ausreichend hohen Informationsgehalt aufweisen, d. h., sofern im Schichtenverzeichnis eine petrographische und eine stratigraphische Beschreibung vorhanden ist. Sofern möglich, werden qualitative Beschreibungen aus Schichtenverzeichnissen mit quantitativen bohrlochgeophysikalischen Daten verifiziert. Darauf basierend erfolgt die Bewertung dieses rvSU-Kriteriums, wobei davon ausgegangen wird, dass erst ein Tonanteil größer 60 % (entspricht näherungsweise einem Tonwert größer 60) den Anforderungen an die Gebirgsdurchlässigkeit gerecht wird (Abbildung 1).

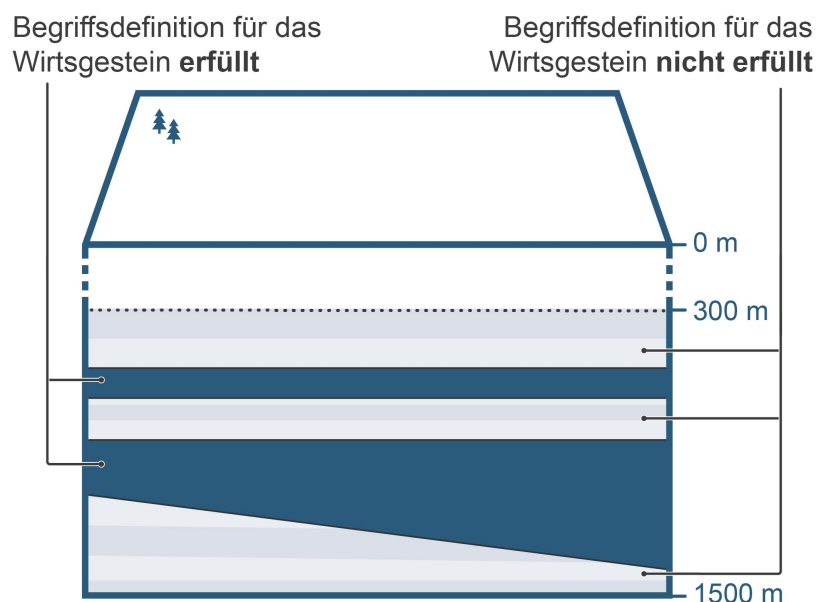


Abbildung 1: Anwendungsmethodik des rvSU-Kriteriums „Gebirgsdurchlässigkeit“. Das rvSU-Kriterium wird mit „nicht erfüllt“ bewertet, wenn die Gebirgsdurchlässigkeit k_f größer oder gleich 10^{-10} m/s beträgt. Sofern kein direkter Nachweis möglich ist, ist es zulässig, dass der WbB aus Gesteinstypen besteht, denen grundsätzlich eine Gebirgsdurchlässigkeit kleiner als 10^{-10} m/s zugeordnet werden kann. Die farblich dunkelblau hervorgehobenen Bereiche im Untergrund stellen den WbB dar. Nach Prüfung der Gebirgsdurchlässigkeit gemäß Begriffsdefinition für das Wirtsgestein Tongestein folgt unmittelbar die Prüfung der Mächtigkeit des WbB.

Literatur

- Appel, D. & Habler, W. (2002): *Quantifizierung der Wasserdurchlässigkeit von Gesteinen als Voraussetzung für die Entwicklung von Kriterien zur Grundwasserbewegung Phase 2: Auswertung der Datensätze für die Kriterienentwicklung*. Endlagerstandorte, Arbeitskreis Auswahlverfahren. Hannover
- BGE (2022/2): *Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung*. Peine: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH. https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Methodik/Phase_I_Schritt_2/rvSU-Methodik/20220328_Anlage_zu_rvSU_Konzept_Methodenbeschreibung_barrierefrei.pdf
- 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)
- Hoth, P.; Wirth, H.; Reinhold, K.; Bräuer, V.; Krull, P.; Feldrappe, H. (2007): *Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands. Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Berlin/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