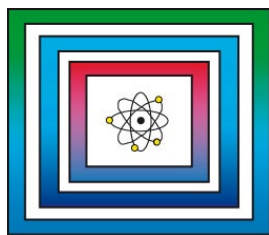


Standortauswahl Endlagerung

9S2018080000

Konzept zur generellen
Vorgehensweise
zur Anwendung der
geowissenschaftlichen
Abwägungskriterien



Abschlussbericht

Hannover, September, 2018

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE
HANNOVER

Standortauswahl Endlagerung

Konzept zur generellen Vorgehensweise zur Anwendung
der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

Abschlussbericht

Autoren:	von Goerne, Gabriela, Dr.; Bebiolka, Anke Christina; Beushausen, Matthias; Kuhlmann, Gesa, Dr.; Landsmann, Bettina; Mrugalla, Sabine; Reinhold, Klaus
Auftraggeber:	BGE
Auftragsnummer:	9S2018080000
Geschäftszeichen:	B3.1/B50161-08/2018-0004/001
Datum:	28.09.2018

Im Auftrag:

gez. G. Enste

Direktor und Professor G. Enste
Abteilungsleitung B3 und Projektleitung Endlagerung

Inhaltsverzeichnis	Seite
Verkürzte Zusammenfassung.....	3
1 Einleitung.....	5
2 Definitionen und Erläuterungen zum Verständnis der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien.....	5
2.1 Beispiel zur Erläuterung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien.....	8
3 Identifikation der erforderlichen Geodaten und Informationen zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien.....	12
3.1 Beispiel für die Identifikation der erforderlichen Geodaten.....	14
4 Erforderliche Aufbereitung von Daten und Informationen.....	15
4.1 Beispiel für die Datenaufbereitung.....	17
5 Erläuterung zur Anwendung der Wertungsgruppen und Bewertungsmaßstäbe.....	19
5.1 Beispiel zur Anwendung der Wertungsgruppen.....	20
6 Mögliche Methoden der Abwägungen.....	21
6.1 Beispiel Bewertungen der NAGRA im Sachplan-Verfahren der Schweiz:.....	22
7 Ablaufplan.....	28
Literaturverzeichnis.....	29
Abbildungsverzeichnis.....	31
Anhangverzeichnis.....	32

Gesamtblattzahl: 39

Verkürzte Zusammenfassung

Autoren:	von Goerne, Gabriela, Dr.; Bebiolka, Anke Christina; Beushausen, Matthias; Kuhlmann, Gesa, Dr.; Landsmann, Bettina; Mrugalla, Sabine; Reinhold, Klaus
Titel:	Konzept zur generellen Vorgehensweise zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien
Schlagwörter:	Geowissenschaftliche Abwägungskriterien, Konzept, StandAG, Geodaten, Standortauswahl

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) wendet als Vorhabenträger im Standortauswahlverfahren neben Ausschlusskriterien (§ 22 StandAG) und Mindestanforderungen (§ 23 StandAG) auch geowissenschaftliche Abwägungskriterien nach § 24 StandAG an. Ziel hierbei ist die Ermittlung von Teilgebieten in Deutschland, die sich auf Basis der Abwägung als günstig für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle erweisen. Die BGE hat der BGR die vorbereitenden Arbeiten für ein Konzept zur generellen Vorgehensweise bezüglich Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien übertragen, die hiermit vorliegen. Dieses Grobkonzept erläutert, jeweils anhand eines Beispiels, die Vorgehensweise zum Verständnis der Abwägungskriterien sowie die Identifikation und Aufbereitung der erforderlichen Geodaten zu deren Anwendung. Desweiteren wird die Anwendung der im StandAG skizzierten Wertungsgruppen und Bewertungsmaßstäbe erläutert. Mögliche Methoden zur Abwägung werden aufgezeigt.

In addition to exclusion criteria (§ 22 StandAG) and minimum requirements (§ 23 StandAG), the Federal Company for Radioactive Waste Disposal (BGE), as the implementer in the site selection procedure, also applies the geoscientific weighting criteria in accordance with § 24 StandAG. The aim here is to identify sub-areas in Germany, which prove to be favourable for a radioactive nuclear waste disposal site. The BGE has assigned to the BGR the preparatory work for a concept of the general procedure for the application of the geoscientific weighing criteria. The here presented general concept explains, in each case with the help of an example, the procedure for understanding the weighting criteria as well as the identification and preparation of the necessary geodata for their application. In addition, the application of the valuation groups and valuation yardsticks outlined in the StandAG are explained. Possible methods for weighting are shown.

1 Einleitung

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) hat als Vorhabenträger im Standortauswahlverfahren, unter Anwendung der in den §§ 22 bis 24 im Standortauswahlgesetz (StandAG) festgelegten geowissenschaftlichen Anforderungen und Kriterien, Teilgebiete zu ermitteln, die günstige geologische Voraussetzungen für die sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle erwarten lassen. Hierzu wendet sie auf die ihr von den zuständigen Behörden des Bundes und der Länder zur Verfügung zu stellenden geologischen Daten für das gesamte Bundesgebiet zunächst auf geowissenschaftlichen Ausschlusskriterien nach § 22 und auf die verbleibenden Gebiete die Mindestanforderungen nach § 23 an. Aus den darauf hin identifizierten Gebieten ermittelt der Vorhabenträger durch Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nach § 24 die Teilgebiete, die sich auf Basis der Abwägung als günstig erweisen.

Zu den vorbereitenden Arbeiten für das Konzept der generellen Vorgehensweise zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien zählt in einem ersten Schritt die Erstellung eines Grobkonzepts.

In einem zweiten Schritt erfolgt die Konkretisierung des Konzepts bis zur Ausführungsreife, einschließlich der Vorbereitung für die Datenabfrage durch die BGE. Hierzu wird die BGE nach Abnahme des Grobkonzepts eine gesonderte Leistungsbeschreibung vorlegen.

Der vorliegende Bericht bezieht sich ausschließlich auf Schritt 1. Die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien obliegt der BGE mbH.

2 Definitionen und Erläuterungen zum Verständnis der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

Gemäß § 24 Standortauswahlgesetz (StandAG) ist anhand der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien zu bewerten, ob in einem Teilgebiet, einer Standortregion oder an einem Standort eine insgesamt günstige geologische Gesamtsituation vorliegt. Die Bewertung ist aus der sicherheitsgerichteten Abwägung der Ergebnisse zu sämtlichen Abwägungskriterien nachvollziehbar abzuleiten. Nachvollziehbarkeit setzt unter anderem ein gemeinsames Verständnis bezüglich der verwendeten Kriterien voraus. Die Ausführungen zu den Abwägungskriterien in den Anlagen 1 bis 11 des StandAG beinhalten Begriffe und Formulierungen, die einer weitergehenden fachlichen Erläuterung bedürfen. Für eine einheitliche Verwendung der jeweiligen Abwägungskriterien und zur Nachvollziehbarkeit von Entscheidungswegen im Einengungsprozess sind öffentlich verfügbare Definitionen mit Erläuterungen der elf geowissenschaftlichen Abwägungskriterien erforderlich.

Die elf geowissenschaftlichen Abwägungskriterien im StandAG basieren auf dem Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe (EL-KOM 2016) und den Empfehlungen des Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd 2002). In der Begründung zum Gesetzentwurf (BT-Drs 18/11398) des StandAG werden die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien der Anlagen 1 bis 11 zu § 24 durch die Absätze 3 bis 5 im § 24 in folgende drei Kriteriengruppen untergliedert:

- Anlagen 1 – 4 zu § 24 Abs. 3: Erreichbare Qualität des Einschlusses und die zu erwartende Robustheit des Nachweises:
 1. Transport radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im ewG
 2. Konfiguration der Gesteinskörper
 3. Räumliche Charakterisierbarkeit
 4. Langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse
- Anlagen 5, 6 zu § 24 Abs. 4: Absicherung des Isolationsvermögens:
 5. Günstige gebirgsmechanische Eigenschaften
 6. Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten
- Anlagen 7 – 11 zu § 24 Abs. 5: Weitere sicherheitsrelevante Eigenschaften:
 7. Gasbildung
 8. Temperaturverträglichkeit
 9. Rückhaltevermögen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich
 10. Hydrochemische Verhältnisse
 11. Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge

Im Folgenden wird für die Gruppierung der Kriterien der Anlagen 1 bis 4, Anlagen 5 und 6 sowie der Anlagen 7 – 11 im StandAG der Begriff Kriteriengruppe verwendet. Für die elf Kriterien sind im StandAG bewertungsrelevante Eigenschaften mit zugehörigen Bewertungsgrößen/Indikatoren formuliert, die letztlich Wertungsgruppen zugeordnet sind (siehe Abbildung 1). Wie Bewertungsgrößen von Indikatoren zu unterscheiden sind, ist im Gesetz nicht definiert. Indikatoren sind per Definition des AkEnd (2002) Ersatzgrößen, die zur Beurteilung herangezogen werden, wenn die zu prüfenden Eigenschaften nicht direkt ermittelt werden können oder noch nicht ermittelt worden sind. (z.B. für die Diffusionsgeschwindigkeit bei Tonstein der Indikator „absolute Porosität“ oder in Anlage 4 die „Veränderung der Mächtigkeit“). Abweichend von dieser Systematik besitzen die

Abwägungskriterien der Anlage 5, 8 und 10 im StandAG keine Wertungsgruppen (siehe Kapitel 5).

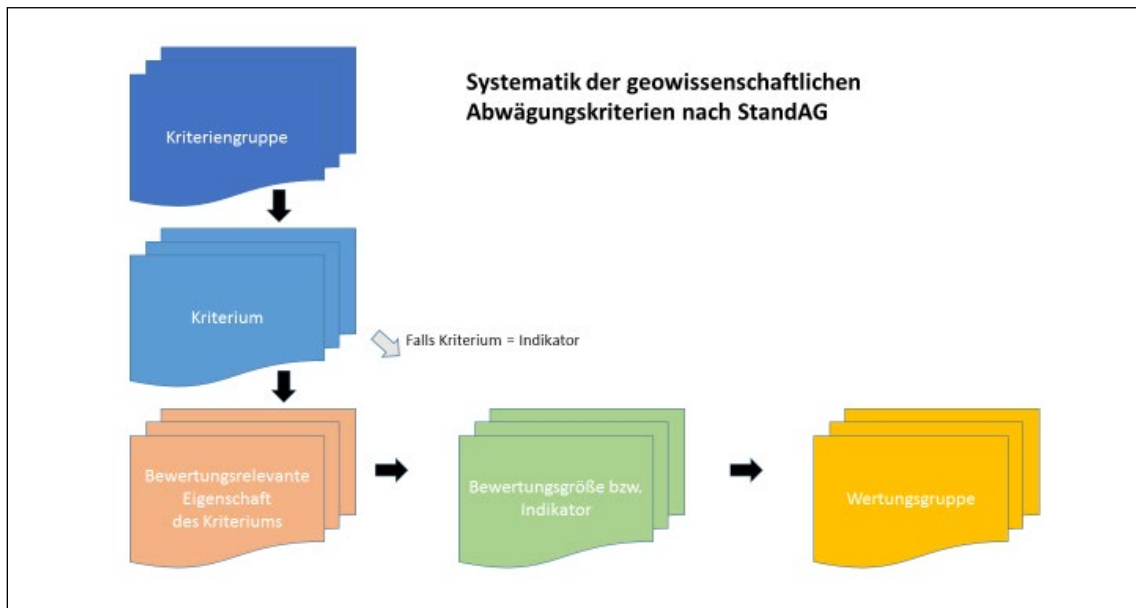


Abb. 1: Systematik der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nach Stand AG (Quelle: BGR).

Mit der zur Verfügung stehenden Datengrundlage (siehe Kapitel 3 und 4) ist zu prüfen, ob diese ausreicht, um jede/jeden Bewertungsgröße/Indikator anwenden zu können. Für eine sicherheitsgerichtete Abwägung sind zudem endlagersystemspezifische Signifikanzanalysen (Prüfung der Relevanz für die Sicherheit) der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien erforderlich. Auf dieser Grundlage sollen die Rolle der einzelnen geowissenschaftlichen Abwägungskriterien und ihrer möglichen Ausprägungen für die Endlagersicherheit bewertet werden.

Diese Analysen sind Ziel des laufenden Projektes RESUS (Grundlagenentwicklung für repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen und zur sicherheitsgerichteten Abwägung von Teilgebieten mit besonders günstigen geologischen Voraussetzungen für die sichere Endlagerung Wärme entwickelnder hoch radioaktiver Abfälle). Zur Vermeidung von Inkonsistenzen bei der Anwendung der Kriterien werden die Definitionen von Indikatoren bzw. Bewertungsgrößen der Abwägungskriterien aus dem Projekt RESUS mit Ergebnissen in diesem Projekt abgeglichen und abgestimmt. Aktuell (09/2018) werden im Projekt RESUS die Definitionen noch diskutiert und zwischen den Projektpartnern abgestimmt. Zur Einhaltung der Konsistenz der Begrifflichkeiten werden die abgeschlossenen Definitionen aus dem Projekt RESUS im Vorhaben „Abwägungskriterien“ übernommen.

Die Ausführungen in diesem Bericht können daher nur als Zwischenergebnisse gewertet werden. Die Definitionen und Erläuterungen zu den Kriterien werden im Folgeprojekt

fortgeschrieben. Es wird empfohlen, die Definitionen auf öffentlichen Themenworkshops mit externen Teilnehmern zu erörtern. Ziel der Themenworkshops ist die Schaffung eines möglichst breiten fachlichen Verständnisses zu den Kriterien. Dies wird als ein fortwährender, lernender Prozess im Auswahlverfahren angesehen, in dem das Verständnis zu den Kriterien diskutiert und dem jeweils neuen Kenntnis- und Sachstand angepasst wird. Dieses Vorgehen soll die Akzeptanz für die Anwendung der Kriterien fördern.

2.1 **Beispiel zur Erläuterung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien**

Ausdehnung, Anordnung und Tiefenlage von Gesteinskörpern sind in der Regel einfacher zu erheben als bestimmte Gesteinseigenschaften oder die hydraulischen und hydrochemischen Verhältnisse an einem Standort. Daher kommt der Konfiguration sicherheitsrelevanter Gesteinskörper als früh erkennbarem Merkmal einer „günstigen geologischen Gesamtsituation“ im Rahmen des Auswahlverfahrens besondere Bedeutung zu (siehe Begründung im Gesetzentwurf zum StandAG zu Anlage 2 in der BT-Drs 18/11398).

Dieser Argumentation folgend werden die ersten zwei Bewertungsgrößen/Indikatoren der bewertungsrelevanten Eigenschaft „Barrierewirksamkeit“ des Kriteriums zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper (Abbildung 2) beispielhaft erläutert.

Bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums	Bewertungsgröße beziehungsweise Indikator des Kriteriums	Wertungsgruppe		
		günstig	bedingt günstig	weniger günstig
Barrierewirksamkeit	Barrierenmächtigkeit [m]	> 150	100 – 150	50 – 100
	Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich	vollständig	unvollständig, kleinere Fehlstellen in unkritischer Position	unvollständig; größere Fehlstellen, in kritischer Position

Abb. 2: Der Ausschnitt aus Anlage 2 zu § 24 im StandAG zeigt die ersten zwei Bewertungsgrößen/Indikatoren des Kriteriums zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper.

Dargelegt ist eine mögliche Definition der Bewertungsgröße „Barrierenmächtigkeit“ und des Indikators „Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ (aktueller Zwischenstand im Projekt RESUS vom 26.09.2018).

Bewertungsgröße Barrierenmächtigkeit

Der Begriff Barrierenmächtigkeit ist im Gesetz nicht definiert. Die Einordnung in die Wertungsgruppen erfolgt anhand der in Anlage 2 StandAG angegebenen Wertungsgruppengrenzen. Gemäß Anlage 2 StandAG beschreibt diese Bewertungsgröße die Mächtigkeit der barrierewirksamen Gesteine.

Unter Barrierenmächtigkeit wird in den Fällen, in denen der Einlagerungsbereich innerhalb des Barrieregesteins liegt, der kleinste Abstand zwischen dem Einlagerungsbereich und dem Rand des Barrieregesteins verstanden, wobei diejenige Positionierung des Einlagerungsbereichs im Barrieregestein unterstellt wird, die diese Barrierenmächtigkeit maximiert.

Für den Fall, dass der ewG den Einlagerungsbereich überlagert bzw. umschließt, wird die Mächtigkeit der barrierewirksamen Gesteinsschicht im Hangenden des Einlagerungsbereichs betrachtet. Als Barrieremächtigkeit gemäß der Wertungsgruppen zu diesem Indikator wird die halbe Mächtigkeit der barrierewirksamen Gesteinsschicht angesetzt, da andernfalls die Wertungsgruppe „weniger günstig“ aufgrund der Mindestanforderung gemäß §23 Abs. 5 Nr. 2 nicht vorkommen könnte.

Nach StandAG wird die Barrierenmächtigkeit als

- günstig; Barrierenmächtigkeit >150 m,
- bedingt günstig; Barrierenmächtigkeit 100 – 150 m oder
- weniger günstig; Barrierenmächtigkeit 50 – 100 m

bewertet. Grundlage dieser Bewertungsstufen sind die Darstellungen im AkEnd-Bericht (2002) zur Mindestausdehnung des ewG.

Im Gegensatz dazu ist der Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich ein Indikator mit qualitativen Wertungsgruppen.

Der Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch den ewG ist eine qualitative Bewertung der geologischen Konfiguration dahingehend, ob entweder der Einlagerungsbereich Bestandteil des ewG ist (Konfigurationstyp A), oder der Einlagerungsbereich außerhalb des ewG liegt und vom ewG vollständig bzw. teilweise umschlossen wird (Konfigurationstyp Ba bzw. Bb).

Der Indikator „Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich“ wird wie folgt eingestuft:

- günstig; bei vollständiger Umschließung“
- bedingt günstig; bei unvollständiger Umschließung mit kleineren Fehlstellen in unkritischer Position
- weniger günstig; bei unvollständiger Umschließung mit größeren Fehlstellen in kritischer Position

Die möglichen Konfigurationen von Einlagerungsbereich und einschlusswirksamem Gebirgsbereich werden in zwei Haupttypen gegliedert.

Typ A: die Gesteine des Einlagerungsbereichs weisen eine sicherheitsrelevante Barrierewirksamkeit auf und sind Bestandteil des ewG. Einlagerungsbereich und ewG sind petrographisch gleichartig bzw. weisen übereinstimmende Barriereigenschaften auf (Abbildung 3).

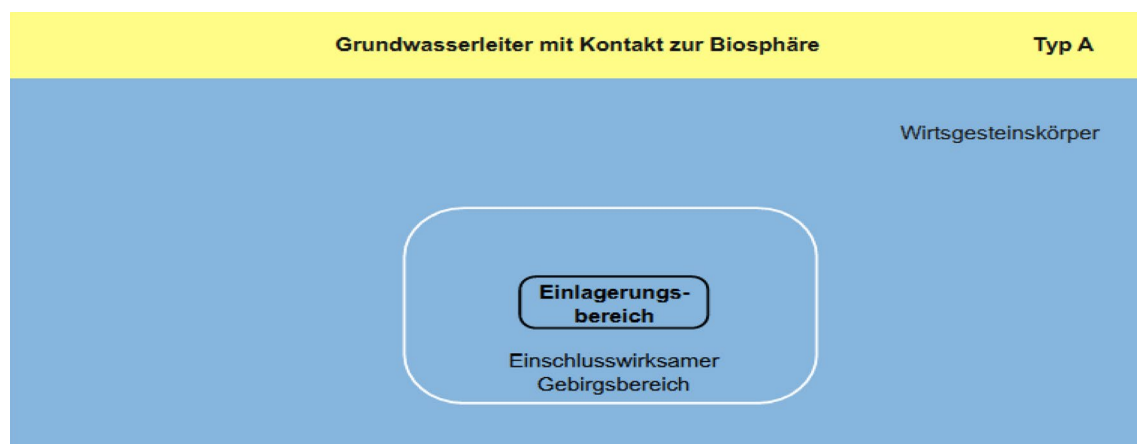


Abb. 3: Konfiguration Einlagerungsbereich / einschusswirksamer Gebirgsbereich Typ A (EL-KOM 2016).

Typ B: die Gesteine des Einlagerungsbereichs sind hinsichtlich ihrer Barrierewirksamkeit kein sicherheitsrelevanter Bestandteil des ewG. Der Einlagerungsbereich hat in dieser Konfiguration neben der Aufgabe, die Abfälle aufzunehmen, vor allem die Standsicherheit der Hohlräume im Endlager sicher zu stellen und sich robust gegenüber den Auswirkungen der Abfälle (Temperatur und Strahlung) zu verhalten. Der umgebende einschlusswirksame Gebirgsbereich nimmt die Aufgabe der Barrierewirkung wahr und hat eine große Ausdehnung. Der Konfigurationstyp B weist verschiedene Variationen auf. Diese lassen sich grundsätzlich zwei Untertypen zuordnen. Mit Typ Ba wird eine Konfiguration beschrieben, mit der der Einlagerungsbereich ohne sicherheitsrelevanter Barrierewirkung vollständig vom ewG mit den gegebenen Anforderungen an die Mächtigkeit umschlossen ist (Abbildung 4).

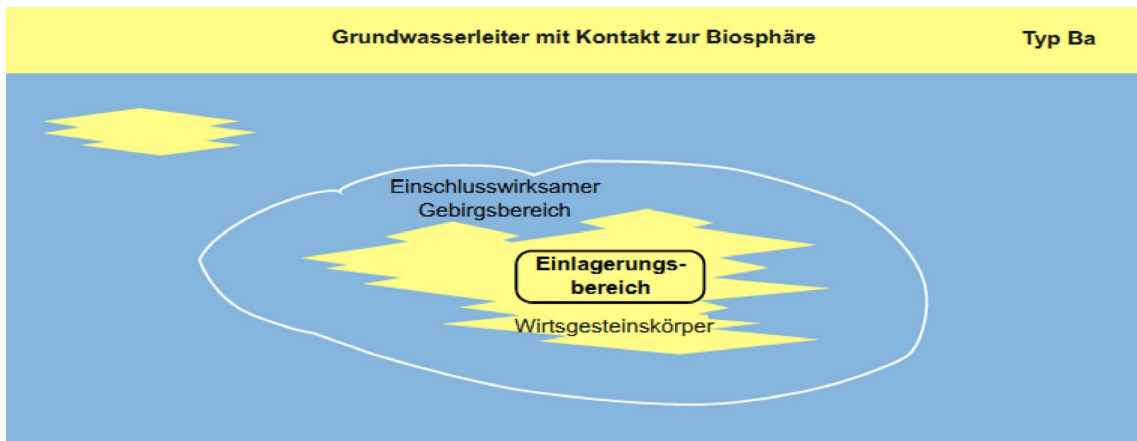


Abb. 4: Konfiguration Einlagerungsbereich / einschusswirksamer Gebirgsbereich Typ Ba (EL-KOM 2016).

Typ Bb hingegen beschreibt eine Konfiguration, bei welcher der Einlagerungsbereich ohne sicherheitsrelevanter Barrierewirkung unvollständig vom ewG umgeben ist (Abbildung 5).

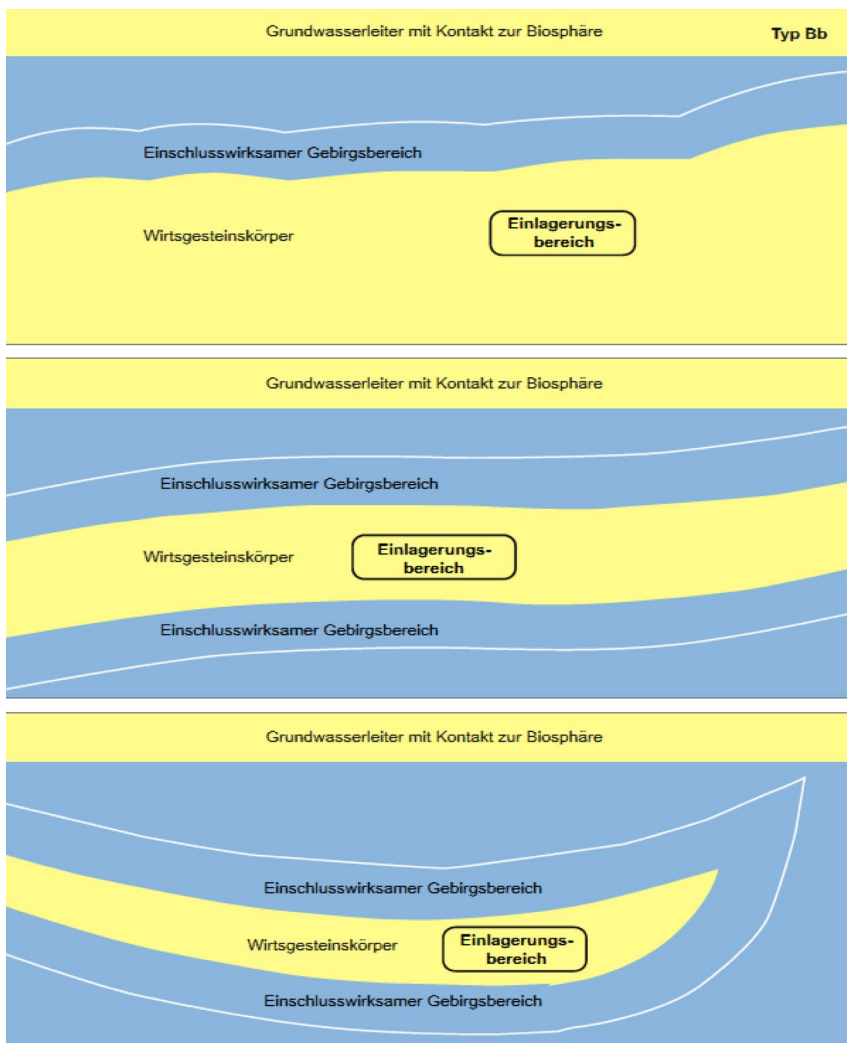


Abb. 5: Konfiguration Einlagerungsbereich / einschusswirksamer Gebirgsbereich Typ Bb (EL-KOM 2016).

Standortspezifisch sind weitere Anordnungen der Konfigurationstypen Ba und Bb hinsichtlich ihrer geometrischen Anordnung und der Barriereigenschaften des ewG denkbar. Beispiele sind der Abb. 5 zu entnehmen.

3 Identifikation der erforderlichen Geodaten und Informationen zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

Nachfolgend werden Schritte zur Identifizierung der erforderlichen Geodaten und Informationen zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien dargestellt und an Beispielen diskutiert.

§ 24 StandAG beschreibt die zur Bewertung der geologischen Gesamtsituation notwendigen geowissenschaftlichen Abwägungskriterien. Wie bereits in Kapitel 2 erläutert, sind den Abwägungskriterien quantitative und qualitative Bewertungsgrößen/Indikatoren zugeordnet, die zur Identifikation der erforderlichen Geodaten betrachtet werden müssen. Aus diesen lassen sich die erforderlichen für eine Bewertung notwendigen Informationen ermitteln. Mit anderen Worten, es müssen zunächst alle Informationen zusammengestellt werden, die notwendig sind, um das Kriterium zu erfassen.

Aus den speziellen Anforderungen der Bewertungsgrößen/Indikatoren resultieren diverse Informationsbedürfnisse, die zu berücksichtigen sind. Es kann davon ausgegangen werden, dass nicht alle erforderlichen Daten im notwendigen Umfang bei den anzufragenden Stellen vorliegen. Dies gilt es noch zu prüfen. Eine Abfrage aus dem Jahr 2016 (K-MAT 53a) gibt hier jedoch bereits Hinweise. Die von den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) gemachten Angaben sind in der Tabelle 1 im Anhang für zwei Bewertungsgrößen/Indikatoren beispielhaft gelistet.

Zu beachten ist dabei, dass die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien während des Auswahlverfahrens wiederholt zum Einsatz kommen und sich die Anforderungen an die Daten mit Fortschreiten der Verfahrensschritte verändern.

- Ermittlung von Teilgebieten mit günstigen geologischen Voraussetzungen (§ 13)
- Ermittlung günstiger Standortregionen (§ 14)
- Ermittlung günstiger Standorte (§ 16)
- Ermittlung geeigneter Standorte (§ 18)

Es ist offensichtlich, dass sich der zu betrachtende Raum zusehends verkleinert. Dies erfordert eine wiederholte Überprüfung der Kriterien anhand spezifischer Daten während

des gesamten Verfahrens. Werden anfangs in Phase 1 des StandAG-Verfahrens (§§ 13, 14) ausschließlich bereits vorhandene Daten genutzt (siehe Tabelle 1 im Anhang), folgen in Phase 2 (§ 16) zusätzlich durch oberirdische Erkundung zu erhebende neue Daten, bis hin zu den Daten aus der untertägigen Erkundung in Phase 3 (§ 18). Auf diese Weise wird schrittweise der Weg von der ‚weißen Landkarte‘ bis zur Identifizierung des Standorts mit der bestmöglichen Sicherheit zurückgelegt (EL-KOM 2016).

Für das Abwägungsverfahren müssen die für jeden Indikator erforderlichen Daten im Vorfeld ermittelt werden. Die Daten können als Rohdaten vorliegen oder auch aus Berichten und Publikationen entnommen werden.

Viele Daten liegen als Punktinformationen für eine Lokalität vor. Zur Bewertung des gesamten Gesteinskörpers, einer Fläche, eines Raumes erfolgt von diesen Punktdaten die Extra- und Interpolation der bewertungsrelevanten Eigenschaften. Alle weiteren Datenarten, z.B. 2D-Schnitte und 3D-Modelle basieren auf einer Interpolation zwischen den Messwerten bzw. Extrapolationen um die Messwerte, die durch weitere geowissenschaftliche Methoden gestützt werden können (z.B. Seismik, Geoelektrik, Faziesanalysen). Die dem Vorhabenträger gemäß § 13 StandAG von den zuständigen Behörden des Bundes und der Länder zur Verfügung zu stellenden geologischen Daten müssen dabei eine Auflösung haben, die die Wertungsgruppen der Bewertungsgrößen oder Indikatoren abbilden kann. Eine umfängliche Dokumentation der Qualität der Daten ist zwingend notwendig. Hierzu zählt auch eine Einschätzung der Ungewissheiten. Zu prüfen wäre, ob Qualitätsstandards festgelegt werden können.

Nachdem die für eine Bewertung notwendigen Informationen identifiziert wurden ist zu prüfen, ob die hierfür erforderlichen Daten bereits in einer Abfrage (zur Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen) erfasst wurden. Fehlende Daten können anschließend gemäß § 13 StandAG von den zuständigen Behörden des Bundes und der Länder angefragt werden. Im Falle erforderlicher Daten, die nicht vorliegen, bzw. nie erhoben wurden, ist zu prüfen, ob Alternativen erarbeitet werden können, mit deren Hilfe sich das Kriterium bzw. dessen zugeordneter Indikator bewerten lässt. Da Indikatoren miteinander in Beziehung stehen können, lassen sich in solchen Fällen eventuell zusammenhängende Bewertungen ableiten. Hierfür müssen die Abhängigkeiten der Indikatoren untereinander dargestellt werden. Wie mit solchen Fällen weiterhin umgegangen werden kann, wird in Kapitel 5 noch einmal thematisiert. Abschließend muss geprüft werden, ob die Datenmenge ausreichend für eine inhaltliche Bewertung der abzuprüfenden Räume ist und welche Anforderungen an die Datenaufbereitung bestehen (siehe Kapitel 4). Für den Fall, dass zu einem Indikator keine Daten vorliegen, muss festgelegt werden, wie mit diesen Fällen umzugehen ist. Es werden folgende konzeptionelle Arbeitsschritte in Kombination mit der Matrix der Datengrundlage in Anhang 2 empfohlen:

1. Arbeitsschritt: Ermittlung, welche geowissenschaftlichen Informationen erforderlich sind
2. Arbeitsschritt: Sichten und Prüfung, ob erforderliche Informationen bereits vorliegen
3. Arbeitsschritt: Prüfung, ob fehlende Informationen erhoben werden können
4. Arbeitsschritt: Abfrage von in den SGD vorhandenen Daten zu den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien
5. Arbeitsschritt: Aufzeigen von Alternativen (sofern möglich) für die Datenableitung (Beziehungsbaum Abhängigkeiten) bei fehlenden Daten
6. Arbeitsschritt: Prüfung, ob vorhandene Datenmenge ausreichend für eine Bewertung ist, Erläuterung möglicher Ungewissheiten
7. Arbeitsschritt: Qualitätsprüfung und Ableitung eventueller Anforderungen an Datenaufbereitung (siehe Kapitel 4)

Alle Arbeitsschritte und die sich daraus ergebenden Entscheidungen müssen nachvollziehbar dokumentiert werden.

3.1 Beispiel für die Identifikation der erforderlichen Geodaten

Am Beispiel des Kriteriums zur Bewertung der Konfiguration des Gesteinskörpers (Barrierenmächtigkeit (1) und Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich (2); s. a. Anlage 2, StandAG) soll das Vorgehen skizziert werden. Unter dem Begriff „Konfiguration“ werden in erster Linie die Lage, Ausdehnung und Mächtigkeit des Gesteinskörpers verstanden (EL-KOM 2016). Hinzu kommen die Tiefenlage des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, der Grad der Umschließung eines Einlagerungsbereichs durch einen ewG sowie die Isolation gegenüber Gesteinskörpern mit erhöhtem hydraulischem Potenzial. Als bewertungsrelevante Eigenschaft des Kriteriums wird unter anderem die „Barrierewirksamkeit“ mit Bewertungsgrößen bzw. Indikatoren benannt.

Für die Bewertungsgröße *Barrierenmächtigkeit* sind Meterangaben gefragt. Für diese erforderlichen Datenarten lassen sich die Tiefenwerte des Barrieresteins (Top und Basis) heranziehen, aus denen sich die Mächtigkeit in Metern errechnet. Die Tiefenwerte können beispielsweise anhand von Bohrungen ermittelt werden. Um auf die Konfiguration der Mächtigkeit zu kommen, können 2D seismische Profilmessungen die Mächtigkeiten im Profil darstellen. 3D seismische Messungen und weitere geophysikalische Messmethoden, zum Beispiel Geoelektrik, können diese Mächtigkeiten im Raum darstellen und damit ein

Maß für diese Bewertungsgröße darstellen. In der Wertungsgruppe werden definierte Wertebereiche für die Barrierenmächtigkeit angegeben. Diese reichen von >150m (günstig), über 100 – 150m (bedingt günstig), zu 50 – 100m (weniger günstig). Um die Bewertungsgröße messen zu können, müssen die Messmethoden mindestens eine Auflösung der geforderten Werte zeigen, um anwendbar zu sein. So ist die Auflösung in der Seismik z.B. von der Messkonfiguration (Abstand der Empfänger, Frequenz etc.) abhängig.

Für den Indikator *Grad der Umschließung* des Einlagerungsbereichs durch einen ewG sind Daten notwendig, die bereits teilweise für den Indikator Barrierenmächtigkeit erhoben wurden, so dass in diesem Beispiel ein Teil der Daten aus vorhergehenden Indikatoren bereits vorhanden ist.

Der Indikator Grad der Umschließung bezieht sich auf eine qualitative Abschätzung mit den Wertungsgruppen „vollständig“, „unvollständig, kleine Fehlstellen in unkritischer Position“ und „unvollständig, größere Fehlstellen in kritischer Position“. Hier sind noch Erläuterungen bzw. Definitionen für die eindeutige Anwendung des Indikators erforderlich, beispielsweise zum Verständnis über die Größe von Fehlstellen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich und das Verständnis darüber, welche Positionen von Fehlstellen als kritisch zu bezeichnen sind.

4 Erforderliche Aufbereitung von Daten und Informationen

Zu der Datengrundlage und -qualität stellt der Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe (EL-KOM 2016) fest, dass bundesweit gesehen die Dichte und Qualität von Informationen über den geologischen Untergrund heterogen sind. Der über lange Zeiträume gesammelte Datenbestand basiert auf verschiedensten geowissenschaftlichen Methoden sowie Fragestellungen und Anforderungen. Teilweise sind die für das Standortauswahlverfahren erforderlichen Auswertungen noch nicht durchgeführt. In der ersten Phase des Standortauswahlverfahrens ist eine umfassende Sichtung und Auswertung vorhandener, auch lediglich archivierter Informationen aus Dokumenten, Datenaufzeichnungen und Bohrkernen durchzuführen (EL-KOM 2016).

Sind keine geowissenschaftlichen Daten für die Anwendung eines Kriteriums verfügbar, muss geprüft werden, ob die vorliegenden geowissenschaftlichen Informationen sinnvoll für die Anwendung zu dem speziellen Kriterium ausgewertet werden können. Das heißt, die geologischen Informationen sind zu identifizieren, die zu den geforderten Abwägungskriterien passen (siehe auch Kapitel 3).

Dies verweist darauf, dass die Notwendigkeit der Datenaufbereitung allgemein mit der Erwartung eines Informationsgewinns verknüpft ist, wobei man unterscheiden kann in:

- A: Synthese des bestehenden Kenntnisstandes (Daten-/Kartenkompilation, Verifizierung)
- B: Referenzdatensätze für einzelne Regionen erstellen (z.B. Teilauswertung von Seismik, geophysikalische Bohrlochmessungen)
- C: Neubewertung der geologischen Informationen und Neukartierung im Rahmen der Standorterkundung

Im § 13 Abs. 2 (StandAG) wird der Vorhabenträger aufgefordert, für Gebiete, die aufgrund nicht hinreichender geologischer Daten nicht eingeordnet werden können, diese Gebiete aufzuführen und eine Empfehlung abzugeben, wie mit diesen Gebieten weiter umzugehen ist. Auch der Abschlussbericht der EL-KOM (2016) schlägt vor, dass der Vorhabenträger einen Vorschlag zur Datenaufbereitung unterbreitet, ob und gegebenenfalls welche weiteren Maßnahmen zur Datengewinnung der Vorhabenträger noch für erforderlich und machbar hält, ohne dass es zu erheblichen Verzögerungen im Standortauswahlverfahren kommt.

Im Verlaufe des Standortauswahlverfahrens werden sich die Anforderungen an die Quantität und die Qualität der Daten im Sinne einer zunehmenden Spezifizierung und Komplexität ändern. Dadurch wiederholen sich die Notwendigkeit der Datenaufbereitung, -verschneidung und -interpretation sowie der Bedarf an zusätzlicher geowissenschaftlicher Fachkenntnis. War zu Beginn des Verfahrens beispielsweise noch die alleinige Kenntnis des Vorhandenseins des Wirtsgesteins Tongestein ausreichend, werden für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien weitergehende Informationen erforderlich (siehe Kapitel 4.1).

Durch die Koppelung der genannten Bedingungen für eine mögliche Datenaufbereitung mit den geowissenschaftlichen Methoden kann eine systematische Herleitung von Aufbereitungskombinationen und daraus das Ablaufverfahren für die Datenaufbereitung erarbeitet werden. Hierfür sollten in einem integrierenden Ansatz Handlungsoptionen und der mögliche Handlungsbedarf für die datenbasierte Abwägung aufgezeigt und systematisch geowissenschaftliche Faktoren für die Datenaufbereitung identifiziert werden.

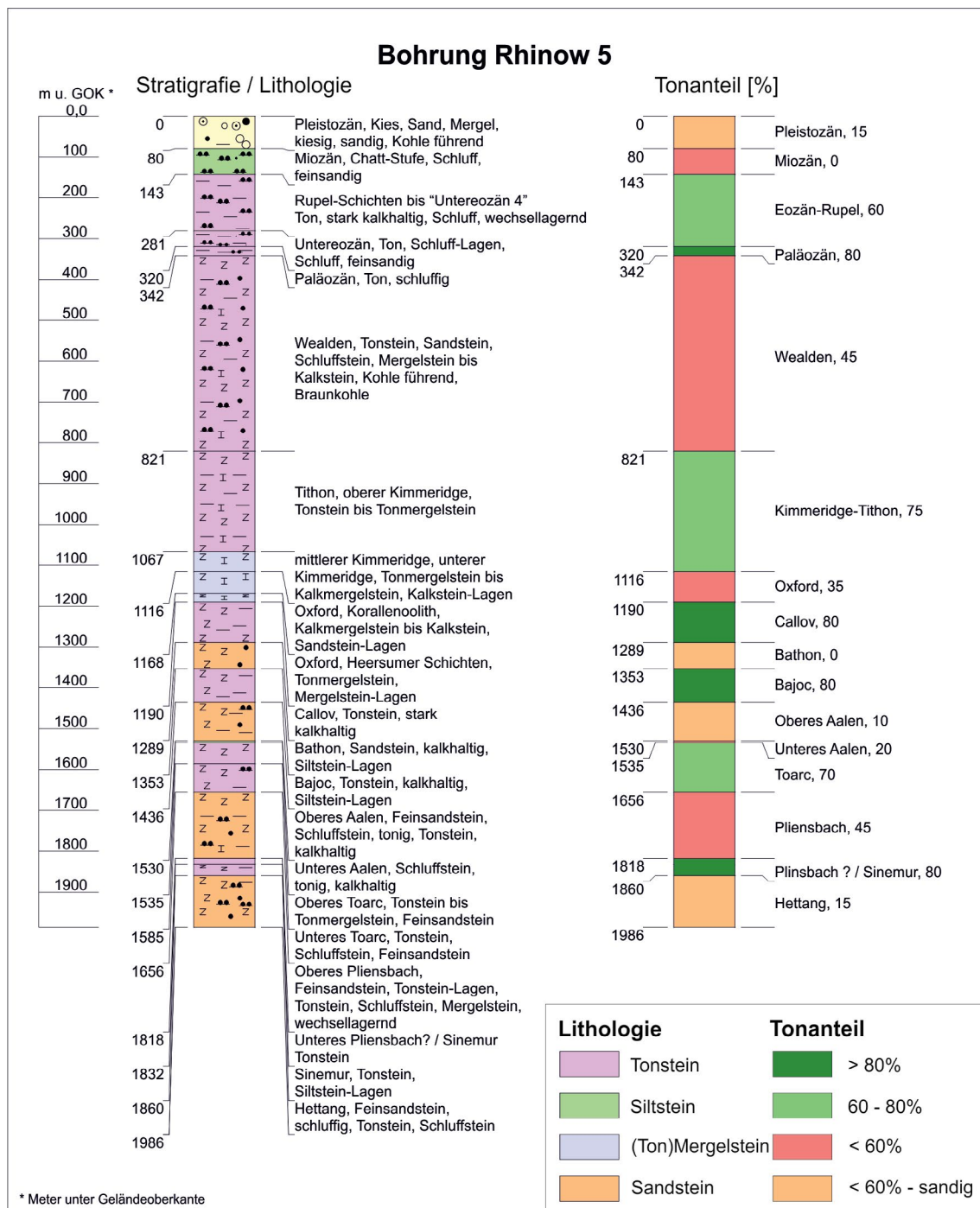
Aus den Ablaufverfahren resultieren, ausgehend von einem Startpunkt, entlang einer Zeitachse divergierende Handlungsoptionen. Für die Visualisierung und Strukturierung der divergierenden Handlungsoptionen können Mind-Mapping-Verfahren eingesetzt und in einer Analyse von Handlungsoptionen deren Stärken und Schwächen in Bezug auf das Verfahren benannt werden (SWOT-Analyse siehe Kapitel 6).

Für die Datenaufbereitung wird vorgeschlagen, die folgenden thematischen Schwerpunkte im Folgeprojekt (Schritt 2) des Projektes zu bearbeiten:

- Entwicklung und Analyse plausibler, praxisnaher Verfahren der Datenaufbereitung
- Aufzeigen von Handlungsoptionen und Handlungsbedarfe für die Datenaufbereitung im Rahmen des StandAG-Verfahrens (siehe Kapitel 5)

4.1 Beispiel für die Datenaufbereitung

In der Praxis bedeutet dies beispielsweise, dass für das Wirtsgestein Tongestein bereits eine grobe Abschätzung des Tonanteils durch Auswertung des Schichtenverzeichnisses einer Bohrung einen Informationsgewinn darstellen kann (Abb. 6). Mittels der Auswertungen von Bohrlochmessungen ist es möglich, diese Abschätzungen weiter zu verifizieren und durch Anwendung weiterer Methoden grundlegende Informationen für ein Gebiet zu erarbeiten (siehe Abbildung 7).



Bohrung Rhinow 5: Lithologie und Tonanteil (Quartär bis Jura)

Ansatzhöhe: 41 m	Rechtswert: 4526670
Höhenmaßstab: 1:15000	Hochwert: 5842992

Abb. 6: Abschätzung des Ton-/Tonsteinanteils für die Bohrung Rhinow 5 (aus HOHN et al. 2007).

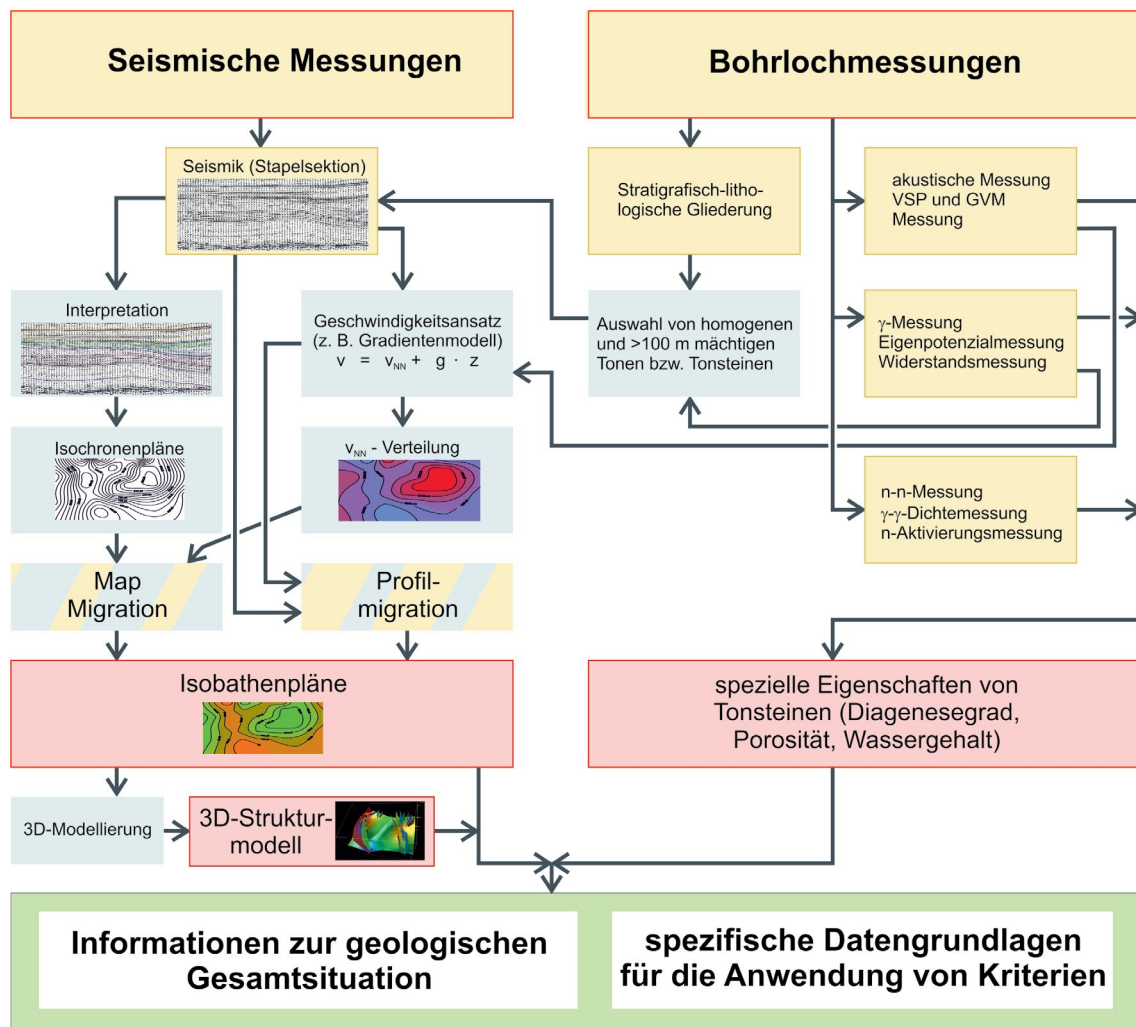


Abb. 7: Schematische Darstellung der Bearbeitung von seismischen Daten und Bohrlochmessungen zur Ableitung spezifischer Datengrundlagen (verändert nach HOTH et al. 2007).

5 Erläuterung zur Anwendung der Wertungsgruppen und Bewertungsmaßstäbe

Die in den Anlagen des StandAG aufgeführten Abwägungskriterien enthalten meist mehrere Indikatoren, die zur Bewertung eines Abwägungskriteriums herangezogen werden.

Grundsätzlich werden die Wertungsgruppen in die drei Kategorien „günstig“, „bedingt günstig“ und „weniger günstig“ eingeteilt. Abweichend davon wird in den Anlagen 3, 4 und 11 im StandAG die am wenigsten günstige Kategorie mit „ungünstig“ bezeichnet. Diese unterschiedlichen Einstufungen müssen in der späteren Aggregation der Indikatoren berücksichtigt werden. Die Anlagen 5, 8 und 10 im StandAG weisen dagegen keine Wertungsgruppen auf. An Stelle der Wertungsgruppen werden hier die wünschenswerten/vorteilhaften Eigenschaften des Gebirges für das jeweilige Kriterium formuliert.

Zur Konkretisierung der Anwendung der Wertungsgruppen wird vorgeschlagen, die folgenden thematischen Schwerpunkte im nächsten Schritt zu bearbeiten:

Die Wertungsgruppen für die jeweiligen Indikatoren werden hinsichtlich ihrer Abgrenzungen zueinander betrachtet. Dabei soll insbesondere aufgezeigt werden, welche Indikatoren hinsichtlich ihrer Einstufung aufgrund von Ungewissheiten in der Datenlage oder Vorgabe unbestimmter Begriffe den Wertungsgruppen nicht eindeutig zuzuordnen sind. Die identifizierten Sachverhalte werden erläutert und mögliche Vorgehensweisen aufgezeigt.

5.1 Beispiel zur Anwendung der Wertungsgruppen

Der Indikator „Barrierenmächtigkeit“ besitzt quantitative Angaben in Meter. Die Wertungsgruppen „günstig“, „bedingt günstig“ und „weniger günstig“ sind insofern exakt abgegrenzt.

Voraussetzung zur Einstufung des Indikators in die Wertungsgruppen ist die Definition des Begriffes „Barrierenmächtigkeit“ (siehe Kapitel 2). Die Bandbreite der Wertungsgruppe der Barrierenmächtigkeit reicht von 50 m bis >150 m. Im Folgenden werden erste Ansätze für eine Anwendung der Wertungsgruppen skizziert:

Voraussetzung für die Anwendung für einen quantitativen Indikator mit exakten Abgrenzungen der Wertebereiche in den Wertungsgruppen (siehe Kap. 2) ist die Definition der geologischen Barriere. Falls in einer Standortregion Barrieregesteine mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit im Übergangsbereich zwischen zwei Wertungsgruppen vorkommen, wäre die plausible Einstufung zu wählen und dieser Sachverhalt zu dokumentieren. Es wurden lediglich Barrierenmächtigkeiten zur Bewertung vorgegeben. Eine genaue Anforderungen an die Barriere wurde nicht formuliert. Zur Ausweisung von Teilgebieten bieten die Wertungsgruppen für die Barrierenmächtigkeit eine handhabbare Lösung. An die Stelle dieses Indikators treten zu gegebener Zeit die Ergebnisse von Modellrechnungen mit den erforderlichen Mächtigkeiten für einen Einschluss über den festgelegten Nachweiszeitraum.

Für die Anwendung des qualitativen Indikators „Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen ewG“ sollten bereits zu Beginn des Verfahrens unscharfe Aussagen für die hier vorliegenden Einstufungen geklärt werden, wie beispielsweise „kleinere Fehlstellen“ oder „unkritische Position“.

6 Mögliche Methoden der Abwägungen

Der AkEnd (2002) hat für die Aggregation der Einzelergebnisse der Abwägungskriterien keine formalisierte Regel aufgestellt. Wegen der Heterogenität der in die Bewertung einfließenden Aspekte und wegen der zum Zeitpunkt der Abwägung gegebenen Informationslage hält er es vielmehr für geboten, die Zusammenführung der Einzelbewertungen aus den drei Gewichtungsgruppen verbal argumentativ vorzunehmen. Er schlägt folgendes Vorgehen vor: Die Anforderungen und Kriterien der Gewichtungsgruppe 1 erhalten das vorgesehene Gewicht bei der zusammenfassenden Beurteilung dadurch, dass die gesuchten besonders günstigen Teilgebiete diese Anforderungen bzw. Kriterien in besonders hohem Maße erfüllen müssen. Das ist dann der Fall, wenn sie bei den Kriterien dieser Gruppe die Wertung „günstig“, allenfalls vereinzelt die Wertung „bedingt günstig“ erhalten. Die Anwendung der Kriterien aus Gewichtungsgruppe 2 führt zur Differenzierung der Gesamtbewertung, wenn sich diejenigen Teilgebiete, die in Gewichtungsgruppe 1 annähernd gleich günstig abschneiden, hinsichtlich der Erfüllung der Kriterien aus Gewichtungsgruppe 2 unterscheiden. „Besonders günstige“ Teilgebiete müssen auch in Gewichtungsgruppe 2 gute Ergebnisse aufweisen. Entsprechendes gilt hinsichtlich der Bedeutung der Kriterien in Gewichtungsgruppe 3.

Im GRS-Abschlussbericht zum Vorhaben 3607R02589 VerSi „Evaluierung der Vorgehensweise“ (2010) wird eine Anleitung zur Anwendung der Abwägungsmethodik für den Vergleich von Endlagersystemen in unterschiedlichen Wirtsgesteinsformationen gegeben. Die vorgestellte Abwägungsmethodik zielt auf die Robustheit der Sicherheitsfunktionen als übergeordnetes Vergleichskriterium im verbal-argumentativen Teil der Bewertungsmethode ab. Dabei wird insbesondere der Vertrauensgrad zu den Daten, über die Messgenauigkeit der Erkundungsmethode als auch hinsichtlich des Upscaling der Messdaten in Raum und Zeit, eruiert und bewertet. Ergänzt wird dies durch Lastfallberechnungen für ein Endlager und den daraus resultierenden Radiotoxizitätsfluss (als Index) über den Rand des einschlusswirksamen Gebirgsbereich.

Die Endlagerkommission (2016) kommt zu dem Schluss, dass sich eine günstige geologische Gesamtsituation nicht aus der besonders guten Erfüllung eines einzelnen Kriteriums, sondern aus der Summe der Erfüllung (beziehungsweise Erfüllungsgrade) aller Anforderungen und deren Kriterien ergibt. Dabei sind nicht nur die quantifizierten Indikatoren Gegenstand der Prüfung, sondern die vollständige Beschreibung der jeweiligen Anforderung.

Die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien kommen erstmals in Schritt 1 der Phase 1 des Standortauswahlverfahrens zur Anwendung und gelten ab dann für den gesamten weiteren Abwägungsprozess bis zur Auswahl des Endlagerstandorts. Das heißt, in jedem Prozessschritt sind für die darin betrachteten Gebiete mit sicher und potenziell erfüllten

Mindestanforderungen, Standortregionen oder Standorte alle Anforderungen mit ihren zugehörigen Abwägungskriterien entsprechend dem jeweiligen Informationsstand zu betrachten und abzuprüfen. Für die Bewertung und den Vergleich der jeweils zu betrachtenden Standortregionen beziehungsweise Standorte ist aus Sicht der Endlagerkommission (2016) ein verbal-argumentativer Abwägungsprozess erforderlich. Formale Aggregationsregeln, insbesondere solche mit kompensatorischer Aggregation der Einzelergebnisse der Kriterienanwendung, hält die Kommission nicht für zielführend. Unter einer Kompensation soll verstanden werden, dass bestimmte Indikatoren bzw. Bewertungsgrößen, die als weniger günstig eingestuft werden, durch andere mit günstiger Einstufung in der Zusammenschau kompensiert werden können.

6.1 Beispiel Bewertungen der NAGRA im Sachplan-Verfahren der Schweiz:

Als Beispiel für eine Abwägungsmethode wird im Folgenden das Vorgehen der NAGRA bei der Abwägung von Kriterien hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit im „Sachplan Geologisches Tiefenlager“ erläutert (siehe auch BGR 2015, Kapitel 1). Diese von der NAGRA in Etappe 1 und 2 angewendeten Kriterien sind nach Einschätzung der ESchT (2007) den Abwägungskriterien des AkEnd (2002) vergleichbar.

Der Bundesrat verabschiedete mit dem Sachplan Geologisches Tiefenlager (SGT) für SMA und HAA im April 2008 (BFE 2008) einen Einengungsprozess für eine Standortauswahl in der Schweiz. Das Programm ist nach ZUIDEMA (2015) gekennzeichnet durch ein schrittweises Vorgehen und Meilensteine mit Entscheidungspunkten (stepwise approach). Die Standortauswahl erfolgt in drei Etappen und wird mit der Rahmenbewilligung abgeschlossen.

Im Sachplanverfahren wurden in Etappe 1 insgesamt 13 Kriterien hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit angewendet. Zunächst wurden die für diese Kriterien zu beurteilenden Aspekte und deren Relevanz für die Sicherheit im Sachplan *Geologische Tiefenlager* nur qualitativ beschrieben (ESchT 2007). Im Unterschied zum StandAG wurden erst im Laufe des Verfahrens quantitative Kriterienwerte definiert, die in Art und Weise den Mindestanforderungen des AkEnd (2002) entsprechen, und das Bewertungsverfahren entwickelt. In den weiteren Schritten in Etappe 1 werden die festgelegten Kriterien angewendet, um geeignete geologisch-tektonische Großräume, potenziell geeignete Wirtsgesteine bzw. einschlusswirksame Gebirgsbereiche und dann geeignete Konfigurationen zu identifizieren. In der Mehrzahl sind die Kriterien hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit in ihrer Anwendung den Abwägungskriterien des AkEnd (2002) vergleichbar. Im Ergebnis liegt am Ende der Etappe 1 seitens der Entsorgungspflichtigen schließlich

eine Gesamtaussage auf einer qualitativen Werteskala zur Eignung der Standortgebiete vor. Bei der Abwägung wurde beispielsweise wie folgt verfahren:

In Etappe 1, Schritt 5 wurden geologische Standortgebiete für das Tiefenlager HAA in den geeigneten Großräumen für das bevorzugte Wirtgestein Opalinuston festgelegt. Zuerst wurden Bereiche (Konfigurationen) identifiziert, welche die Mindestanforderungen erfüllen. Danach wurden anhand von verschärften Anforderungen bevorzugte Bereiche (Konfigurationen) bestimmt. Anschließend wurden die bevorzugten Konfigurationen als Bausteine für die Festlegung der geologischen Standortgebiete verwendet (NAGRA 2008a). Die verbliebenen vier bevorzugten Bereiche wurden qualitativ vergleichend bewertet (siehe Abb. 8). Es wurden die Bereiche 1, 2 und 4 als prioritäre Bereiche für die Bezeichnung von geologischen Standortgebieten vorgeschlagen, davon 1 und 4 als sehr geeignet und 2 als geeignet. Die Vorgehensweise zur Bewertung der Konfigurationen in Schritt 5 der Einengungsprozedur ist von besonderer Relevanz für das Ergebnis. Aus Sicht der ESchT (2010) fehlt hier eine Würdigung der statistischen Bedeutung einzelner Indikatoren. Die Gesamtbewertung für ein Standortgebiet resultiert aus dem Mittelwert der Einzelbewertungen der vier Kriteriengruppen. Weitere Einschätzungen und Stellungnahmen hierzu sind der Homepage der „Expertengruppe Schweizer Tiefenlager“ zu entnehmen.

Kriterium / Kriteriengruppe		①	②	③	④
		Bevorzugte Bereiche mit Opalinuston			
Gesamtbewertung für bevorzugte Bereiche		P	P		P
1	Eigenschaften Wirtgestein	●	●	●	●
1.1	Räumliche Ausdehnung	●	●	●	●
1.2	Hydraulische Barrierenwirkung	●	●	●	●
1.3	Geochemische Bedingungen	●	●	●	●
1.4	Freisetzungspfade	●	●	●	●
2	Langzeitstabilität	●	●	●	●
2.1	Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften	●	●	●	●
2.2	Erosion	●	●	●	●
2.3	Lagerbedingte Einflüsse	●	●	●	●
2.4	Nutzungskonflikte	●	●	●	●
3	Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen	●	●	●	●
3.1	Charakterisierbarkeit der Gesteine	●	●	●	●
3.2	Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse	●	●	●	●
3.3	Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen	●	●	●	●
4	Bautechnische Eignung	●	●	●	●
4.1	Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen	●	●	●	●
4.2	Untertägige Erschließung und Wasserhaltung	●	●	●	●



Abb. 8: Vergleichende qualitative Bewertung der bevorzugten Bereiche (Konfigurationen) in Etappe 1, Schritt 5 für ein Tiefenlager HAA auf Stufe Kriterien und Kriteriengruppe gemäß SGT (NAGRA 2008a).

In Etappe 2 wurden in den drei vorgeschlagenen und genehmigten Standortgebieten für HAA-Tieflager (für hochradioaktive Abfälle) potenzielle Standorte identifiziert, wobei zusätzlich raumplanerische, ökologische und sozio-ökonomische Aspekte berücksichtigt wurden. Wie gut sich ein Standortgebiet für ein geologisches Tiefenlager eignet, wurde zuerst anhand von Dosisberechnungen geprüft. Danach wurden die Standortgebiete aufgrund ihrer geologischen Eigenschaften bewertet (NAGRA 2015b).

Bei der qualitativen Bewertung der Wirtsgesteine und Lagerperimeter (räumliche Konfiguration für Standortgebiet) wurden die 13 Kriterien aus Etappe 1 zur Standortevaluation verwendet. Neben den Eigenschaften des Wirtsgesteins wurden auch Aspekte der Langzeitstabilität, der Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen und der bautechnischen Eignung bewertet. Anhand aller Kriterien und Indikatoren (siehe Abb. 9 und 10) wurde jeweils geprüft, ob die Wirtsgesteine und Lagerperimeter beziehungsweise die geologischen Standortgebiete insgesamt mindestens die qualitative Bewertung «geeignet» erhalten (NAGRA 2015b). Der sicherheitstechnische Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete ist im Bericht NTB 14-01 der NAGRA (2014) beschrieben.

Kriteriengruppen	HAA Zürich Nordost	HAA Nördlich Lägern	HAA Jura Ost	SMA Südranden	SMA Zürich Nordost	SMA Nördlich Lägern	SMA Jura Ost	SMA Jura-Südfuss	SMA Weilenberg
GESAMTBEWERTUNG									
Eigenschaften des WG/EG									
Räumliche Ausdehnung									
Mächtigkeit									
Platzangebot untertags									
Hydraulische Barrierenwirkung									
Hydraulische Durchlässigkeit									
Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion									
Grundwasserstockwerke									
Geochemische Bedingungen									
Mineralogie									
pH									
Redox-Bedingungen									
Salinität									
Mikrobielle Prozesse									
Kolloide									
Freisetzungspfade									
Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums									
Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade									
Selbstabdichtungsvermögen									
Homogenität des Gesteinsaufbaus									
Länge der massgebenden Freisetzungspfade									
Langzeitstabilität									
Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften									
Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)									
Seismizität									
Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)									
Erosion									
Erosion im Betrachtungszeitraum									
Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen									
Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion									
Lagerbedingte Einflüsse									
Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten									
Chemische Wechselwirkungen									
Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Gas									
Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Temperatur									
Nutzungskonflikte									
Rohstoffvorkommen innerhalb des Wirtgesteins									
Rohstoffvorkommen unterhalb des Wirtgesteins									
Rohstoffvorkommen oberhalb des Wirtgesteins									
Mineral- und Thermalwassernutzungen									
Geothermie und weitere energiebezogene Nutzungen des Untergrundes									
Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen									
Charakterisierbarkeit der Gesteine									
Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit									
Erfahrungen									
Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse									
Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund									
Explorationsbedingungen an der Oberfläche									
Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen									
Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)									
Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation									
Bautechnische Eignung									
Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen									
Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften									
Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (u.B. Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)									
Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung									
Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen									
Natürliche Gasführung (im Wirtgestein)									

sehr geeignet
 geeignet

Die qualitative Gesamtbewertung ist für alle Standortgebiete mindestens «geeignet».


WG = Wirtgestein
 EG = Einschlusswirksamer Gebirgsbereich

sehr günstig
 günstig
 bedingt günstig
 ungünstig

nicht relevant für SMA, keine Wärmeentwicklung

Abb. 9: Qualitative Bewertung der Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten für das HAA-Lager beziehungsweise das SMA-Lager (gemäß NTB 14-01).

Entscheidrelevante Merkmale / Entscheidrelevante Indikatoren	Zürich Nordost	Nördlich Lägern	Jura Ost
Wirksamkeit der geologischen Barriere			
Hydraulische Durchlässigkeit			
Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums			
Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade			
Selbstabdichtungsvermögen			
Homogenität des Gesteinsaufbaus			
Mächtigkeit			
Länge der massgebenden Freisetzungspfade			
Kolloide			
Langzeitstabilität der geologischen Barriere			
Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)			
Selbstabdichtungsvermögen			
Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)			
Erosion im Betrachtungszeitraum			
Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen			
Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion			
Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion			
Seismizität			
Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet			
Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit			
Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund			
Bautechnische Machbarkeit			
Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (u.B. Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)			
Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen			
Platzangebot untertags			



- sehr günstig
- günstig
- bedingt günstig
- ungünstig

Abb. 10: Ergebnis des sicherheitstechnischen Vergleichs der Standortgebiete für ein HAA-Lager (NAGRA 2015b).

Die Gesamtbewertung für die Wirksamkeit sowie die Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere ist der Mittelwert der Bewertungen der zugeordneten entscheidungsrelevanten Indikatoren. Man geht davon aus, dass diese Indikatoren sich gegenseitig kompensieren. Für die Langzeitstabilität der geologischen Barriere und die bautechnische Machbarkeit ergibt sich die Gesamtbewertung aus der tiefsten Bewertung eines zugeordneten entscheidungsrelevanten Indikators. Dies beruht darauf, dass diese Indikatoren alle gleich wichtig und unabhängig voneinander sind. Ein günstiges Platzangebot kann zum Beispiel nicht schlechte geotechnische Verhältnisse wettmachen.

7 Ablaufplan

Ausgehend von den bisher vorliegenden zeitlichen Meilensteinen der BGE wird für die in Kapitel 2 bis 6 erläuterten Aufgaben der in Abbildung 11 dargelegte vorläufige Ablaufplan zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien zur Diskussion gestellt.

	Arbeitsschritte für die Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien	Meilensteine (gelb: Vorgaben BGE)	Aufgabe BGE	mögliche Aufgabe BGR	BGE-Workshop mit externen Experten wird empfohlen
	BGR-Konzept für das methodische Vorgehen zur Anwendung der geowiss. Abwägungskriterien	11/18			
	Diskurs mit externen Experten zum methodischen Vorgehen zur Anwendung der geowiss. Abwägungskriterien	begleitend, iterativ			
1	Definition und Erläuterung der geowiss. Abwägungskriterien				
	Die Entwicklung eines gesetzeskonformen und anwendungsorientierten Verständnisses der geowiss. Abwägungskriterien im StandAG erfolgt iterativ in Abstimmung mit dem Projekt RESUS und durch Einbindung externen Experten und der Öffentlichkeit	in RESUS in Arbeit, iterativ			
2	Identifikation der erforderlichen Geodaten				
2.1	Ermittlung, welche geowissenschaftlichen Informationen erforderlich sind	01/19			
2.2	Sichten und Prüfung, ob erforderliche Informationen bereits vorliegen	01/19			
2.3	Prüfung, ob fehlende Informationen erhoben werden können	01/19			
2.4	Abfrage von in den SGD vorhandenen Daten zu den geowissenschaftlichen Abwägungskriterien	01/19			
2.5	Aufzeigen von Alternativen (sofern möglich) für die Datenableitung (Beziehungsbaum Abhängigkeiten) bei fehlenden Daten	06/19			
2.6	Prüfung, ob vorhandene Datenmenge ausreichend für eine Bewertung ist, Erläuterung möglicher Ungewissheiten	06/19			
2.7	Qualitätsprüfung und eventuelle Anforderungen an Datenaufbereitung beschreiben	06/19			
3	Skizzieren der Datenaufbereitung				
	Entwicklung nachvollziehbar, wissenschaftsbasierter und praxisnaher Vorgehensweisen für die Datenaufbereitung im Standortauswahlverfahren, wie z. B. Abgleich der Daten an Ländergrenzen oder prüfen der Vergleichbarkeit unterschiedlich alter Datenbestände	06/19			
4	Anwendung der Geowissenschaftlichen Abwägungskriterien				
4.1	Identifizieren vorhandener Abwägungsmethoden	06/19			
4.2	Erarbeiten möglicher Abwägungsmethoden	06/19			
4.3	Festlegen der Abwägungsmethode	06/19			
5	Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien	12/19			
6	Teilgebietebericht schreiben	Mitte 2020			
7	Veröffentlichung Teilgebiete	Mitte 2020			

Abb. 11: Vorschlag für einen Ablaufplan zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien.

Die grünen Felder sind als Vorschlag für eine Aufgabenaufteilung zu sehen. Die benachbarten grünen Felder zeigen dementsprechend Empfehlungen für eine Zusammenarbeit auf. Eine Personalplanung für die BGR kann erst nach Festlegung der Aufgaben und ihres Umfangs mit der BGE erfolgen. Der Meilenstein zu Punkt 2.4 dient der Orientierung und begrenzt nicht die Arbeiten den BGR.

Literaturverzeichnis

- AkEnd (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte.
- BFE (2008): Sachplan Geologisches Tiefenlager – Konzeptteil.– Bundesamt für Energie (BFE): 92 S.; Bern, Schweiz.
- BGR (2015): Angewandte geowissenschaftliche Kriterien bei den Endlagerprojekten in den Ländern Schweiz, Frankreich, Schweden, Belgien und USA. – Kurzstudie; Hannover (BGR)
- 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.
- ESchT (2007): Stellungnahme zum Konzeptteil „Sachplan Geologische Tiefenlager“ basierend auf dem Entwurf des Schweizer Bundesamt für Energie (BFE) vom 11.01.2007. Anhang II: Zur Bedeutung quantitativer und qualitativer Auswahlkriterien. Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager, 7 Seiten.
- ESchT (2010): Stellungnahme der ESchT zur ersten Etappe des Schweizer Standortauswahlverfahrens für geologische Tiefenlager. Teil II: Sicherheitstechnische und geowissenschaftliche Aspekte. Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager, 63 Seiten.
- EL-KOM (2016): Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe: Verantwortung für die Zukunft. Ein faires und transparentes Verfahren für die Auswahl eines nationalen Endlagerstandortes. Abschlussbericht. 682 Seiten. K-Drs. 268
- 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: 118 S.; Berlin/Hannover (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)
- NAGRA (2008a): Entsorgungsprogramm und Standortgebiete für geologische Tiefenlager – Zusammenfassung. – Broschüre, November 2008, NAGRA, Wettingen.

- NAGRA (2008b): Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle: Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie. Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit. – Nagra Technischer Bericht 08-05, Oktober 2008.
- NAGRA (2014): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2. Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Textband. – NAGRA Technischer Bericht NTB 14-01, Wettingen.
- NAGRA (2015b): Standortgebiete für geologische Tiefenlager. Sicherheitstechnischer Vergleich: Vorschläge für Etappe 3. – Broschüre, 63 Seiten, Wettingen.
- StandAG (2017): Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG)
- ZUIDEMA, P. (2015): Das Forschungsprogramm zu Tongesteinen in der Schweiz: Aktueller Stand, zukünftiger Forschungsbedarf und Mechanismen der Forschungskontrolle (Schwerpunkt HAA-Lager). – Vortrag auf ESK-Workshop zur deutschen Endlagerforschung am 20./21. Januar 2015 in Bonn.

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Systematik der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien nach Stand AG (Quelle: BGR).....	7
Abb. 2: Der Ausschnitt aus Anlage 2 zu § 24 im StandAG zeigt die ersten zwei Bewertungsgrößen/Indikatoren des Kriteriums zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper.....	8
Abb. 3: Konfiguration Einlagerungsbereich / einschusswirksamer Gebirgsbereich Typ A (EL-KOM 2016).....	10
Abb. 4: Konfiguration Einlagerungsbereich / einschusswirksamer Gebirgsbereich Typ Ba (EL-KOM 2016).....	11
Abb. 5: Konfiguration Einlagerungsbereich / einschusswirksamer Gebirgsbereich Typ Bb (EL-KOM 2016).....	11
Abb. 6: Abschätzung des Ton-/Tonsteinanteils für die Bohrung Rhinow 5 (aus HOTH et al. 2007).....	18
Abb. 7: Schematische Darstellung der Bearbeitung von seismischen Daten und Bohrlochmessungen zur Ableitung spezifischer Datengrundlagen (verändert nach HOTH et al. 2007).....	19
Abb. 8: Vergleichende qualitative Bewertung der bevorzugten Bereiche (Konfigurationen) in Etappe 1, Schritt 5 für ein Tiefenlager HAA auf Stufe Kriterien und Kriteriengruppe gemäß SGT (NAGRA 2008a).....	24
Abb. 9: Qualitative Bewertung der Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten für das HAA-Lager beziehungsweise das SMA-Lager (gemäß NTB 14-01).....	26
Abb. 10: Ergebnis des sicherheitstechnischen Vergleichs der Standortgebiete für ein HAA-Lager (NAGRA 2015b).....	27
Abb. 11: Vorschlag für einen Ablaufplan zur Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien.....	28

Anhangverzeichnis	Seite
Anhang 1:	33
Datenverfügbarkeit bei den SGD ohne Stadtstaaten (aus K-MAT 53 a; Stand: 17.12.2015) – Beispiel Kriterium „Konfiguration der Gesteinskörper“	
Anhang 2:	34
Matrix der Datengrundlage für die Anwendung der Abwägungskriterien	

Anhang 1:

Datenverfügbarkeit bei den SGD ohne Stadtstaaten (aus K-MAT 53 a; Stand: 17.12.2015) – Beispiel Kriterium „Konfiguration der Gesteinskörper“

SGD	BW	BY	BB	HE	MV	NI	NW
Bewertungsgruppe/Indikator							
Barrierenmächtigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Bohrdaten, Mächtigkeitskarten, Fazieskarten, 3D-Modelle sind für Tonstein mit uneinheitlicher räumlicher Auflösung vorhanden. Für Kristallin sind sie weitgehend unbekannt. 	<p>LfU-Basisdaten: Verschiedene 3D-Modelle in unterschiedl. Detailierungsgraden; sehr grobe bayernweite Übersichtsmodelle; mehrere 3D-Modelle im Regionsmaßstab (nicht bayernweit)</p> <ul style="list-style-type: none"> OK Grundgebirge bayernweit; GK500 und GÜK200 flächendeckend; GK25 weitgehend flächendeckend Profilschnitte GK25 flächendeckend Bohrdatenbank: ca. 222.000 Bohrungen Bohrkernarchiv: 1103 Bohrungen (z. T. unvollst. Kernstrecken) 	<p>Bohrungen, Bohrlochgeophysik, seismische Erkundungsdaten, geologische Karten/Modelle</p> <p>vorhanden, aber noch nicht verfügbar (Recherche und Erfassung erforderlich, unaufbereitete, i.d.R. analoge Datenbestände)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Hessen 3D, lokale 3D Modelle Mächtigkeitsangaben der GK25 Bohrdatenbank/Bohrkataster geologische Profilschnitte aus den Kartenwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Schichtdaten tiefer Bohrungen (analog, teilweise digital) Bohrlochmessungen (werden z.Z. digitalisiert) 2D-Seismikdaten (überwiegend analog) Profile und Karten (analog, teilweise digital) 	<p>Es liegen nur vereinzelte und nicht regionalisierbare Daten für die in Rede stehenden Wirtsgesteine und das umgebende Deckgebirge vor.</p>	<p>Maßstabsabhängig liegen für die Landesfläche Daten vor, wobei Informationen über den tieferen Untergrund teilweise nicht über Bohraufschlüsse verifiziert sind. Detailuntersuchungen sind erforderlich.</p>
Grad der Umschließung des ewG							

SGD	RP	SL	ST	SH	TH	BGR
Bewertungsgruppe/Indikator						
Barrierenmächtigkeit	<p>3D-Modell ORG "GeORG", sonst Bohrungsdaten, Kartenwerke</p>	<p>Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland:</p> <ul style="list-style-type: none"> Müller, C. & Reinhold, K. [Hrsg.] (2011): Informationssystem Speichergesteine für den Standort Deutschland – eine Grundlage zur klimafreundlichen geotechnischen und energetischen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicher-Kataster Deutschland). Abschlussbericht. - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Berlin/Hannover (BGR-Archiv) http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/CO2/Speicherung/Downloads/Speicherkataster_Kartenanwendung.html?nn=1547442 Erläuterungen GK25 und GK50 Grundwassermodell Saarland 	<p>Es liegen keine flächendeckenden Daten vor. Diese sind standortkonkret zu ermitteln</p>	<p>Bohrdaten- und Seismikauswertungen für überschlägige Auswertung der Barrierenmächtigkeit liegen vor</p>	<p>Daten müssen z.T. noch recherchiert und ausgewertet werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> Bohrungen und Bohrlochgeophysik: über 8000 Bohrungen > 300m, ca. 4000 Bohrungen > 600 m Bohrdaten sind in der Fläche sehr heterogen verteilt, mit zunehmender Tiefe stark abnehmende Erkundungsdichte Seismische Erkundungen: Alt-Seismik (1950er/1960er Jahre): enges Netz im Thüringer Becken (schlechte Qualität); Moderne Seismik: wenige 2D-Profile; hochauflösende 3D-Seismik wurde nur an wenigen Standorten durchgeführt 3D-Modell: für Thüringer Becken im Übersichtsmaßstab vorhanden, Detailmodell langfristig im Aufbau Anmerkung: da keine max. Tiefe, werden die Aussagen mit zunehmender Tiefe unsicherer 	<p>BGR-Studien (z.T. mit Kooperationspartnern):</p> <ul style="list-style-type: none"> Geotektonischer Atlas NWD (inkl. geol. Schnitte) Regionales Reflexionsseismisches Kartenwerk der DDR Lithologisch-paläogeographischen Karte der DDR Tektonische Karte der DDR BGR Kristallin-, Salz-, Ton-Studie Speicher-Kataster Deutschland Niveauschnittkarten Norddeutschland Verbreitung und Eigenschaften flach lagernder Steinsalzschiechten (Projekt BASAL) Informationssystem Salzstrukturen (Projekt InSpEE)
Grad der Umschließung des ewG		Daten nicht vorhanden				

Anhang 2:

Matrix der Datengrundlage für die Anwendung der Abwägungskriterien

Bew. Größe/Indikator	Wertungsgruppe			Identifikation Geodaten		notwendige Datenaufbereitung	Anwendbarkeit Wertungsgruppen
	günstig	bedingt günstig	weniger günstig	erforderliche Datenarten	Daten in vorherigen Abfragen erfasst?		
Anlage 1: Transport radioaktiver Stoffe durch Grundwasserbewegungen im ewG							
Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers [mm/a]	< 0,1	0,1 – 1	> 1				• Erfordert die Gültigkeit von Darcy, die ist jedoch bei Kristallin und im Grunde auch bei Salinar nicht gegeben
Charakteristische Gebirgsdurchlässigkeit des Gesteinstyps [m/s]	< 10 ⁻¹²	10 ⁻¹² – 10 ⁻¹⁰	> 10 ^{-10*}				
Charakteristischer effektiver Diffusionskoeffizient des Gesteinstyps für tritiiertes Wasser (HTO) bei 25 °C [m ² /s]	< 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ – 10 ⁻¹⁰	> 10 ⁻¹⁰				
Für Ton: Absolute Porosität	< 20 %	20 % – 40 %	> 40 %				
Für Ton: Verfestigungsgrad	Tonstein	fester Ton	halbfester Ton				
* Für Endlagersysteme, die wesentlich auf geologischen Barrieren beruhen, sind Standorte mit einer Gebirgsdurchlässigkeit von mehr als 10 ⁻¹⁰ m/s gemäß § 23 Absatz 4 Nummer 1 als nicht geeignet aus dem Verfahren auszuschließen.							
Anlage 2: Konfiguration der Gesteinskörper							
Barriermächtigkeit [m]	> 150	100 – 150	50 – 100	Messungen der Tiefe Bohrungen, seismische Profile, 3D Modell	Daten wurden indirekt von BGE abgefragt	Datenaufbereitung notwendig	Voraussetzung zur Anwendung der Wertungsgruppen ist die Definition der geologischen Barriere. Mit einer nachvollziehbaren Begriffsdefinition ist die Anwendung der Wertungsgruppen gegeben. Falls eine Standortregion Barrieregesteine mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit im Übergangsbereich zwischen zwei Wertungsgruppen liegen sollte, ist die plausible Einstufung zu wählen und dieser Sachverhalt zu dokumentieren. Vermutlich wegen der lokalspezifischen Unkenntnis der Gesteinsausbildungen wurden lediglich Barriermächtigkeiten zur Bewertung vorgegeben, ohne genaue Anforderungen an die Barriere zu formulieren, die in einer frühen Phase des Standortauswahlverfahrens nicht abgeprüft werden können. Zur Ausweisung von Teilgebieten bietet die Wertungsgruppe für die Barriermächtigkeit eine pragmatische und handhabbare Lösung. Mit Vorlage lokaler Kenntnisse über die Barriereigenschaften der relevanten Gesteine ist der Indikator obsolet. An seine Stelle treten zu gegebener Zeit die Ergebnisse von Modellrechnungen mit den erforderlichen Mächtigkeiten für einen Einschluss über den festgelegten Nachweiszeitraum.
Grad der Umschließung des Einlagerungsbereichs durch einen ewG	vollständig	unvollständig kleinere Fehlstellen in unkritischer Position	unvollständig größere Fehlstellen in kritischer Position	3D Seismik, (Geoelektrik, -magnetik?) 3D Modell der Geometrie	Nein	Gegebenenfalls- Datenaufbereitung notwendig	Die Anwendbarkeit dieses Indikators erfordert die Bewertung einer qualitativen Wertungsgruppe. Für die entsprechende Einstufungen sind vor Beginn des Verfahrens unscharfe Aussagen zu klären, wie beispielsweise: „kleinere Fehlstellen“, „unkritische Position“.

- Anhang 2 -

Bew. Größe/Indikator	Wertungsgruppe			Identifikation Geodaten		notwendige Datenaufbereitung	Anwendbarkeit Wertungsgruppen
	günstig	bedingt günstig	weniger günstig	erforderliche Datenarten	Daten in vorherigen Abfragen erfasst?		
Teufe der oberen Begrenzung des erforderlichen ewG [m u. GOK]	> 500	300 – 500					
flächenhafte Ausdehnung bei gegebener Mächtigkeit (Vielfaches des Mindestflächenbedarfs)	>> 2-fach	etwa 2-fach	<< 2-fach				
Vorhandensein von Gesteinsschichten mit hydraulischen Eigenschaften und hydraulischem Potenzial, die die Induzierung bzw. Verstärkung der Grundwasserbewegung im ewG ermöglichen können	keine GWL als mögliche Potenzialbringer in unmittelbarer Nachbarschaft zum Wirtsgestein/ewG vorhanden		GWL in Nachbarschaft zum Wirtsgestein/ewG vorhanden				

- Anhang 2 -

Bew. Größe/Indikator	Wertungsgruppe			Identifikation Geodaten		notwendige Datenaufbereitung	Anwendbarkeit Wertungsgruppen
	günstig	bedingt günstig	weniger günstig	erforderliche Datenarten	Daten in vorherigen Abfragen erfasst?		
Anlage 3: Räumliche Charakterisierbarkeit							
Variationsbreite der Eigenschaften der Gesteinstypen im Endlagerbereich	gering	deutlich, aber bekannt bzw. zuverlässig erhebbar	erheblich und/oder nicht zuverlässig erhebbar				
Räumliche Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften	gleichmäßig	kontinuierliche, bekannte räuml. Veränderungen	diskontinuierliche, nicht ausreichend genau vorhersagbare räuml. Veränderungen				
Ausmaß der tektonischen Überprägung der geol. Einheit	weitgehend ungestört (Störungen im Abstand > 3 km vom Rand des ewG), flache Lagerung	wenig gestört (weitständige Störungen, Abstand 100 m bis 3 km vom Rand des ewG), Flexuren	gestört (engständig zerblockt, Abstand < 100 m), gefaltet				
Gesteinsausbildung (Gesteinsfazies)	Fazies regional einheitlich	Fazies nach bekanntem Muster wechselnd	Fazies nach nicht bekanntem Muster wechselnd				
Anlage 4: Langfristige Stabilität der günstigen Verhältnisse							
Zeitspanne, über die sich „Mächtigkeit“, flächenhafte bzw. räumliche „Ausdehnung“ und „Gebirgsdurchlässigkeit“ des ewG nicht wesentlich verändert haben	mehr als 10 Mio. Jahre keine Änderung	mehr als 1 Mio. Jahre, aber weniger als 10 Mio. Jahre keine Änderung	Änderung innerhalb der letzten 1 Mio. Jahre				
Anlage 5: Günstige gebirgsmechanische Eigenschaften							
Gebirge kann als geo-mechanisches Haupt-tragelement die Beanspruchung aus Auffahrung und Betrieb ohne planmäßigen tragenden Ausbau, abgesehen von einer Kontursicherung, bei verträglichen Deformationen aufnehmen	-	-	-				
um Endlagerhöhräume sind keine mechanisch bedingten Sekundär-permeabilitäten außerhalb einer unvermeidbaren konturnah entfestigten Auflockerungszone zu erwarten	-	-	-				

- Anhang 2 -

Bew. Größe/Indikator	Wertungsgruppe			Identifikation Geodaten		notwendige Datenaufbereitung	Anwendbarkeit Wertungsgruppen
	günstig	bedingt günstig	weniger günstig	erforderliche Datenarten	Daten in vorherigen Abfragen erfasst?		
Anlage 6: Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten							
Verhältnis repräsentative Gebirgsdurchlässigkeit/ repräsentative Gesteinsdurchlässigkeit	< 10	10 – 100	> 100				
Erfahrungen über die Barrierewirksamkeit der Gebirgsformationen in folgenden Erfahrungsbereichen <ul style="list-style-type: none"> • rezente Existenz als wasserlösliches Gestein • fossile Fluideinschlüsse • unterlagernde wasserlösliche Gesteine • unterlagernde Vorkommen flüssiger oder gasförmiger Kohlenwasserstoffe • Heranziehung als hydrogeologische Schutzschicht bei Gewinnungsbergwerken • Aufrechterhaltung der Abdichtungsfunktion auch bei dynamischer Beanspruchung • Nutzung von Hohlräumen zur behälterlosen Speicherung von gasförmigen und flüssigen Medien 	Die Gebirgsformation/der Gesteinstyp wird unmittelbar oder mittelbar anhand eines oder mehrerer Erfahrungsbereiche als gering durchlässig bis geol. dicht identifiziert, auch unter geogener oder technogener Beanspruchung.	Die Gebirgsformation/der Gesteinstyp ist mangels Erfahrung nicht unmittelbar/mittelbar als gering durchlässig bis geol. dicht zu charakterisieren.	Die Gebirgsformation/der Gesteinstyp wird unmittelbar oder mittelbar anhand eines Erfahrungsbereichs als nicht hinreichend gering durchlässig identifiziert.				
Duktilität des Gesteins (da es keine festgelegten Grenzen gibt, ab welcher Bruchverformung ein Gestein duktil oder spröde ist, soll dieses Kriterium nur bei einem Vergleich von Standorten angewandt werden)	Duktil/ plastisch-viskos ausgeprägt	Spröde-duktil bis elasto-viskoplastisch wenig ausgeprägt	Spröde, linear-elastisch				
Rückbildung der Sekundärpermeabilität durch Riss-schließung	Die Riss-schließung erfolgt aufgrund duktilen Materialverhaltens unter Ausgleich von Oberflächenrauigkeiten im Grundsatz vollständig.	Die Riss-schließung erfolgt durch mechanische Rissweitenverringern in Verbindung mit sekundären Mechanismen, z. B. Quelldeformationen.	Die Riss-schließung erfolgt nur in beschränktem Maße (z. B. bei sprödem Materialverhalten, Oberflächenrauigkeiten, Brückenbildung).				

Bew. Größe/Indikator	Wertungsgruppe			Identifikation Geodaten		notwendige Datenaufbereitung	Anwendbarkeit Wertungsgruppen
	günstig	bedingt günstig	weniger günstig	erforderliche Datenarten	Daten in vorherigen Abfragen erfasst?		

- Anhang 2 -

Rückbildung der mechanischen Eigenschaften durch Rissverheilung	Rissverheilung durch geochemisch geprägte Prozesse mit erneuter Aktivierung atomarer Bindungskräfte im Rissflächenbereich		Rissverheilung nur durch geogene Zuführung u. Auskristallisation von Sekundärmineralen (mineralisierte Poren und Kluftwässer, Sekundärmineralisation)				
Zusammenfassende Beurteilung der Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten aufgrund der Bewertung der einzelnen Indikatoren	Bewertung überwiegend „günstig“: Keine bis marginale Neigung zur Bildung von Fluidwegsamkeiten	Bewertung überwiegend „bedingt günstig“: Geringe Neigung zur Bildung von dauerhaften Fluidwegsamkeiten	Bewertung überwiegend „weniger günstig“: Bildung von dauerhaften sekundären Fluidwegsamkeiten zu erwarten				
Anlage 7: Gasbildung							
Wasserangebot im Einlagerungsbereich	trocken	feucht und dicht (Gebirgsdurchlässigkeit < 10–11 m/s)	feucht	• Analysedaten (Labor u. In-Situ)			<ul style="list-style-type: none"> • Abgrenzung zwischen trocken und feucht nicht mit Werten belegt (subjektive Einschätzung) • Verwendung/Auswirkung der Durchlässigkeit im Kriterium nicht erläutert
Anlage 8: Temperaturverträglichkeit							
Neigung zur Bildung wärmeinduzierter Sekundärpermeabilitäten und ihre Ausdehnung	–	–	–				
Temperaturstabilität des Wirtsgesteins hinsichtlich Mineralumwandlungen	–	–	–				
Anlage 9: Rückhaltevermögen im einschlusswirksamen Gebirgsbereich							
Kd-Wert für folgende langzeitrelevante Radionuklide ≥ 0,001 m ³ /kg	Uran, Protactinium, Thorium, Plutonium, Neptunium, Zirkonium, Technetium, Palladium, Jod, Cäsium, Chlor	Uran, Plutonium, Neptunium, Zirkonium, Technetium, Cäsium	–				

Bew. Größe/Indikator	Wertungsgruppe			Identifikation Geodaten		notwendige Datenaufbereitung	Anwendbarkeit Wertungsgruppen
	günstig	bedingt günstig	weniger günstig	erforderliche Datenarten	Daten in vorherigen Abfragen erfasst?		
Anlage 10: Hydrochemische Verhältnisse							
chemisches Gleichgewicht zwischen dem Wirtsgestein im Bereich des ewG und dem darin enthaltenen tiefen Grundwasser							
neutrale bis leicht alkalische Bedingungen (pH-Wert 7 bis 8) im Bereich des Tiefenwassers							
anoxisch-reduzierendes Milieu im Bereich des Tiefenwassers							
möglichst geringer Gehalt an Kolloiden und Komplexbildnern im Tiefenwasser							
geringe Karbonatkonzentration im Tiefenwasser							
Anlage 11: Schutzes des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs durch das Deckgebirge							
Überdeckung des ewG mit grundwasserhemmenden Gesteinen, Verbreitung und Mächtigkeit grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge	mächtige vollständige Überdeckung, geschlossene Verbreitung grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge	flächenhafte, aber lückenhafte bzw. unvollständige Überdeckung, flächenhafte, aber lückenhafte bzw. unvollständige Verbreitung grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge	Fehlende Überdeckung, Fehlen grundwasserhemmender Gesteine im Deckgebirge				
Verbreitung und Mächtigkeit erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge des ewG	mächtige vollständige Überdeckung, weiträumige geschlossene Verbreitung besonders erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge	flächenhafte, aber lückenhafte bzw. unvollständige Überdeckung, flächenhafte, aber lückenhafte bzw. unvollständige Verbreitung erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge	fehlende Überdeckung, Fehlen erosionshemmender Gesteine im Deckgebirge				
keine Ausprägung struktureller Komplikationen (z. B. Störungen, Scheitelgräben, Karststrukturen) im Deckgebirge, aus denen sich subrosive, hydraulische oder mechanische Beeinträchtigungen für den ewG ergeben könnten	Deckgebirge mit ungestörtem Aufbau	strukturelle Komplikationen, aber ohne erkennbare hydraul. Wirksamkeit (z. B. verheilte Klüfte/ Störungen)	strukturelle Komplikationen mit potenzieller hydraulischer Wirksamkeit				

Einschlusswirksamer Gebirgsbereich ersetzt durch **ewG**

Grundwasserleiter ersetzt durch **GWL**

[m unter Geländeoberfläche] ersetzt durch **[m u. GOK]**