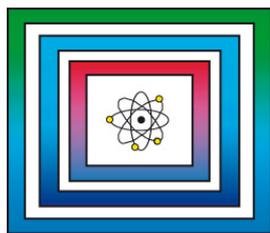


Standortauswahl

9S2016010000

Stellungnahme der BGR zur
Methodenentwicklung für die
repräsentativen vorläufigen
Sicherheitsuntersuchungen
der BGE



Stellungnahme

Hannover, Juni 2022

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND
ROHSTOFFE HANNOVER

Stellungnahme der BGR zur Methodenentwicklung für die
repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen der BGE

Datum: 01.07.2022
Geschäftszeichen: B3/B50160-04/2022-0002/002
Gesamtblattzahl: 34

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung	4
2 Nachvollziehbarkeit und Transparenz	5
2.1 Prüfschritte zur Einteilung (von Teilen) der Teilgebiete in Bewertungskategorien	5
2.2 Umfassende Bewertung (gem. § 10 EndlSiUntV) basierend auf unterschiedlichen Bearbeitungstiefen	9
2.3 Einbettung einzelner Arbeitsschritte in den regulatorischen Rahmen	9
2.4 Unklare Begriffsdefinitionen	10
3 Endlagerkonzepte im kristallinen Wirtsgestein	12
3.1 Endlagerkonzept im kristallinen Wirtsgestein, das wesentlich auf technischen und geotechnischen Barrieren beruht	12
3.2 Endlagerkonzept im kristallinen Wirtsgestein, in dem der sichere Einschluss der Radionuklide durch einen ewG sowie technische und geotechnische Barrieren erfolgt	13
3.3 Erhöhung der Mindestteufe für das kristalline Wirtsgestein	15
4 Paradigmenwechsel: vom „konservativen“ zum „best estimate“ Ansatz	16
5 Gebiete ohne hinreichende Informationen	17
6 Umgang mit Ungewissheiten bzw. Wahrscheinlichkeiten	18
6.1 Ausschlusskriterium Vulkanismus	18
6.2 Ungewissheiten bei Rechenfällen / -läufen	19
6.3 Bewertung von Ungewissheiten gem. § 11 EndlSiUntV	20
7 Quantitative Bewertung des sicheren Einschlusses	20
7.1 Integrität des ewG	20
7.2 Berücksichtigung von Anisotropie	24
7.3 Ermittlung des Diffusionskoeffizienten	25
7.4 Berücksichtigung des advektiven Transports	25

	Seite
8 Geosynthese gem. § 5 EndSiUntV	26
8.1 Kenngrößen	26
8.2 Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper	27
8.3 Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit	28
8.4 Eingangsparameter der geologischen Modelle	29
9 Begriffsbestimmung „Steinsalz“	30
10 Bewertung des sicheren Einschlusses mittels geowissenschaftlicher Abwägungskriterien	31
11 Fragen an die BGE	32
Literaturverzeichnis	33

Stellungnahme der BGR zur Methodenentwicklung für die repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen der BGE

1 Einleitung

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) legte Ende März 2022 ihren Arbeitsstand zum Konzept für die Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) vor. Der Bericht umfasst mehr als 800 Seiten in zwei Dokumenten mit 62 bzw. 744 Seiten. Das erste, kürzere Dokument fasst die Methodik für die rvSU zusammen (im Folgenden „Konzept“). Das zweite Dokument stellt die „einzelnen Arbeitsschritte der rvSU inklusive Erläuterungen anhand von Beispielen“ (Konzept, Blatt 10) detailliert dar (im Folgenden „Anlage“).

Aus Sicht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ist das dargelegte Vorgehen weitgehend plausibel, pragmatisch und zielgerichtet; vor dem Hintergrund der gesetzlich angelegten Verfahrensdauer bis 2031 gleichwohl zeitlich ambitioniert. Die Ausführungen in den beiden Unterlagen sind in großen Teilen nachvollziehbar, verständlich und konsistent. Sie wurden durch die begleitenden Öffentlichkeitsveranstaltungen der BGE wiederholt und umfassend kommuniziert. Der vorgelegte Arbeitsstand zur Methodik für die Durchführung der rvSU bildet eine gute Grundlage für eine Befassung und Diskussion der Inhalte mit der (Fach-)Öffentlichkeit.

Die BGR regt an, in den Unterlagen einige Aspekte noch klarer herauszuarbeiten bzw. die entsprechenden Teile zu überarbeiten. Die aus Sicht der BGR wichtigsten Aspekte werden im Folgenden, thematisch gruppiert, anhand von Beispielen angesprochen. Hierbei ist zu beachten, dass aufgrund der hohen Komplexität der durch die BGE veröffentlichten Unterlagen sowie des relativ kurzen Begutachtungszeitraums nicht ausgeschlossen werden kann, dass Hinweise zu einigen Passagen der Unterlagen durch weitere Ausführungen an anderer Stelle relativiert werden könnten. Eine abschließende Betrachtung des vorgelegten Konzepts für die Durchführung der rvSU erfolgt aufgrund des in Teilen vorläufigen Charakters des Konzepts hier nicht.

2 Nachvollziehbarkeit und Transparenz

Es wird angeregt, einige Aspekte der vorgelegten Methodik zur Durchführung der rvSU durch ausführlichere Formulierungen und Beispiele nachvollziehbarer zu gestalten sowie an einigen Stellen die Einbettung einzelner Arbeitsschritte in den regulatorischen Rahmen noch transparenter herauszuarbeiten.

2.1 Prüfschritte zur Einteilung (von Teilen) der Teilgebiete in Bewertungskategorien

Wesentliche Werkzeuge zum Vorschlag von Standortregionen als Abschluss der Phase I des Standortauswahlverfahrens sind die Ausweisung von (Teil-)Untersuchungsräumen für die Teilgebiete bzw. Teile davon (vgl. §3 EndlSiUntV) und die Durchführung von rvSU für diese (Teil-)Untersuchungsräume. Gemäß Methodenbeschreibung werden die (Teil-)Untersuchungsräume anhand von vier Prüfschritten in die Bewertungskategorien D bis A eingeordnet. Die Bearbeitungstiefe eines bestimmten Gebiets hängt dann maßgeblich von der zugeordneten Bewertungskategorie ab.

Prüfschritt 1 (Anwendung der Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen)

Während die Einteilung in Kategorie D, die zu einem Ausschluss eines Gebietes aus dem Verfahren führt, klaren Kriterien folgt (Prüfschritt 1: Ausschlusskriterien erfüllt bzw. Mindestanforderungen nicht erfüllt), erfolgt die Einteilung in die Kategorien C, B und A auf einer „überwiegend guten Bewertung“ der jeweiligen Gebiete in den Prüfschritten 2 bis 4. Die Definition einer „überwiegend guten Bewertung“ sollte daher präzisiert und gestärkt werden (siehe auch die folgenden Hinweise zu einzelnen Ziffern dieser Stellungnahme).

Prüfschritt 2 (Prüfschritt der qualitativen Bewertung des sicheren Einschlusses)

Besteht ein Gebiet den Prüfschritt 1 und erhält in Prüfschritt 2 keine „überwiegend gute Bewertung“, wird es direkt in Kategorie C eingestuft (Konzept, Blatt 19) und wird mit Ausnahme der „umfassenden Bewertung“ gem. § 10 EndlSiUntV nicht weiterbearbeitet (Konzept, Abb. 2). Es wird ausgeführt, dass für diesen Prüfschritt die Indikatoren der Anlagen 1 bis 4 des StandAG herangezogen werden (Anlage, Blatt 423ff & 430ff). Die Nachvollziehbarkeit der Argumentation wird dadurch eingeschränkt, dass von einer „überwiegend guten“ Bewertung gesprochen wird, die Indikatoren des StandAG jedoch mit „günstig“, „bedingt günstig“ und „ungünstig“ skaliert werden. Hier wird ein konsistenter Sprachgebrauch angeregt.

Es wird unter Verweis auf die Begründung des StandAG ausgeführt, dass für das Nichtbestehen des Prüfschritts nicht ein einzelnes Kriterium ausschlaggebend sein sollte. Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, dass davon „fachlich begründet abgewichen werden kann“. Hier wird eine fachliche Begründung anhand eines Beispiels für eine solche Abweichung angeraten (Anlage, Blatt 430).

Es wird erläutert, dass „eine Gewichtung der Kriterien, bewertungsrelevanten Eigenschaften und Indikatoren [der Anlagen 1 bis 4 nach StandAG]“ zunächst nicht erfolgt, da „eine detaillierte Berücksichtigung der Relevanz der einzelnen Indikatoren [...] nicht dem Ziel einer einfachen und leicht nachvollziehbaren Bewertung folgen [würde], da dies detaillierte Untersuchungen voraussetzen würde“ (Anlage, Blatt 431). Die Möglichkeit, zu „einer einfachen und leicht nachvollziehbaren Bewertung“ zu gelangen, wird eingeschränkt, da „jedoch [...] generelle Wichtungsaspekte im Einzelfall verbalargumentativ bei der Gesamtbewertung hinzugezogen werden [können] und damit [...] in Einzelfällen verbalargumentativ begründet von einer schematischen Bewertung abgewichen werden [kann]“ (Anlage, Blatt 431). Es wird angeregt, die hier angesprochenen Ausführungen dahingehend zu prüfen, ob tatsächlich der Verzicht auf Kriteriengewichtung, bewertungsrelevante Eigenschaften und Indikatoren nachvollziehbar begründet ist.

Es werden die drei Optionen vorgestellt, die zum Nichtbestehen des zweiten Prüfschrittes führen (Anlage, Blatt 431). Eine Begründung, warum diese Optionen sinnvoll und womöglich sinnvoller als andere Optionen sind, wäre hilfreich.

In diesem Prüfschritt können „weitere Aspekte, die auf eine geringe Eignung schließen lassen, Berücksichtigung finden“ (Konzept, Blatt 45). Als Beispiel wird eine ungünstige Tiefenlage bzgl. bautechnischer Aspekte eingeführt. Unklar ist, ob ein Kriterienkatalog für das Hinzuziehen der „weiteren Aspekte“ bzw. ein Katalog der „weiteren Aspekte“ selbst vorliegt. Die Nachvollziehbarkeit dieses Prüfschrittes würde dadurch erheblich gestärkt.

Es ist unklar, ob diese „weiteren Aspekte“ auf alle Gebiete gleichermaßen, auf alle Gebiete eines bestimmten Wirtsgesteins oder nur auf einzelne Gebiete angewendet werden. Im letzten Fall erscheint eine Begründung schwierig, da der für den Prüfschritt 2 verfolgte Ansatz einer „systematische[n] Bewertung und Überprüfung einheitlicher Kriterien“ (Anlage, Blatt 417) wohl nicht vollständig erfüllt werden würde.

Der Verzicht, die „weiteren Aspekte“ auf alle Gebiete anzuwenden, würde wohl zu einer Ungleichbehandlung führen. Die Anwendung unterschiedlicher Kriterien würden zu unterschiedlichen Bewertungsmaßstäben führen und es würden ggf. Daten herangezogen, die nur zu einer weniger guten Bewertung führen können. Soweit aus den vorgelegten Unterlagen ersichtlich, wird nicht abgeprüft, ob bei entsprechender Datenlage evtl. weitere Kriterien zu einer besseren bzw. guten Bewertung führen würden. Insofern könnte der Fall

eintreten, dass bei einer lediglich selektiven Anwendung der „weiteren Aspekte“ Gebiete aufgrund mangelnder Kenntnisse nachteilig behandelt werden und aus dem Verfahren ausscheiden.

Die Nachvollziehbarkeit der Einstufung in Kategorie C bei Nichtbestehen von Prüfschritt 2 wird durch die Anlage weiter eingeschränkt. Dort wird ausgeführt, dass ein Abbruch der Bearbeitung, wie im Konzept erläutert (Konzept, Abb. 2), nicht automatisch erfolgen muss. Stattdessen kann im Zuge einer „verbalargumentativen Gesamtbetrachtung“ trotz des Fehlens einer „überwiegend guten Bewertung“ Prüfschritt 2 als erfüllt angesehen werden (Anlage, Blatt 432). Es wird angeregt ergänzend auszuführen, aufgrund welcher Kriterien bzw. für welche (Teil-)Untersuchungsräume diese Verbalargumentation erfolgen soll.

In den vorgelegten Unterlagen zur Bedeutung der Anwendung der Anlagen 1 bis 4 StandAG für den Prüfschritt 2 (Anlage, Blatt 423f) sind zwei Annahmen enthalten, die nicht unmittelbar nachvollziehbar erscheinen. Es wird ausgeführt, dass „aus den Erfahrungen bei der Anwendung der Anlagen 1 bis 4 (zu § 24 Abs. 3) StandAG in Schritt 1 der Phase I [...] zu erwarten [ist], dass hier voraussichtlich eine genügend hohe Anzahl von Gebieten überwiegend günstig bewertet werden kann (BGE 2020g)“ (Anlage, Blatt 423). Die Formulierung „eine genügend hohe Anzahl von Gebieten überwiegend günstig bewertet werden kann“ klingt irreführend, da in Schritt 2 der Phase I eine deutliche Einengung der Teilgebietsfläche erfolgen sollte. Es wird angeregt, die Formulierung „genügend hohe Anzahl von Gebieten“ zu präzisieren.

Es wird an dieser Stelle ausgeführt: „Kann ein potenzieller Endlagerstandort diese Sicherheitsreserven und Perspektiven zur Aussagesicherheit nicht in überwiegend günstigem Maß vorweisen, ist davon auszugehen, dass dies nicht durch bessere Performanz in nachgeordneten Kriterien aufgewogen werden kann“ (Anlage, Blatt 423). Die Aussage bezieht sich auch auf die „Erfahrungen [...] in Schritt 1 der Phase I“; weitere Erläuterungen dazu werden als erforderlich angesehen.

Das Vorgehen für Prüfschritt 2 erscheint alles in allem zielgerichtet. Da es durch die vorgelegten Unterlagen nicht abschließend beschrieben wird, wird das beschriebene Vorgehen als vorläufig und noch nicht als abschließend betrachtet.

Prüfschritt 3 (Prüfschritt der quantitativen Bewertung des sicheren Einschlusses)

An Prüfschritt 2 schließen sich Arbeiten zur Durchführung von Prüfschritt 3 an. Für diesen wird eine Kennzahl ermittelt, die Aussagen hinsichtlich des Massen- und Stoffmengenkriteriums (§4 Abs. 5 EndlSiAnfV) zulässt. Für den Fall, dass die so ermittelte Kennzahl nicht mit „überwiegend gut bewertet“ wird (Konzept, Blatt 20), erfolgt eine Einstufung in Kategorie C. Das Konzept verweist mit Blick auf Details zu diesem Prüfschritt auf Kapitel 8.5 der Anlage (Konzept, Blatt 45). Erläuterungen, wie eine „überwiegend gute Bewertung“ erreicht werden kann, werden dort nicht gegeben. Dadurch kann nicht abschließend beurteilt werden, wie zielführend dieser dritte Prüfschritt ist (vgl. Ziffer 6 dieser Stellungnahme).

Es wird angeregt, stellenweise vorkommende sprachliche Mehrdeutigkeiten zu überarbeiten und somit die Nachvollziehbarkeit der vorgelegten Methodik zu stärken. Mit Blick auf den Prüfschritt 3 ist der Begriff „quantitativ“ als „mit Zahlen / Kenngrößen hinterlegt“ zu verstehen. Abbildung 65 der Anlage mit den dort gezeigten Thiessen-Polygonen verwendet den Begriff „Quantität“ (im angesprochenen Fall „Datenquantität“) im Sinne von „Anzahl“. Im konkreten Einzelfall erschließt sich die Begriffsbedeutung nicht immer aus dem jeweiligen Kontext (vgl. Ziffer 1.4 dieser Stellungnahme).

Prüfschritt 4 (Sicherheitsgerichteter Diskurs)

Die Gebiete, die in den Prüfschritten 1 bis 3 nicht in die Kategorien D bzw. C eingeordnet werden, durchlaufen abschließend im Rahmen der umfassenden Bewertung gem. §10 EndlSiUntV den Prüfschritt 4, den „sicherheitsgerichteten Diskurs“. Dieser Prüfschritt ist bisher nicht ausgearbeitet. Er soll aus einer verbalargumentativen Betrachtung, ergänzt um die Berücksichtigung „entsprechender Kennzahlen“, erfolgen (Konzept, Blatt 53). Die detaillierte Ausarbeitung dieses vierten und entscheidenden Prüfschrittes ist eine wichtige Grundlage für die Nachvollziehbarkeit der vorgelegten Methodik zur Durchführung der rvSU. Eine entsprechende Nachführung wird dringend angeregt, insbesondere unter dem Gesichtspunkt, dass in Schritt 2 der Phase I keine eigenen Daten erhoben werden. Somit ist nicht klar, ob für die Anwendung von Prüfschritt 4 ausreichend ortsspezifische Daten vorliegen, sodass eine deutliche räumliche Differenzierung und eine damit einhergehende Einengung der Fläche der Teilgebiete auf „eine Anzahl von Standortregionen mit einer für die übertägige Erkundung handhabbaren Fläche“ (Konzept, Blatt 9) in den GzME und den weiteren Teilgebieten begründet nachvollziehbar erfolgen kann (vgl. Ziffer 7.2 dieser Stellungnahme).

2.2 *Umfassende Bewertung (gem. § 10 EndSiUntV) basierend auf unterschiedlichen Bearbeitungstiefen*

Der Detailgrad der einzelnen Arbeitsschritte der rvSU kann sich sowohl zwischen Untersuchungsräumen als auch innerhalb von Untersuchungsräumen erheblich unterscheiden. Die unterschiedlichen Bearbeitungstiefen hängen von der Kategorisierung der (Teil-)Untersuchungsräume in den bis zu vier Prüfschritten ab (vgl. Ziffer 1.1 dieser Stellungnahme). Gemäß § 3 Abs. 4 i. V. m. § 10 EndSiUntV ist eine „umfassende Bewertung“ pro Untersuchungsraum durchzuführen. Unklar ist, inwiefern diese aufgrund des unterschiedlichen Detailgrads „umfassend“ (d. h. im Sinne einer aussagekräftigen Betrachtung aller für die rvSU relevanten Aspekte) erfolgen kann. Zur Klarstellung wird ein veranschaulichendes Beispiel angeregt, unbenommen von der Ausführung, dass für den Fall der Ausweisung von Teiluntersuchungsräumen (TUR) „zwar eine separate umfassende Bewertung der Sicherheit je TUR [erfolgt], die Ergebnisse [...] jedoch anschließend für den gesamten UR zusammengeführt [werden]“ und das „Ergebnis der umfassenden Bewertung [...] dabei eine differenzierte Bewertung bezüglich der Sicherheit sein [...] kann“ (Anlage, Blatt 605).

Es wird angeregt klarzustellen, ob durch die umfassende Bewertung ein Ranking von (Teil-)Untersuchungsräumen erfolgt oder ob diese, sofern in Kategorie A eingeordnet, als gleichberechtigt weiterbearbeitet werden (Konzept, Abb. 2).

2.3 *Einbettung einzelner Arbeitsschritte in den regulatorischen Rahmen*

Die vorgelegte Methodik zur Durchführung der rvSU verfolgt einen ausgesprochen pragmatischen Ansatz, der sich an den regulatorischen Vorgaben (u. a. § 14 StandAG) orientiert und eine möglichst zielführende Bearbeitung des Schritts 2 der Phase I des Standortauswahlverfahrens ermöglichen soll. Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit und Transparenz wird angeregt, an allen entsprechenden Stellen klarer herauszuarbeiten, wo dieses pragmatische Vorgehen auf einer großzügigeren Auslegung des regulatorischen Rahmens beruht. So wird dargelegt, dass „die erneute Anwendung der Ausschusskriterien (§ 22 StandAG) und Mindestanforderungen (§ 23 StandAG) [...] für die Ermittlung der Standortregionen nach § 14 StandAG nicht explizit erwähnt [wird]. Dennoch muss für die ermittelten Standortregionen abgeprüft werden, dass in Standortregionen für die übertägige Erkundung kein Ausschlusskriterium vorliegt und alle Mindestanforderungen erfüllt sind. Dementsprechend werden Flächen eines Untersuchungsraums, die eine Mindestanforderung nicht erfüllen oder bei denen ein Ausschlusskriterium zutrifft, während der Bearbeitung der rvSU als für die Endlagerung ungeeignet identifiziert“ (Anlage, Blatt 69).

Umgekehrt wird nicht ersichtlich, ob das Vorgehen, mit Blick auf „diejenigen Bereiche eines Untersuchungsraums, bei denen schon bei der Bewertung eines oder weniger Aspekte eine fehlende Eignung als mögliche Standortregion während der Bearbeitung festgestellt wird, [und für den daher] eine vollständige Erfassung und Analyse der übrigen Aspekte der EndSiUntV [als] nicht erforderlich“ angesehen wird (Anlage, Blatt 59), den regulatorischen Vorgaben sensu stricto entspricht.

Weitere Beispiele zu diesem Aspekt werden in den Ziffern 2.1, 2.2, 5.3 und 6.1 dieser Stellungnahme behandelt.

2.4 Unklare Begriffsdefinitionen

a) Die Nachvollziehbarkeit der durch die BGE entwickelten Methodik wird durch nicht immer eindeutige Formulierungen eingeschränkt. Dies wird etwa deutlich bei der Bewertung von Anlage 3 StandAG (Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit) im Zuge des Prüfschritts 2 (Anlage, Kap. 5.7 & 6). So ist unklar, welche Versatzbeträge für eine „intensive Blattverschiebung“ (Anlage, Blatt 386) vorliegen müssen. Eine „diffuse tektonische Überprägung“ (Anlage, Blatt 389) ist als ein durch „ein weit verbreitetes Netz aus Störungen [...], das zur einer engständigen Zerblockung führt“ definiert ist. Dabei ist unklar, wie „weit verbreitet“ und „engständig“ zu verstehen sind.

b) Ein ebenso nicht klar definierter Begriff ist „lithologische Ausprägung“, die als eines von drei essenziellen Merkmalen bekannt sein muss, damit ein Gebiet nicht als „Gebiet ohne hinreichende Information“ eingeordnet wird (Konzept, Kap. 9; Anlage, Blatt 243; vgl. Ziffer 4 dieser Stellungnahme). Beispiel 33 der Anlage nähert sich diesem Begriff, ohne eine abschließende Definition zu geben.

c) Die Verwendung des Begriffs „zielgerichtet“ steht exemplarisch für einen teilweise eindeutigen Sprachgebrauch. An einigen Stellen dient der Begriff dazu, einzelne Arbeitsschritte zu spezifizieren, etwa mit Blick auf die Prognose des Internbaus von steilstehenden Salzstrukturen, die mittels „der zielgerichteten Auswertung vorhandener ortsspezifischer Seismik- und Bohrinformationen“ erfolgen soll (Anlage, Blatt 255). An anderer Stelle, i. d. R. in Zusammenhang mit Prüfschritt 1 (vgl. Ziffer 1.1. dieser Stellungnahme), wird der Begriff als „abhängig von den lokalen geologischen Gegebenheiten und der aktuellen Bearbeitungstiefe“ definiert (Anlage, Blatt 69f). Ähnliches gilt u. a. für die Begriffe „zielführend“ und „quantitativ“ (vgl. Ziffer 1.1 dieser Stellungnahme). Die vieldeutige Nutzung von Begriffen sollte grundsätzlich vermieden werden, ersatzweise sollte sich die Bedeutung immer klar aus dem Kontext ergeben.

d) Die vorgelegte Methodik erweitert die Bewertungsgrundlage mit dem Ziel, etwaigen Widersprüchen bei der Bewertung der Anlage 4 StandAG (Kriterium zur Bewertung der langfristigen Stabilität der günstigen Verhältnisse) vorzubeugen (Anlage, Blatt 512). So heißt es u. a., dass „alle Prozesse [sic] die eine Änderung der Betrachtungsmerkmale „Mächtigkeit“, „Ausdehnung“ und „Gebirgsdurchlässigkeit“ zur Folge haben werden, [...] wie folgt zu bewerten [sind]:

1. als günstig, wenn eine wesentliche Änderung des betreffenden Merkmals für den Bewertungszeitraum nach menschlichem Ermessen auszuschließen ist. [...]“

Zur besseren Nachvollziehbarkeit, insbesondere für juristische Laien, wird angeregt, den Begriff „menschliches Ermessen“ zu definieren bzw. eine inhaltliche Annäherung an den Begriff vorzunehmen.

e) Die BGE weist darauf hin, dass „Informationen, die außerhalb des Untersuchungsraumes gewonnen wurden, [...] zu kennzeichnen“ und „ihre Übertragbarkeit auf den Untersuchungsraum und die Notwendigkeit der Übertragung [...] zu begründen [sind]“ (vgl. § 5 Abs. 3 EndlSiUntV; Anlage, Blatt 294). Dieses Vorgehen soll insbesondere bei „heterogener Datenlage“ angewandt werden (Konzept, Blatt 240; vgl. Ziffer 3 dieser Stellungnahme). Mit Blick auf die Nachvollziehbarkeit dieses Vorgehens wäre es jedoch hilfreich, wenn mögliche übertragbare Parameter einschließlich einer Begründung der Übertragbarkeit im Vorfeld als solche benannt werden. Sollte sich dieser Vorschlag als nicht praktikabel erweisen, wird angeregt, dies ggf. im Vorfeld nachvollziehbar darzulegen. In diesem Fall kommt der Stringenz der Begründung der Übertragbarkeit und dessen Erfordernis aus der Sicht der BGR eine besonders große Bedeutung zu.

f) Ziel des Konzepts ist es, die Methodik für die rvSU zusammenfassend darzustellen, während die Anlage diese detailliert erläutern soll. Dadurch wird die Möglichkeit unterstützt, sich mittels des Konzepts einen ersten Überblick über das geplante methodische Vorgehen zu den rvSU zu verschaffen und bei Interesse einzelne Aspekte im Detail mittels der Anlage zu vertiefen. Es wird angeregt, diese sinnvolle Zielstellung noch weiter zu stärken durch:

- Umfassende, stringente und gut nachvollziehbare Verweise im Konzept auf die zugehörigen detaillierteren Ausführungen in der Anlage (vgl. Ziffer 1.1 dieser Stellungnahme).

- Weitere Ausgestaltung des Glossars in der Anlage und Übernahme ins Konzept ergänzend zum dortigen Abkürzungsverzeichnis. Dadurch wird es insbesondere (aber nicht nur) jenen Personen erleichtert, sich mit der Methodenentwicklung vertraut zu machen, die gerade dabei sind, sich neu in den Themenkomplex der Standortauswahl einzuarbeiten. Es ist hilfreich, definierte Begriffe wie „Unter-

suchungsraum“ (UR) und „Teiluntersuchungsraum“ (TUR) zu ebenfalls häufig verwendeten Begriffen wie „Bereich“, „Räume“, etc. in klaren räumlichen Bezug zu setzen. Es wäre ebenfalls hilfreich, diese Begriffe vollständig zu definieren. Alternativ könnten Begriffe auf UR/TUR/Teile von TUR reduziert und dann im Sinne der Nachvollziehbarkeit konsistent verwendet werden. Darüber hinaus sollten auch weitere relevante Schlüsselbegriffe, egal ob sie im regulatorischen Rahmen definiert (bspw. Teilgebiet, Standortregion) oder durch die BGE geprägt werden (bspw. Gebiet zur Methodenentwicklung), in diesem Glossar aufgeführt werden.

3 Endlagerkonzepte im kristallinen Wirtsgestein

Mit Blick auf die Betrachtung des kristallinen Wirtsgesteins und die dort potenziell zu verwirklichenden Endlagerkonzepte bestehen Fragen zu drei grundlegenden Aspekten.

3.1 *Endlagerkonzept im kristallinen Wirtsgestein, das wesentlich auf technischen und geotechnischen Barrieren beruht*

Unter Verweis auf § 23 Abs. 4 StandAG i. V. m. § 4 Abs. 3, Nr. 2 EndlSiAnV erläutert die BGE nachvollziehbar, dass es mit Blick auf das kristalline Wirtsgestein zunächst auszuschließen gilt, dass in diesem ein Endlager mit einschlusswirksamem Gebirgsbereich (ewG) realisiert werden kann („Typ 1“), bevor ein Endlagerkonzept im kristallinen Wirtsgestein, das wesentlich auf technischen oder geotechnischen Barrieren beruht („Typ 2“), betrachtet wird (Subsidiaritätsprinzip).

Das im Rahmen der Methodenentwicklung erarbeitete Vorgehen fokussiert sich daher zunächst darauf, prinzipiell geeignete Gebiete für ein Endlager vom Typ 1 zu identifizieren (d. h. Einordnung in Kategorie B oder A). Nur für den Fall, dass Gebiete mit Blick auf ihre Eignung für ein Endlager vom Typ 1 als ungeeignet (Einordnung in Kategorie D oder C) betrachtet werden bzw. keine überwiegend gute Bewertung erhalten (Einordnung in Kategorie C), erfolgt ein Rücksprung und Gebiete mit kristallinem Wirtsgestein werden erneut betrachtet, diesmal bzgl. ihrer Eignung für ein Endlager vom Typ 2.

Dieses Vorgehen impliziert, dass bereits in Phase I das kristalline Wirtsgestein aus dem Auswahlverfahren ausscheiden kann, ohne dass eine Prüfung für ein Endlager vom Typ 2 erfolgt sein wird. Dies wird dann passieren, wenn ein Gebiet für ein Endlager vom Typ 1 lediglich in Kategorie B eingeordnet wird, so dass wesentliche Arbeitsschritte der rvSU für diese Gebiete nicht durchgeführt werden (vgl. Konzept, Abb. 2) oder, wenn zwar basierend

auf einer Einordnung in Kategorie A eine umfassende rvSU bzw. die sich in Schritt 2 Phase I daran anschließenden Arbeiten (vgl. § 14 StandAG) durchgeführt werden, das Gebiet aber mangels Vorschlag als Standortregion aus dem Verfahren ausscheiden wird.

Daraus folgt, dass eine Prüfung, ob ein für ein Endlager vom Typ 1 untersuchtes und in Kategorie B oder A eingeordnetes Gebiet, das aus dem Verfahren ausscheidet, nicht dennoch für ein Endlager vom Typ 2 geeignet wäre, nicht stattfindet. Inwiefern dies mit dem regulatorischen Rahmen konform ist, ist hier unklar. Eine entsprechende Prüfung wird angeregt.

Darüber hinaus geht aus den vorgelegten Unterlagen (Anlage, Blatt 98f) nicht eindeutig hervor, ob das Subsidiaritätsprinzip bei jedem Untersuchungsraum, d. h. Teilgebiet, greift, oder aber erst, wenn in allen Untersuchungsräumen mit kristallinem Wirtsgestein kein Endlager vom Typ 1 realisiert werden kann. Sollte der letztere Ansatz verfolgt werden, wird angeregt abzuklären, inwiefern dies dem StandAG folgt. Das StandAG suggeriert in § 23 Abs. 4, dass das Subsidiaritätsprinzip auf jedes Teilgebiet mit kristallinem Wirtsgestein anzuwenden sei, sollte „in einem Gebiet“ kein ewG ausgewiesen werden können.

3.2 Endlagerkonzept im kristallinen Wirtsgestein, in dem der sichere Einschluss der Radionuklide durch einen ewG sowie technische und geotechnische Barrieren erfolgt

Es wird angeregt abzuklären, ob das StandAG neben den beiden in der vorgelegten Methodik betrachteten Endlagertypen für kristallines Wirtsgestein, auch einen dritten Typ vorsieht: § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG legt eine Mindestmächtigkeit des „Gebirgsbereichs, der den ewG aufnehmen soll“ von 100 m fest. Demnach bezieht sich dieser Abschnitt des Gesetzes nicht auf ein Endlager vom Typ 2, für das Voraussetzung ist, dass die Ausweisung eines ewG im kristallinen Wirtsgestein nicht möglich ist. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass der von der BGE mit Blick auf die Subsidiarität der verschiedenen Endlagertypen angeführte § 4 Abs. 3 Nr. 2 EndlSiAnfV hierbei nicht zum Tragen käme, da ein ewG, wenn auch mit einer Mächtigkeit von weniger als 100 m, ausgewiesen werden kann.

Unabhängig von der Frage, wann das Subsidiaritätsprinzip zum Tragen kommt, ist die Festlegung der Mindestteufe für das kristalline Wirtsgestein. Im Zwischenbericht Teilgebiete der BGE ist ausgeführt: „Nach dem Gutachten zum „Flächenbedarf für ein Endlager für wärmeentwickelnde, hoch radioaktive Abfälle“ der DBE TEC (2016), wird für ein Endlager in kristallinem Wirtsgestein eine Mächtigkeit von mindestens 200 m angesetzt. Dies ergibt sich aus dem einzurechnenden Sicherheitsabstand für die Errichtung eines Endlagers, welcher sowohl als horizontaler als auch als vertikaler Sicherheitsabstand eingehalten

werden muss. [...] Wenn die oben angenommene Mächtigkeit von 200 m erreicht wird, ist die Mindestanforderung erfüllt.“ (BGE, 2020, S. 104). Eine Darlegung, ob unverändert an dieser Mindestmächtigkeit von 200 m festgehalten wird bzw. ob diese unabhängig vom im kristallinen Wirtsgestein zu verwirklichenden Endlagerkonzept gelten soll, erfolgt nicht. Sollte mit Blick auf das kristalline Wirtsgestein über die im StandAG formulierten Mindestmächtigkeit von 100 m hinausgegangen werden, wäre ein Hinweis darauf in den Unterlagen zu besserer Nachvollziehbarkeit hilfreich.

Für den Fall, dass für das kristalline Wirtsgestein prinzipiell die in § 23 Abs. 5 Nr. 2 StandAG formulierte Mindestmächtigkeit von 100 m berücksichtigt wird, wird ergänzend darauf hingewiesen, dass das StandAG an dieser Stelle für das kristalline Wirtsgestein „bei Vorliegen geringer Gebirgsdurchlässigkeit“ eine geringere Mächtigkeit zulässt, falls ein ewG prinzipiell ausgewiesen werden kann. Für diesen Fall muss der Nachweis des sicheren Einschlusses „über das Zusammenwirken des Wirtsgesteins mit geotechnischen und technischen Barrieren geführt werden“. Dadurch ergibt sich neben dem Endlager Typ 1, das auf dem Wirtsgestein mit ewG als wesentlicher Barriere basiert, und dem Endlager Typ 2, das auf technischen und geotechnischen Barrieren basiert, ein Endlager vom Typ 3, das sowohl auf dem Wirtsgestein mit ewG und den technischen und geotechnischen Barrieren als wesentlicher Barriere basiert.

Aus den vorgelegten Unterlagen geht nicht hervor, dass mit Blick auf das kristalline Wirtsgestein prinzipiell auch eine Mächtigkeit des den ewG aufnehmenden Gebirgsbereichs von weniger als 100 m betrachtet werden könnte. Nach derzeitiger Lesart ist anzunehmen, dass alle Gebiete mit kristallinem Wirtsgestein, deren potenzieller ewG eine Mächtigkeit von weniger als 100 m aufweist, unmittelbar in Kategorie D (Mindestanforderung nicht erfüllt) eingeordnet werden und damit aus dem Verfahren ausscheiden würden (vgl. Ziffer 1.1 zu Prüfschritt 1 dieser Stellungnahme). Es wird angeregt, diese Betrachtung im Hinblick auf die regulatorischen Anforderungen abzuklären.

Sollte eine Abklärung ergeben, dass mit Blick auf das kristalline Wirtsgestein tatsächlich drei Endlagerkonzepte (Typ-1, -2 und -3) zu betrachten sind, wäre es in Übereinstimmung mit dem bisher im Verfahren gewähltem Vorgehen vorstellbar, von der Mächtigkeit abhängige Wertungsgruppen einzuführen. Demnach könnte bspw. eine Mächtigkeit von 100 m und größer als „günstig“, eine Mächtigkeit von 50 bis 100 m als „bedingt günstig“ und eine Mächtigkeit von weniger als 50 m als „ungünstig“ betrachtet werden.

3.3 Erhöhung der Mindestteufe für das kristalline Wirtsgestein

Auf Blatt 658ff der Anlage führt die BGE aus, dass „eine erweiterte Anwendung der Mindestanforderung Mindestteufe [...] in Betracht gezogen werden [sollte]“. Als Begründung wird anführt, dass „die für Deutschland veröffentlichten Daten [unterstreichen], dass die Mindestanforderung Gebirgsdurchlässigkeit [...] in kristallinen Gesteinsformationen [...] erst in Tiefen von mindestens 500 m u. GOK [unter Geländeoberkante] im Median erreicht werden kann“. Die Betrachtung der herangezogenen und in Abbildung A. 6 dargestellten Daten zeigt, dass nur zwei der angeführten Studien in Deutschland durchgeführt wurden (Stober & Bucher, 2007; Achtziger-Zupančič et al. 2017). Dabei rechtfertigt nur eine der Studien (Achtziger-Zupančič et al. 2017) eine Festlegung der Mindestteufe auf 500 m und nur für Bereiche des Erzgebirges. Die Studie von Achtziger-Zupančič et al. (2017) zeigt, dass die Transmissivität der kristallinen Gesteinsformationen generell mit der Tiefe abnehmen. Hervorgehoben wird auch, dass es lokal erhöhte Durchlässigkeit mit zunehmender Tiefe gibt (Abb. 10b in Achtziger-Zupančič et al., 2017). Diese erhöhte Durchlässigkeit korreliert mit Kontaktbereichen von Granitintrusionen. Auch während der Erkundung des Kristallins der Nordschweiz durch die NAGRA wurde in einigen Bohrungen, wie bspw. Leuggern, zunehmende Transmissivität mit der Tiefe festgestellt (Abb. 4.5 in HSK 23/73, 2004).

Unter der Annahme, dass ab 500 m Teufe die zulässigen Höchstwerte der Gebirgsdurchlässigkeiten nach StandAG erreicht werden, schlägt die BGE mit Blick auf eine etwaige Anpassung der Mindestteufe „z. B. eine pauschale Erweiterung der Mindestanforderungen auf eine Mindestteufe von 500 m direkt bezogen auf die obere Begrenzung von kristallinen Wirtsgesteinsformationen und nicht auf die Geländeoberkante“ vor (vgl. auch Anlage, Abb. A. 7). Unter der Annahme, dass ab 500 m Teufe die zulässigen Höchstwerte der Gebirgsdurchlässigkeit nach StandAG erreicht werden, wird mit Blick auf eine etwaige Anpassung der Mindestteufe vorgeschlagen „z.B. eine pauschale Erweiterung der Mindestanforderungen auf eine Mindestteufe von 500 m direkt bezogen auf die obere Begrenzung von kristallinen Wirtsgesteinsformationen und nicht auf die Geländeoberkante“ vor (vgl. auch Anlage, Abb. A. 7). Diese Annahme steht nicht im Einklang mit der in Achtziger-Zupančič et al. (2017) genannten lokal erhöhten Durchlässigkeit mit der Tiefe oder mit den Schlussfolgerungen der HSK (HSK 23/73, 2004) für Bereiche des Kristallins der Nordschweiz (Bspw. Bohrung Leuggern), wo „durchwegs erhöhte Durchlässigkeiten und in der Tiefe kein eigentlich geringdurchlässiges Kristallin beobachtet wurde[n]“. Es wird dringend angeregt, diese und weitere Erkenntnisse stärker zu berücksichtigen und eine etwaige Anpassung der Mindestteufen auf eine breite und fundierte Grundlage zu stellen. Die diesem exemplarischen Vorschlag zugrundeliegenden Überlegungen werden lediglich mit Blick auf den Zahlenwert (500 m, siehe oben), nicht jedoch auf die Erweiterung „bezogen auf die obere Begrenzung von kristallinen Wirtsgesteinsformationen und nicht auf die Geländeoberkante“ ausgeführt. Diese Erweiterung steht im Widerspruch zu der –

wie vorstehend ausgeführt zu diskutierenden – Schlussfolgerung, dass eine unakzeptabel hohe Gebirgsdurchlässigkeit oberhalb von 500 m unter Geländeoberkante anzunehmen ist.

Generell geht aus den vorgelegten Darlegungen nicht schlüssig hervor, warum im oberen Bereich (unabhängig von der diesem konkret zugewiesenen Mächtigkeit) mit erhöhter Gebirgsdurchlässigkeit zu rechnen sei. Die geologische Genese und anschließende Entwicklung des kristallinen Gesteinskörpers sollte hier differenzierter betrachtet werden, bspw. ob es sich um einen Intrusivkörper handelt oder ob das kristalline Gebirge in seiner geologischen Entwicklung Oberflächenverwitterung ausgesetzt war. Unabhängig von den vorstehenden Diskussionspunkten wird angeregt auch der Frage nachzugehen, inwiefern Aussagen zur Gebirgsdurchlässigkeit des kristallinen Wirtsgesteins in Abhängigkeit von der spezifischen Lithologie (z. B. Granit vs. Gneis) betrachtet werden müssen (Stober & Bucher, 1999).

4 Paradigmenwechsel: vom „konservativen“ zum „best estimate“ Ansatz

Der Wechsel vom „konservativen Ansatz [sic] der teilweise in Schritt 1 der Phase I angewendet wurde“ (Konzept, Blatt 46) hin zu einem „best estimate“ Ansatz ist ein Paradigmenwechsel der BGE im Rahmen der rvSU. Dieser kommt bei einer geringen oder ungenügenden Datenlage, etwa bei der Betrachtung der Aspekte a) bis f) (§ 7 Abs. 6 Nr. 3 EndlSiUntV; Konzept, Blatt 46), Analogieschlüssen bei heterogener Datenlage (Anhang, Blatt 240) und bei der Modellierung zur quantitativen Bewertung des sicheren Einschlusses (Anhang, Blatt 518 – 530) zum Tragen. Durch diesen Wechsel soll laut BGE „die heterogene Informationslage keinen einseitigen Einfluss auf sicherheitsgerichtete Bewertungen von Gebieten ausüben“ (Konzept, Blatt 46). Mit Blick auf Modellierungen wird diesem gewählten Vorgehen auch eine Alternative gegenübergestellt, nach der die „statistische Auswertung der Bandbreite, etwa über die relative Häufigkeit, mit der das Kriterium im Rahmen der Parametervariation erfüllt wird“, genutzt wird (Anlage, Blatt 519). Für diese Alternative wird die im „best estimate“ Ansatz liegende Gefahr des „willkürlichen Vorgehens“ bei relativ schlecht verstandenen Parametern unter gleichzeitigem Verweis auf zu diesem Aspekt laufende Arbeiten klar benannt. Weiter wird dazu ausgeführt, „dass ggf. Teiluntersuchungsräume als ungeeignet bewertet werden, obwohl im Rahmen der Parameter- und Szenarienungewissheiten durchaus [den regulatorischen Vorgaben entsprechende] Szenarien oder Parameterkombinationen möglich sind“ (Anlage, Blatt 519).

Ergänzend zu dieser klaren Abwägung von Vor- und Nachteilen mit Blick auf Modellierungen werden kritisch prüfende Aussagen auch in anderen Kapiteln angeregt (vgl. „Bewertungen, speziell solche, die auf einer vergleichsweise schlechten Informationsbasis erfolgen, können

somit durch neue Erkenntnisse im weiteren Verfahren [...] sowohl günstiger als auch ungünstiger werden“, Konzept, Blatt 46 bzw. „im Umkehrschluss [wird] akzeptiert, dass eine Gebietsbewertung in Phase II auch günstiger werden kann, sofern sich die getroffenen Annahmen mit zunehmendem Informationsgewinn über die Explorationsmaßnahmen in Phase II als zu pessimistisch herausstellen“ (Anhang, Blatt 240)). Aufgrund der von Prüfschritten und der Einordnung in Bewertungskategorien abhängigen Bearbeitungstiefe von (Teil-)Untersuchungsräumen könnten Gebiete, die u. a. auf Grund des „best estimate“ Ansatzes in die Kategorien D bis B eingeordnet wurden, aus dem Verfahren ausscheiden. Da nur Gebiete der Kategorie A überhaupt für einen Vorschlag als Standortregion und damit für eine Erkundung in Phase II in Frage kommen, ist unklar, ob und wie basierend auf einem „ungeeigneten“ „best estimate“ Ansatz ausgeschlossene Gebiete ohne den Informations- bzw. Erkenntnisgewinn in Phase II einen Weg zurück ins Verfahren finden können.

Zusammenfassend gilt zu bedenken, dass der Ausschluss von Gebieten nach dem „best estimate“ Ansatz ohne weiteren Erkenntnisgewinn, im Vergleich zu einer konservativen Abschätzung, primär die Wahrscheinlichkeit eines Ausschlusses von Gebieten erhöht. Ohne die Möglichkeit eines Erkenntnisgewinns für diese Gebiete durch eine Erkundung in Phase II erhöht sich damit aber auch die Wahrscheinlichkeit eines ungerechtfertigten Ausschlusses von Gebieten.

5 Gebiete ohne hinreichende Informationen

„Gebieten ohne hinreichende Informationen“ werden ausgewiesen, wenn die Anwendung der §§ 22 bis 24 StandAG nicht möglich ist (vgl. § 14 Abs. 2 StandAG). Dies wird als gegeben angesehen, wenn keine Informationen zu Mächtigkeit, Teufe und lithologischer Ausprägung vorliegen (Anlage, Blatt 243). Eine Begründung, warum gerade diese Eigenschaften als maßgeblich für die Informationslage angesehen werden, erfolgt nicht. Sollte es zur Ausweisung eines solchen Gebietes kommen, soll geprüft werden, ob „eine gleichwertige oder bessere Bewertung der Anforderungen und Kriterien nach §§ 22 bis 24 StandAG im Vergleich zu den ermittelten Standortregionen“ zu erwarten ist. Sollte dies der Fall sein „wird [...] empfohlen, dass das ausgewiesene Gebiet in Phase II anhand eines spezifischen Erkundungsprogramms weiter im Suchprozess verbleibt“ (Anlage, Blatt 250). Diese Vorgehensweise stützt sich auf die Begründung des StandAG, in der ausgeführt wird, dass „Gebiete aus dem Suchprozess nicht allein deshalb ausgeschlossen werden [dürfen], weil über sie zu wenig bekannt ist, sofern zu erwarten ist, dass sich unter diesen Gebieten ein Standort befindet, der auf Grundlage der Kriterien in § 22 bis § 24 besser zu bewerten ist, als das in allen Regionen mit ausreichender Datenlage der Fall ist“ (BTDrs . 18/11398, S. 59). Unklar ist, wie eine solche Abschätzung bei Gebieten

ohne hinreichende Informationen erfolgen soll, insbesondere im Vergleich mit Gebieten, in denen genug Informationen zum Ausweis von Standortregionen vorliegen. Vor diesem Hintergrund wird angeregt, die Aussage abzuklären, dass „grundsätzlich gilt, dass kein Gebiet aufgrund nicht hinreichender Informationen gegenüber Gebieten mit ausreichend Informationen benachteiligt wird“ (Anlage, Blatt 250).

6 Umgang mit Ungewissheiten bzw. Wahrscheinlichkeiten

6.1 Ausschlusskriterium Vulkanismus

Im Rahmen der Methodenentwicklung für die rvSU entwickelt die BGE ihr Vorgehen mit Blick auf das Ausschlusskriterium „vulkanische Aktivität“ (vgl. § 22 Abs. 2 Nr. 5) weiter (Anlage, Blatt 71 & 291ff): so werden neben den quartären Vulkanzentren, die im Zwischenbericht Teilgebiete Berücksichtigung fanden, ergänzend u. a. auch Schwarmbeben zum Ausschluss von Gebieten herangezogen (Anlage, Blatt 291ff). Unklar ist, inwiefern das Wiederaufleben des Vulkanismus in älteren, tertiären Vulkanfeldern (Anlage, Blatt 292, Abs. 1) sowie die Möglichkeit zukünftiger Vulkanausbrüche außerhalb der in der Vergangenheit aktiven Vulkanfelder Berücksichtigung finden und ebenso wie „tiefergehende Betrachtungen“ (bspw. magmatische Prozesse in der Asthenosphäre und der vermutete Magmenaufstieg in die Lithosphäre sowie die damit verbundenen Szenarienungewissheiten) bei der Erstellung der FEP-Kataloge der geogenen Prozesse für die geowissenschaftliche Langzeitprognose Berücksichtigung fanden (Anlage, Blatt 261). Dies gilt ebenfalls für die Ableitung von „Entwicklungen des Endlagerstandorts und der geologischen Situation am Endlagerstandort“ (§ 3 Abs. 2 EndlSiAnfV), sodass das Ausweisen von Standortregionen in Gebieten potenzieller vulkanischer Aktivität vermieden werden kann.

Angesichts dieser epistemischen Unsicherheiten über die Ursachen des Magmatismus und dessen langfristige Entwicklung, sollte sichergestellt werden, dass die wissenschaftlich identifizierten Indikatoren (u. a. seismische Anomalien im Mantel, Moho-Tiefe, rezente Hebung, Mantelentgasungen und Ergebnisse von geodynamischen Simulationen; Bartels et al., 2020; Rummel et al., 2021; Schreiber & Jentzsch, 2021) deutschlandweit betrachtet werden, um ein gleichberechtigtes Verfahren innerhalb Deutschland zu gewährleisten. Durch die Zuweisung von quantifizierbaren Parametern (bspw. seismische Geschwindigkeit von Primär- und Sekundärwellen) zu diesen Indikatoren, könnten diese Unsicherheiten verringert und darüber hinaus Wahrscheinlichkeiten zur zukünftigen vulkanischen Aktivität abgeleitet werden – auch in Regionen, die außerhalb von in der Vergangenheit aktiven Vulkanfeldern liegen.

Bei der Anwendung von Kriterien zum Ausschluss von Gebieten wurden subjektive Aussagen zu Wahrscheinlichkeiten (z.B. „hohe“, „geringe“, „nicht auszuschließende“, „keine“) des zukünftigen Vulkanismus auf der Basis der Einschätzung einer Studie (Schreiber & Jentsch, 2021) übernommen, ohne dass diese qualitativen Begriffe definiert wurden (vgl. u. a. Anlage, Blatt 291, 411 & 498). Auch unter Berücksichtigung des Sachverhalts, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit zukünftigen Vulkanismus derzeit vermutlich nicht verlässlich beziffert werden kann (vgl. Bartels et al. 2020), sollte dennoch die Basis, auf der die Abschätzung der Wahrscheinlichkeiten beruht, im Sinne der Nachvollziehbarkeit dargestellt werden. Darüber hinaus wird angeregt, die Bandbreite der Schätzungen innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft abzubilden, um einen nachvollziehbaren Umgang mit Ungewissheiten an dieser Stelle zu ermöglichen. Damit kann dem nicht gerechtfertigten Eindruck entgegengewirkt werden, dass die Anwendungsbeispiele in der Anlage (292f & 408 – 411) einen Konsens gesicherter wissenschaftlicher Erkenntnis abbilden.

6.2 Ungewissheiten bei Rechenfällen / -läufen

Die vorgelegte Methodik zur Durchführung der rvSU setzt sich an verschiedenen Stellen mit Ungewissheiten auseinander (vgl. Definition des Begriffs in Kapitel 10.2 der Anlage). Im Rahmen der Arbeiten zur Analyse des Endlagersystems gem. § 7 EndlSiUntV und dem damit verbundenen Prüfschritt 3 (quantitative Bewertung des sicheren Einschlusses; vgl. Ziffern 1.1 und 6 dieser Stellungnahme) wird ausgeführt, wie mittels verschiedener Rechenfälle und zahlreicher Rechenläufe (Anlage, Blatt 521) Unsicherheiten möglicher zukünftiger Entwicklungen numerisch betrachtet werden (Anlage, Blatt 457, 501 & 521f). Es wird dabei nicht darauf eingegangen, wie die Ergebnisse dieser Rechenfälle bewertet werden. Der regulatorische Rahmen sieht eindeutige Grenzwerte vor, die eingehalten werden müssen (z. B. Gebirgsdurchlässigkeit $k_f < 10^{-10} \text{ m s}^{-1}$, vgl. § 23 Abs. 5 Nr. 1 StandAG; gesamter Massen- und Stoffmengenaustrag $\leq 10^{-3}$ im Bewertungszeitraum, vgl. § 4 Abs. 5 EndlSiAnfV).

Unklar ist, wie mit Rechenfällen umgegangen werden soll, die zeigen, dass unter bestimmten Bedingungen bzw. mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit diese Grenzwerte nicht eingehalten werden (Anlage, Blatt 526ff i. V. m. Blatt 552). Es ist anzunehmen, dass dies angesichts der Bandbreite der abzubildenden Unsicherheiten für jeden (Teil-)Untersuchungsraum mehr oder weniger stark zutreffen wird und bei einer strikten Auslegung zu einer Einordnung aller Untersuchungsräume in Kategorie C führen würde. Es wird dringend angeregt aufzeigen, wie die Ergebnisse der Rechenläufe eingeordnet werden und Verletzungen der Grenzwerte bewertet werden sollen.

6.3 Bewertung von Ungewissheiten gem. § 11 EndlSiUntV

Einer der im Rahmen der rvSU durchzuführenden Arbeitsschritte ist die Bewertung von Ungewissheiten, die für einen spezifischen Untersuchungsraum anzunehmen sind (§ 11 i.V.m. § 3 Abs. 4 EndlSiUntV). Von dieser Vorgabe wird abgewichen, da das „Konzept zur Durchführung der rvSU [...] eine detaillierte Betrachtung von Ungewissheiten in den rvSU nur für Teiluntersuchungsräume der Kategorie ‚A‘ [vorsieht]“ (Anlage, Blatt 616). Dies bedeutet, dass je nach Kategorisierung ganze Untersuchungsräume ohne Bewertung der Ungewissheiten im Rahmen der rvSU analysiert und ggf. ausgeschlossen werden können. Zwar wird ausgeführt, dass „Ungewissheiten trotzdem während eines jeden Arbeitsschritts der rvSU zu identifizieren und entsprechend den Vorgaben der EndlSiUntV einzuordnen sind. Die Betrachtung von Ungewissheiten erfolgt somit grundsätzlich über die gesamte rvSU hinweg. Die detailliertere Betrachtung von Ungewissheiten für Teiluntersuchungsräume der Kategorie A soll als Teil bzw. im Nachgang der umfassenden Bewertung des Endlagersystems in Berichtsform erfolgen“ (Anlage, Blatt 616). Unklar ist, inwiefern dieses Vorgehen die regulatorischen Vorgaben erfüllt. Abbildung 221 der Anlage stellt schematisch dar, wie mit Ungewissheiten in den rvSU umgegangen werden soll. Die Abbildungen 222 bis 225 zeigen zusätzlich Auszüge der Erfassungstabelle zur Charakterisierung von Ungewissheiten. Für eine bessere Nachvollziehbarkeit des geplanten Vorgehens wird angeregt exemplarisch zu erläutern, in welchem Umfang diese Erfassungstabelle jeweils für (Teil-)Untersuchungsräume der Kategorien D – A ausgefüllt werden soll.

7 Quantitative Bewertung des sicheren Einschlusses

Um das methodische Vorgehen zur quantitativen Bewertung des sicheren Einschlusses (vgl. Ziffer 1.1 dieser Stellungnahme) einschätzen zu können, sind ergänzende Erläuterungen zu den Ausführungen in Kapitel 8.5 der Anlage erforderlich.

7.1 Integrität des ewG

Prüfung der Integrität des ewG

§ 5 EndlSiAnfV verlangt die Prüfung der Integrität des ewG mit Blick auf die Dilatanzfestigkeit, die Fluiddruckfestigkeit, die Temperatur und die chemischen Verhältnisse. § 7 Abs. 6 Nr. 3 EndlSiUntV wiederum verlangt für die rvSU, dass „anhand überschlägiger Abschätzungen und Analogiebetrachtungen folgende Aspekte zu bewerten [sind] [...] e) Möglichkeit zur Ausweisung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs [...]“. Unter korrektem Verweis auf die im oben genannten § 7 Abs. 6 EndlSiUntV ausgeführten Vereinfachungen der

rvSU verglichen mit den weiterführenden und umfassenden Sicherheitsuntersuchungen der späteren Phasen des Standortauswahlverfahrens (§§ 14 Abs. 1, 16 Abs. 1, 18 Abs. 1 StandAG) wird erklärt, „dass von der Durchführung einer Langzeitsicherheitsanalyse nach § 9 EndlSiUntV abgesehen [werden kann]“ (Anlage, Blatt 467). Dort (d. h. in § 9 EndlSiUntV) wird in Absatz 1 ausgeführt, dass „die Langzeitsicherheitsanalyse [...] den gesamten Bewertungszeitraum von einer Million Jahren ab dem vorgesehenen Verschluss des Endlagers umfassen und mindestens die folgenden Bereiche abdecken [muss]: [...] 2. [...] die Integrität und Robustheit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs entsprechend § 5 der Endlagersicherheitsanforderungsverordnung sowie die Robustheit der weiteren Barrieren und sonstigen Komponenten des Endlagersystems [...]“.

Demnach ist klar, dass zum jetzigen Stand des Verfahrens § 5 EndlSiAnfV nicht für den Bewertungszeitraum von 1 Million Jahre zu prüfen ist. Unklar ist, ob die Prüfkriterien dieses Paragraphen grundsätzlich nicht im Zuge der rvSU betrachtet werden müssen. Falls eine Prüfung der Kriterien bereits im Zuge der rvSU erforderlich ist, ist nicht unmittelbar ersichtlich, inwiefern die Ausführungen der BGE zur Berücksichtigung von § 7 Abs. 6 Nr. 3e) EndlSiUntV den in § 5 angeführten Aspekten zur Prüfung der Integrität des ewG gerecht werden (Anlage, Blatt 555f).

Es wird darauf verwiesen, dass „die Möglichkeit zur Ausweisung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs [gem. § 7 Abs. 6 Nr. 3e) EndlSiUntV] [...] nur dann [besteht], wenn [gem. § 7 Abs. 6 Nr. 3f) EndlSiUntV] gezeigt werden kann, dass der sichere Einschluss potenziell möglich ist“ (Anlage, Blatt 555). Ferner wird ausgeführt, dass die Möglichkeit zur Ausweisung eines einschlusswirksamen Gebirgsbereichs anhand einer auf der Transportlänge beruhenden Kennzahl geprüft wird (Anlage, Blatt 517 – 521 & 554f).

Es wird angeraten, zumindest zu diskutieren, ob die auftretenden thermomechanischen Belastungen zu einem Integritätsverlust des Wirtsgesteins führen könnten. Falls ja, wäre zu erörtern, ob für die Bewertung der Möglichkeit des sicheren Einschlusses nicht das Dilatanzkriterium und das Fluidruckkriterium gem. § 5 EndlSiAnfV heranzuziehen wären, da durch das Verletzen dieser Kriterien die auf (I) dem Durchlässigkeitsbeiwert bzw. der Permeabilität, (II) dem Diffusionskoeffizienten, (III) dem Sorptionskoeffizienten und (IV) der Porosität beruhenden Überlegungen zur Transportlänge (vgl. Anlage, Blatt 528) obsolet wären. Diese Annahme basiert auf den Überlegungen der BGE, die überwiegend den diffusiven und nicht den advektiven Transport betrachtet (vgl. Ziffer 6.4 dieser Stellungnahme). Demnach wäre bei einem Verletzen des Dilatanz- und des Fluiddruckkriteriums v. a. ein advektiver Transport zu erwarten, dessen Transportlänge um Größenordnungen über der des diffusiven Transport liegen dürfte.

Eine stärkere Berücksichtigung der thermomechanischen Belastungen zur Prüfung der Integrität des ewG würde eine Betrachtung der technogenen Prozesse auch bereits in Schritt 2 der Phase I des Standortauswahlverfahrens implizieren (siehe auch den nachfolgenden Aspekt dieser Stellungnahme).

Sollte dieser Auffassung nicht gefolgt und an der vorgestellten Verwendung der Transportlänge festgehalten werden, sind einige Annahmen der BGE mit Blick auf das Wirtsgestein Steinsalz zu hinterfragen. So wird ausgeführt, dass für Steinsalz in steiler Lagerung, sofern es keinen zusammenhängenden Porenraum besitzt, „keine Ausbreitungsrechnungen nötig bzw. sinnvoll“ sind (Anlage, Blatt 547). Diese Auffassung wird auch hier vertreten. Jedoch basiert die Aussage der BGE, „dass die Permeabilität von intaktem Steinsalz sehr gering aber messbar ist (Liu et al., 2017)“ (Anlage, Blatt 547) auf einer nicht korrekten Betrachtung der angeführten Quelle: Liu et al. (2017) stellen klar, dass „auf Basis des vorliegenden Kenntnisstandes [...] auch für Salzgesteine in flacher Lagerung, wie für Salzgesteine allgemein, im unverritzten Zustand von absoluter Dichtheit gegenüber Fluiden (bspw. Gas, Salzlösungen) ausgegangen werden [kann]“. Weiter wird ausgeführt, „gleichwohl gibt es etwa zu Diffusion von Gasen in der Auflockerungszone einzelnen Messungen (Jockwer & Wieczorek, 2008), deren Ergebnisse sich als Beleg für das Vorhandensein eines kleinen, aber messbaren Anteils von zusammenhängenden Poren interpretieren lassen, sofern sie auf intaktes Steinsalz übertragbar sind“ (Anlage, Blatt 547f). Liu et al. (2017) zeigen, dass die von Jockwer & Wieczorek (2008) gewonnenen Ergebnisse an verritztem Steinsalz (Auflockerungszone) nicht auf intaktes Steinsalz übertragbar sind. Basierend auf diesen Überlegungen erscheint es nicht zielführend für das intakte Steinsalz eine endliche Permeabilität zu unterstellen und diese in Transportrechnungen zu variieren. Außerdem ist aufgrund der Quellenlage unklar, warum lediglich das Steinsalz in steiler, anscheinend nicht jedoch Steinsalz in flacher Lagerung in ihre Überlegungen miteinbezogen wird

Zusammenfassend wird eine ausführliche und nachvollziehbare Darstellung angeregt, inwiefern bereits im vorgelegten Arbeitsstand zur Methodik der rvSU eine Prüfung der Integrität des ewG gem. § 5 EndlSiAnfV angelegt ist und falls nicht, wann und ggf. wie diese erfolgen soll.

Nichtberücksichtigung technogener Prozesse

Aus den vorgelegten Unterlagen geht hervor, dass im Zuge der rvSU die geogenen, nicht jedoch die technogenen Prozesse (d. h. „diejenigen Prozesse, die erst durch das Vorhandensein des Endlagerbergwerks am Standort auftreten können“; Anlage, Blatt 474) betrachtet werden (Anlage, Blatt 463). Als Begründung wird dazu im Text ausgeführt, dass aus § 7 Abs. 6 Nr. 1⁴ und 2⁵ EndlSiUntV gefolgert wird, dass „die Ableitung der Entwicklungen, und damit die Auswahl der Prozesse und Komponenten in den rvSU, auf

die geologische Barriere und die geogenen Prozesse, die ein Endlagersystem beeinflussen können, konzentriert ist“ (Anlage, Blatt 467).

Diese Schlussfolgerung ist nicht sicher nachvollziehbar: zwar ist gemäß § 7 Abs. 6 Nr. 2 EndlSiUntV „davon auszugehen, dass technische und geotechnische Barrieren ihre Funktion grundsätzlich in dem jeweils vorgesehenen Zeitraum erfüllen“, nicht aber, dass dies auch für die geologischen Barrieren gilt. Unklar ist ebenso, wie aus der Festlegung in § 7 Abs. 6 Nr. 1 EndlSiUntV, der zufolge die zu erwartenden und abweichenden Entwicklungen aus den auf Basis einer geowissenschaftlichen Langzeitprognose identifizierten geogenen Einwirkungen und Prozessen abzuleiten sind, gefolgert werden kann, dass technogene Prozesse unberücksichtigt bleiben können.

§ 7 Abs. 6 Nr. 3 f EndlSiUntV fordert für die rvSU, „die Möglichkeit des sicheren Einschlusses der Radionuklide nach § 4 der Endlagersicherheitsanforderungsverordnung durch Zusammenwirken verschiedener Sicherheitsfunktionen innerhalb der wesentlichen Barrieren“ zu bewerten. Aus den Ausführungen geht nicht hervor, wie diese Bewertung gelingen kann, wenn potenzielle Veränderungen des Barrieregesteins durch den Wärmeeintrag der Endlagergebäude unberücksichtigt bleiben. Dabei fordert § 5 Abs. 2 EndlSiAnfV dazu auf, gerade diesen Aspekt zu prüfen: „Hinsichtlich der Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs ist zu prüfen und darzustellen, dass [...] durch die Temperaturentwicklung die Barrierewirkung des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht erheblich beeinträchtigt wird“. Auf Grund der substantiellen Bedeutung der hier aufgezeigten Wechselwirkung von geogenen und technogenen Prozessen mit Blick auf die Integrität des ewG, ist nicht nachvollziehbar wie die nachstehende Festlegung erfolgte: „Potenzielle Beeinträchtigungen der geologischen Barriere durch die technischen und geotechnischen Komponenten werden durch den Fokus auf geogene Prozesse methodisch vernachlässigt. Gemeint sind z. B. Gasbildung im Zuge der Behälterkorrosion, die zur Rissbildung in der geologischen Barriere führen kann, oder die Entwässerung des Wirtsgesteins bei Erwärmung durch die Zerfallsprozesse im eingebrachten Abfall“ (Anlage, Blatt 468). Zwar wird als Begründung für diese methodische Vernachlässigung weiter ausgeführt, dass die „[technischen und geotechnischen] Komponenten in den rvSU nur auf grundlegenden Angaben beruhen und nur in Grundzügen spezifiziert sind, sodass die Bestimmung von Wechselwirkungen und Abhängigkeiten unangemessen erscheint, siehe Begründung zu § 6 Abs. 4 EndlSiUntV (BT-Drs. 19/19291) im Folgenden:

„...sind in dieser Phase [rvSU] nur die grundlegenden Angaben zur Auslegung der Endlagersysteme erforderlich. Diese dienen als konzeptionelle Grundlage für die Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen, bedeuten aber keine irreversible Vorfestlegung für das weitere Verfahren“ (Anlage, Blatt 468). Die angeführte Begründung bezieht sich auf die „grundsätzliche Möglichkeit eines sicheren Betriebs“

(vgl. § 6 Abs. 4 EndlSiUntV), nicht jedoch auf die Möglichkeit des sicheren Einschusses der Radionuklide, die wie oben ausgeführt durch den Wärmeeintrag der Endlagergebinde verhindert werden könnte

Auch wenn der BGE zuzustimmen ist, dass die „[technischen und geotechnischen] Komponenten in den rvSU nur auf grundlegenden Angaben beruhen und nur in Grundzügen spezifiziert sind“ könnte für die in den rvSU geforderten „überschlägigen Abschätzungen“ (§ 7 Abs. 6 Nr. 3) der Wärmeeintrag auf Basis der in § 27 Abs. 4 StandAG exakt für die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen formulierten Grenztemperatur von 100 Grad Celsius modelliert werden.

Unabhängig davon ist unklar, in welchem Grad technogene Prozesse nicht doch bereits in Schritt 2 der Phase I berücksichtigt werden: die exemplarisch beschriebene Entwicklung eines wirtsgesteinsspezifischen Endlagersystems im Steinsalz in steiler Lagerung umfasst neben geogenen auch technogene Prozesse (Anlage, Blatt 492, Punkt b). Dort wird beschrieben, dass „durch den radioaktiven Zerfall [...] Wärme [entsteht], die konduktiv aus dem Endlager abgeführt wird. Der Versatz im Endlagerbauwerk konvergiert, Spannungen bauen sich ab.“

Da die wirtsgesteinsspezifische Ableitung der zu erwarteten und abweichenden Entwicklungen auf Basis der wirtsgesteinsspezifischen FEP-Kataloge erfolgt (Anhang, Blatt 456 & 490), die sich auf geogene Prozesse beschränken (Anhang, Blatt 468), sollte die Bedeutung der technogenen Prozesse in den rvSU nachvollziehbar dargestellt werden. Es wird angeraten, dass technogene Prozesse, wie bspw. die Erwärmung des Wirtsgesteins durch die Zerfallsprozesse in den eingebrachten Abfällen, bereits in der jetzigen Phase des Standortauswahlverfahrens Berücksichtigung finden.

7.2 Berücksichtigung von Anisotropie

Eine der beiden maßgeblichen Kenngrößen des Prüfschrittes ist die „Transportlänge (d_{1Ma}), d. h. [...] die Entfernung vom potenziellen Endlager für den modellierten Zeitraum von einer Million Jahren, innerhalb derer die Anforderungen [...] noch erfüllt sind.“ Die zweite maßgebliche Kenngröße ist der minimale Abstand d_{min} . Dabei handelt es sich um „die geringste Distanz zwischen dem Rand des Wirtsgesteins und dem Rand des potenziellen Endlagers“ (Anlage, Blatt 517f). Die gewählten Formulierungen (Anlage, Kap. 8.6.5.1) und die erläuternden Abbildungen 186 und 194 suggerieren ein isotropes Medium, so dass davon ausgegangen wird, dass der die minimale Kenngröße beschreibende Vektor i.d.R. vertikal orientiert ist (Anlage, Kap. 8.5.6.2). Da jedoch bei Tongestein, Steinsalz in flacher Lagerung und kristallinem Wirtsgestein Anisotropie anzunehmen bzw. nicht

auszuschließen ist, wird angeregt abzuklären, ob diese Annahme gerechtfertigt ist und falls nein, wie eine Anisotropie entsprechend berücksichtigt werden kann.

7.3 Ermittlung des Diffusionskoeffizienten

Wesentliche Eingangsgrößen zur Bestimmung der beiden vorstehend genannten Kennzahlen werden in den Kapitel 8.5.5ff der Anlage genannt. Eine dieser Eingangsgrößen ist der Diffusionskoeffizient, für dessen Bestimmung Informationen zu Porosität und Temperatur erforderlich sind (Anlage, Blatt 530). Für beide Parameter sind „in den meisten Fällen standortspezifische Daten verfügbar“. Falls nicht, geht die BGE davon aus, dass dafür „[gute] Schätzungen vorgenommen werden können“. Unklar ist, inwiefern dies mit Blick auf die Porosität tatsächlich praktikabel ist bzw. wie groß die Sensitivität der Berechnungen bzgl. dieses Parameters ist, so dass ggf. der Einfluss einer unzureichenden Bestimmung abgeschätzt werden kann.

7.4 Berücksichtigung des advektiven Transports

Neben der Bedeutung des Diffusionskoeffizienten als wesentliche Eingangsgröße zur Bestimmung der beiden Kennzahlen wird sowohl in Tabelle 64 als auch in Kapitel 8.5.5 der Anlage ebenfalls auf die Bedeutung („Hauptinflussgröße“, Blatt 426) des advektiven Transports verwiesen. Dieser wird überwiegend von der Abstandsgeschwindigkeit dominiert (Navarro et al., 2019). Anlage 1 StandAG gibt für die Abstandsgeschwindigkeit in der Wertungsgruppe „bedingt günstig“ einen Wertebereich von 0,1 bis 1,0 mm a⁻¹ an. Damit kann die praktische Konsequenz dieses Wertebereichs abgeschätzt werden: eine Abstandsgeschwindigkeit von 0,1 mm a⁻¹ entspricht einer advektiven Transportstrecke von 100 m in 1 Million Jahre. Demgegenüber entspricht eine Geschwindigkeit von 1,0 mm a⁻¹ einer advektiven Transportstrecke von 1000 m in 1 Million Jahre.

Diese überschlägigen Abschätzungen unterstreichen die Bedeutung des advektiven Transports von Radionukliden für den Fall, dass ein ausreichendes hydraulisches Potenzial vorhanden ist. Die vorgelegten Ausführungen behandeln überwiegend den diffusiven und nicht den advektiven Transport. Wie nachstehend beispielhaft gezeigt, werden pauschale, nicht hinreichend belegte Annahmen zum advektiven Transport dessen Bedeutung nicht gerecht, obwohl diese an selber Stelle betont wird: „Generell hat die Abstandsgeschwindigkeit eine hohe Bedeutung für die Sicherheitsfunktion eines Endlagersystems in Tongestein [...]. Für das GzME ‚Opalinuston‘ (01_00UR) ist aber eine sehr geringe Abstandsgeschwindigkeit zu erwarten, so dass die lokalspezifische Bedeutung voraussichtlich geringer einzuschätzen ist“ (Anlage, Blatt 594).

Unklar ist ebenso, inwiefern Ungewissheiten in Parametern, durch welche die Abstandsgeschwindigkeit und dadurch auch die advective Transportstrecke bestimmt werden, etwa im hydraulischen Gradienten oder in der Permeabilität, berücksichtigt werden (vgl. Ziffer 5 dieser Stellungnahme). Durch diese können sich ggf. so starke Variationen der Transportlänge ergeben, dass die Berücksichtigung von Ungewissheiten des Diffusionskoeffizienten vernachlässigbar werden kann.

8 Geosynthese gem. § 5 EndlSiUntV

8.1 Kenngrößen

Im Zuge der Durchführung der Geosynthese führt die BGE aus, dass sie die Datenlage und die geologischen Rahmenbedingungen anhand der folgenden vier Kenngrößen bewerten will: (I) Datenqualität, (II) Datenquantität, (III) interpretative Daten und weitere (indirekte) Nachweise, (IV) geologische Komplexität (vgl. Anlage, Kap. 5.1.2). Insbesondere mit Blick auf die beiden Kenngrößen zu den geologischen Rahmenbedingungen (Kenngrößen III und IV) mangelt es an Beschreibungen und Beispielen, wie die einzelnen Kenngrößen ermittelt werden. Hinsichtlich aller vier Kenngrößen ist nicht klar ersichtlich, wie die einzelnen Kenngrößen in die weiteren Arbeitsschritte der rvSU einfließen.

In die Kenngröße „Datenqualität“ zur Erfassung der Datenlage fließt u. a. „die Menge an vorliegenden digitalen Schichtinformationen bezogen auf Petrologie- und Stratigraphieangaben“ (Anlage, Blatt 233) ein. Im Bewusstsein der enormen Anstrengungen, die die BGE mit Blick auf die Digitalisierung von Bohrakten gegenwärtig unternimmt, stellt sich die Frage, ob sich die Durchführung der rvSU (d. h. die Reihenfolge der Bearbeitung der einzelnen Teilgebiete) dabei am Fortschritt der Digitalisierungskampagnen orientiert. Dadurch wäre gewährleistet, dass den rvSU ein möglichst vollständiger Datensatz der jeweiligen Teilgebiete zu Grunde liegt.

Unbenommen davon wird dringend angeraten, die Annahme, dass „der Detailgrad innerhalb der Schichtbeschreibungen [...] ein Hinweis auf die Datenqualität [ist]“ (Anlage, Blatt 233) belastbar zu prüfen, da ein detailarmes Schichtenverzeichnis auch aus einer – für die Standortauswahl zu begrüßenden – homogenen Schichtfolge resultieren kann. Dies gilt insbesondere mit Blick auf das kristalline Wirtsgestein, wo verglichen zu Tongestein (und untergeordnet Steinsalz in flacher Lagerung) mit besonders mächtigen, petrographisch homogenen Gesteinsabfolgen zu rechnen ist. Unklar ist, anhand welcher Parameter (z. B. Lithologie, strukturelle Merkmale, etc.) der Detailgrad bestimmt werden soll, ob es einen solchen Parameterkatalog gibt bzw. ob ein solcher als erforderlich anzusehen

ist. Das zum Detailgrad angeführte Beispiel 31 basiert auf chronostratigraphischen Angaben (Anlage, Abb. 63), die in der Praxis erfahrungsgemäß nur äußerst selten im Detailgrad „sehr detailliert“ („Gruppe A“) vorhanden sind. Demnach ist unklar, welche Informationen tatsächlich zum Erstellen der Abbildung 64 herangezogen wurden und damit die Repräsentativität ihrer Aussagekraft.

Unklar ist ebenso, warum für die Kenngröße „Datenqualität“ vor allem „digitale [...] Schichtinformationen bezogen auf Petrologie- und Stratigraphieangaben“ (Anlage, Blatt 233), nicht jedoch geophysikalische Bohrlochmessungen herangezogen werden sollen. Es ist davon auszugehen, dass die meisten Tiefbohrungen nicht gekernt, dafür aber mit unterschiedlichen geophysikalischen Bohrlochsonden vermessen sein.

8.2 Kriterium zur Bewertung der Konfiguration der Gesteinskörper

Es wird mit Beispielen erläutert, wie die Konfiguration der Gesteinskörper, wie in Anlage 2 des StandAG ausgeführt, bewertet werden soll. In Beispiel 48 der Anlage werden Profilschnitte, gebildet aus Bohrungen inner- und außerhalb des Untersuchungsraums sowie ein synthetisches Bohrprofil dargestellt. In Beispiel 51 wird ausgeführt, „dass die Bewertung [der Indikatoren zu Anlage, 2 StandAG] überprüft werden muss, sobald nähere Erkenntnisse zum Internbau der Salzstruktur ermittelt werden konnten“ (Anlage, Blatt 336). Ferner wird ausgeführt, dass „sobald detaillierte Kenntnisse zum Internbau der Salzstruktur und damit zu den Mengenanteilen von Steinsalz, Kalisalzen, Anhydriten etc. vorliegen, [...] die Bewertung des Indikators überprüft und gegebenenfalls angepasst [wird]“ (Anlage, Blatt 338). Diese Aussage bzw. die Erwartung weiterer „detaillierter Erkenntnisse zum Internbau“ bleiben für Phase I des Standortauswahlverfahrens bzw. für die Entwicklung der Methodik zu den rvSU kritisch zu hinterfragen, da keine neuen Daten durch Erkundung erhoben werden. Neben den in Beispiel 48 gezeigten Daten werden wahrscheinlich keine weiteren bewertungsrelevanten ortsspezifischen Daten hinzukommen. Auch durch die Bewertung von Internbau-relevanten Indikatoren über Analogieschlüsse (Anlage, Kap. 5.2.4) sind keine detaillierten ortsspezifischen Informationen zum Internbau zu erwarten. Insofern ist es, trotz der zu erwartenden Komplexität des Internbaus aber auch vor dem Hintergrund der in der Steinsalz-Definition ausgeführten Ausschlussmöglichkeiten (Anlage, Blatt 707f; vgl. Ziffer 8 dieser Stellungnahme), unklar, warum anhand der Bohrungsinformationen mit darin enthaltenen lithologischen Informationen, eine weitere Eingrenzung des Untersuchungsraums vorgenommen wurde. Der Bereich um die Bohrungen Bahlburg 1 und Luhdorf-I zeigt bspw. ab ca. 800 m Teufe ein Vorkommen von Zwischenschichten aus Anhydrit, Kalisalzen und Salzton (Anlage, Blatt 317), die vstl. keine Ausweisung eines ewGs erlauben. Die jetzige Vorgehensweise („für das aktuelle Beispiel gilt für die Bewertung vereinfacht die Annahme, dass die Salzstruktur vollständig aus

dem Wirtsgestein Steinsalz aufgebaut ist“; Anlage, Blatt 336) scheint für die Entwicklung der Methodik, speziell im Wirtsgestein Steinsalz in steiler Lagerung und bei Vorliegen ortsspezifischer Bohrungsdaten, zu konservativ gewählt und hinsichtlich der weiteren Einengung der 60 Teilgebiete nicht zielführend.

In der Anlage wird in einigen Beispielen der Umgang mit der geforderten Salzscheibe erläutert. Es wird angeregt, zu definieren, welche Anforderungen grundsätzlich an die stoffliche Zusammensetzung der Salzscheibe gestellt werden, da eine entsprechende Definition im StandAG fehlt. Es wäre zu prüfen, ob die gleichen Voraussetzungen gelten wie für ein Wirtsgestein, das einen ewG aufnehmen kann, oder ob davon abgewichen werden kann. Hierbei wäre eine Abweichung von der Definition für das Wirtsgestein Steinsalz, bspw. durch das Vorkommen von Salztonen oder Anhydritgesteinen, zu begründen. Eine entsprechende Erläuterung könnte bspw. im Anhang 6.2 der Anlage (Begriffsbestimmung „Steinsalz“) ergänzt werden. Darüber hinaus führt Tabelle 38 der Anlage Hutgesteinsmächtigkeiten auf, basierend auf Schichtverzeichnissen. Es ist nicht erläutert, in welcher Weise diese bei der Betrachtung des Salzkörpers bzw. der Betrachtung der Salzscheibe (Indikator 2.1a Barrierenmächtigkeit, Anlage, Abb. 107 & 109) Berücksichtigung fanden.

8.3 Kriterium zur Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit

In Kapitel 5.7.4 der Anlage wird ausführlich beschrieben, wie der in Anlage 3 des StandAG geforderten Bewertung der räumlichen Charakterisierbarkeit entsprochen werden soll. Dabei werden einige Annahmen getroffen, bei denen sich kritische Fragen stellen.

„Kommt innerhalb der geologischen Barriere eine große Anzahl an Gesteinstypen vor, wird dies mit einer großen Variationsbreite der Eigenschaften gleichgesetzt.“ (Anlage, Blatt 351). Diese Annahme erscheint mit Blick auf sedimentäre Wirtsgesteine plausibel. Gleichwohl sollte zumindest stichprobenartig überprüft werden, inwiefern sie tatsächlich zutrifft. Mit Blick auf das kristalline Wirtsgestein erscheint diese Annahme nicht (vollumfänglich) plausibel und sollte daher überprüft werden.

Weiterhin wird ausgeführt, dass „der Wechsel von Lithologien bzw. Gesteinstypen und die dadurch vorhandenen Grenzflächen [...] tendenziell eine stärkere Heterogenität sowie Variationsbreite der Eigenschaften dar[stellen] und [...] im Rahmen der Indikatorbewertung berücksichtigt [werden]“ (Anlage, Blatt 351). Darüber hinaus werden „Ausbildung und Verlauf der Trennflächen zwischen den einzelnen Gesteinstypen“ herangezogen, um sich der „räumlichen Verteilung der Gesteinstypen im Endlagerbereich und ihrer Eigenschaften zu nähern (Anlage, Blatt 369). Inwiefern die hier zitierten Stellen einen graduellen,

nicht an diskreten Trennflächen gebundenen Lithologiewechsel erfassbar machen bzw. es erlauben, ihn bei den weiteren Analysen zu berücksichtigen, ist unklar. Graduelle lithologische Wechsel dürften nicht nur in Schichtverzeichnissen oftmals unzureichend beschrieben sein, da sich Top und Basis einer solchen Einheit nur schwer identifizieren lassen. Dies könnte sich ggf. nachteilig auf die „Datenqualität“ auswirken (vgl. Ziffer 7.1 dieser Stellungnahme). Darüber hinaus besteht die Besorgnis, dass durch eine nicht ausreichende Berücksichtigung gradueller lithologischer Wechsel die Mächtigkeit einer Schichtfolge mit für die Endlagerung günstigen Eigenschaften unter- aber auch überschätzt wird. Inwiefern diese Problematik reflektiert ist, geht aus den vorgelegten Unterlagen, auch aus dem Beispiel 54, das sich mit den beiden Subformationen der Opalinuston-Formation befasst, nicht eindeutig hervor. Insbesondere stellt sich die Frage, inwiefern es gelingen kann, graduelle Kontakte, die in der Literatur weniger gut als für den Opalinuston beschrieben sind, zu berücksichtigen.

Hinsichtlich des Ausmaßes der tektonischen Überprägung wird mit Blick auf das kristalline Wirtsgestein die Hypothese aufgestellt, „dass sich die Trennfugendichte und die Gebirgsdurchlässigkeit [...] von der tektonischen Überprägung eines regionalgeologischen Gebiets ableiten lässt“ (Anlage, Blatt 396). Es ist zu bedenken, dass, selbst wenn es eine Korrelation zwischen tektonischer Überprägung und Trennfugendichte gibt, dies nicht zwangsläufig bedeutet, dass die Gebirgsdurchlässigkeit aufgrund von Kenntnissen des Störungsmusters ableitbar ist. Dies geht aus der Erkundung des kristallinen Grundgebirges in der Nordschweiz durch die NAGRA hervor: „die Kenntnis des lithologisch strukturellen Musters allein genügt demnach nicht zur Prognose der Wasserführung des Grundgebirges [...]. Es gibt darum keine einfache Korrelation zwischen Wasserführung und Störungsmuster im Grundgebirge.“ (HSK 23/73, 2004, S.30).

8.4 *Eingangsparameter der geologischen Modelle*

Im Zuge der Geosynthese werden für die Teiluntersuchungsräume geologische Modelle angefertigt, die als Grundlage für die numerischen Transportrechnungen dienen (Anlage, Kap. 5.7.6). Die einzelnen in den Modellen abgebildeten Lithologien werden hierbei „bezüglich ihrer mineralogischen, geochemischen, hydrogeologischen und petrophysikalischen Merkmale durch Parameter charakterisiert“ und damit „nachvollziehbar beschrieben“ (Anlage, Blatt 412). Die vorgelegten Ausführungen suggerieren, dass diese Aufzählung von Parametern abschließend ist. Unklar ist, inwiefern ggf. weitere relevante Eigenschaften, etwa zum geomechanischen Verhalten, in die Modelle einfließen.

9 Begriffsbestimmung „Steinsalz“

Im Zuge der Methodenentwicklung für die rvSU passt die BGE ihre Auffassung des Begriffs „Steinsalz“ an bzw. präzisiert diesen (Anlage, Blatt 707f). Zwar wird ausgeführt, dass nur Steinsalzhorizonte mit einer Mindestmächtigkeit von 100 m betrachtet werden. Hierbei sind jedoch „Zwischenschichten anderer lithologischer Zusammensetzung [...] zulässig, solange die Zwischenschichten die Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs nicht beeinflussen“. Inwiefern dieser Einfluss auf die Integrität des ewG im Zuge der laufenden Phase I des Standortauswahlverfahrens, in der keine neuen Daten erhoben werden, ausgeschlossen werden kann, ist unklar.

Mit Blick auf das Steinsalz in stratiformer Lagerung wird erläutert, dass maximal 5 % des 100 m mächtigen Wirtsgesteinspakets (d. h. insgesamt 5 m) aus anderen Gesteinen als Steinsalz (Anhydrit, Tonstein, Salzton und Kalisalze) bestehen dürfen. Als Arbeitshypothese gilt, dass die Mächtigkeit einzelner Horizonte dieser anderen Gesteine 3 m nicht überschreiten darf. Inwiefern Zwischenschichten unterschiedlicher Zusammensetzung bei einer Mächtigkeit von < 3 m bzw. > 3 m Einfluss auf die Integrität eines ewG haben oder nicht, wird nicht erläutert. Es wird angeregt, dies bspw. anhand von Analogieschlüssen oder numerischen Berechnungen zu begründen. Ferner wird erläutert, dass der Einlagerungsbereich, für den in einer Arbeitshypothese eine Mächtigkeit von 30 m veranschlagt wird, „nicht durch Zwischenschichten anderer lithologischer Zusammensetzung unterbrochen sein [darf]“. Es wird angeregt zu diskutieren, inwiefern die mit dieser Ausführung suggerierten 100 % Steinsalz tatsächlich sowohl notwendig als auch praktikabel sind, werden so doch auch geringmächtige (z. B. wenige mm bis cm) Horizonte anderer Gesteine ausgeschlossen. Bspw. kommt Anhydrit i.d.R. in allen Steinsalzlagerern Deutschlands vor (bspw. im Hauptsalz der Staßfurt-Formation), wobei die geringen Beimengungen keinen negativen Einfluss auf die Endlagersicherheit haben.

Bezüglich des Steinsalzes in steiler Lagerung ist festzuhalten, dass die Mächtigkeit möglicher einzelner Horizonte anderer Gesteine mit 1 m konservativer ausgelegt wird als beim Steinsalz in stratiformer Lagerung. Ein weiterer Unterschied zwischen den beiden Steinsalz-Konfigurationen bezieht sich auf die Lithologie möglicher Zwischenschichten, die mit „Anhydrit oder Tonstein (Salzton)“ beim Steinsalz in steiler Lagerung restriktiver ausfällt. Gründe für die sich unterscheidenden zulässigen Mindestmächtigkeiten anderer Lithologien und für deren Art werden nicht gegeben. Dies erscheint zudem im Widerspruch zur Darstellung der Barrieren und ihrer Sicherheitsfunktionen, wonach für Steinsalz „zunächst eine gemeinsame Darstellung für Steinsalz in steiler und stratiformer (flacher) Lagerung [erfolgt]“ (Anlage, Blatt 100). Es wird ausgeführt, dass „Kalium- und Magnesiumsalze“ in steiler Lagerung nicht in den 100 m des Wirtsgesteins vorkommen dürfen, die einen ewG aufnehmen sollen, „da hier ein erhöhtes Risiko zur Bildung von Fluidwegsamkeiten besteht“ (Anlage, Blatt 708). Dies ist dadurch begründet, dass bspw. das Mineral Carnallit

i.d.R. in Kalisalzschiechten vorkommt und in offenen Systemen ab 80° C beginnt zu entwässern bzw. bei 167 °C schmilzt. Durch die thermische Entwässerung dieses Hydrates kann es folglich zur Bildung von Sekundärpermeabilitäten im ewG kommen (BGR 2016, ESK 2022). Vorkommen von „Kalium- und Magnesiumsalzen“ sollten unabhängig von der Lagerung (steil / flach) gemieden und Sicherheitsabstände, wie bspw. von Popp (2022) vorgeschlagen, nach lokationsspezifischer Prüfung eingehalten werden.

10 Bewertung des sicheren Einschlusses mittels geowissenschaftlicher Abwägungskriterien

§ 14 StandAG sieht für die Ermittlung von Standortregionen für die übertägige Erkundung (mindestens) zwei Maßnahmen vor:

Maßnahme A: Durchführung von rvSU für die Teilgebiete

Maßnahme B: Erneute Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien

In der Methodenbeschreibung wird ausgeführt, dass zunächst eine qualitative Bewertung des sicheren Einschlusses erfolgt, indem die geowissenschaftlichen Abwägungskriterien 1 bis 4 angewendet werden. Für Teilgebiete, die dabei nicht überwiegend günstig abschneiden, ist keine weitere Bearbeitung vorgesehen. Für diese Teilgebiete wird also lediglich ein Teil der Maßnahme B abgearbeitet. Dass damit auch die vom StandAG geforderte Maßnahme A abgedeckt ist, also u. a. die Bewertung der Möglichkeit des sicheren Einschlusses der Radionuklide „anhand überschlägiger Abschätzungen und Analogiebetrachtungen“ (§ 7 Abs. 6 Nr. 3 EndlSiUntV), erscheint unwahrscheinlich, da beide Maßnahmen im Gesetz explizit separat genannt sind: „Der Vorhabenträger ... führt für die Teilgebiete repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen ... durch. Auf der Grundlage der daraus ermittelten Ergebnisse hat der Vorhabenträger unter erneuter Anwendung der geowissenschaftlichen Abwägungskriterien ... günstige Standortregionen zu ermitteln...“ (§ 14 Abs. 1 StandAG).

11 Fragen an die BGE

Unbenommen der vorstehenden Ausführungen und Diskussionsanregungen ergeben sich aus den vorgelegten Unterlagen die nachstehenden Fragen:

- 1) Wann ist mit dem Abschluss der Methodenentwicklung – ohne Modifikationen, die sich aus der tatsächlichen Anwendung der Methodik ergeben – zu rechnen? Dies gilt insbesondere mit Blick auf die noch nicht vollständig dargestellten Prüfschritte 3 und 4 (vgl. Ziffer 1.1 dieser Stellungnahme) sowie die Bewertung von Ungewissheiten (§ 11) und Ableitung des FuE-Bedarfs (§ 12)..
- 2) Inwiefern findet eine Qualitätskontrolle bzw. Plausibilitätsprüfung der im Rahmen der rvSU verarbeiteten Daten (z. B. Bohrungsdaten) statt?
- 3) Wie wird die Datenlage (auch aufbereitet, reprozessiert und re-interpretiert), auf der die Kategorisierung erfolgt, zugänglich gemacht? Denkbar wäre hier ein Data Supplement zu den einzelnen rvSU. Eine konkrete Verwendung dieses Data Supplement wäre etwa der Versuch den Verlauf der p10-Kurve in Abbildung 202 (Anlage, Blatt 545) zu verstehen, der verglichen mit den weiteren Kurven der Abbildung nicht nachvollziehbar erscheint.
- 4) Inwiefern ermöglicht der vorgelegte Arbeitsstand zur Methodik der rvSU Verfahrensrücksprünge? Diese Frage gewinnt ihre Relevanz u. a. aus den vorgesehenen unterschiedlichen Detailgraden der rvSU: inwiefern sieht die Methodik Haltepunkte und sich daraus ggf. ergebende Iterationsschleifen vor, die es erlauben möglicherweise (z. B. auf Grund von Analogieschlüssen) irrtümlich in Kategorie D oder C eingeordnete Gebiete erneut zu betrachten (vgl. Ziffer 3 dieser Stellungnahme)?

Geprüfte Unterlagen:

BGE, 2022a: Konzept zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung. Stand 28.03.2022; 62 Seiten; Geschäftszeichen: SG02303/97-1/1-2022#1 – Objekt-ID: 913984 – Revision: 00; BGE Peine.

BGE, 2022b: Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung. Stand 28.03.2022; 744 Seiten; Geschäftszeichen: SG02303/97-2/2-2022#10 – Objekt-ID: 919256 – Revision: 00; BGE Peine.

Literaturverzeichnis

- Achtziger-Zupančič, P., Loew, S. & Hiller, A., 2017: Factors controlling the permeability distribution in fault vein zones surrounding granitic intrusions (Ore Mountains/Germany). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 122, 1876 – 1899, DOI: <https://doi.org/10.1002/2016JB013619>
- Bartels, A., Rummel, L. & May, F., 2020: Dokumentation und Auswertung einer Expertenbefragung zur langfristigen Vorhersage vulkanischer Aktivität in Deutschland. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 105 S., Hannover
- BGE, 2020: Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG. Stand 28.09.2020; 444 Seiten; Geschäftszeichen SG01101/16-1/2-2019#3 – Objekt-ID: 755925 – Revision: 000; BGE Peine.
- BGR, 2016: Antworten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe zum Pflichtenheft „Literaturstudie Wärmeentwicklung-Gesteinsverträglichkeit“. Beratung der Endlagerkommission, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Geschäftszeichen B3/B50100-10/2014-0003/009, 67 S., Hannover
- BT Drs. 18/11398, 2017: 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
- ESK, 2022: Stellungnahme der Entsorgungskommission zum 100 Grad Celsius Kriterium in § 27 (4) des Standortauswahlgesetzes. Entsorgungskommission: S. 13
- HSK 23/73, 2004: Stellungnahme zur Sicherheitsanalyse Kristallin-I der NAGRA. Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, 110 S., Würenlingen
- Liu, W., Völkner, E., Minkley, W. & Popp, T., 2017: Zusammenstellung der Materialparameter für THM-Modellberechnungen. Ergebnisse aus dem Vorhaben KOSINA. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 89 S., Hannover

- Navarro, M., Weyand, T., Eckel, J. & Fischer, H., 2019: Indikatoren zur Bewertung des Einschlusses und der Isolation mit exemplarischer Anwendung auf ein generisches Endlagersystem mit dem Wirtsgestein Tongestein. GRS - A - 3985. Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, 70 S., Braunschweig
- Popp, T., 2022: Eigenschaften und Potential stratiformer Salz-Formationen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle. Institut für Gebirgsmechanik GmbH, 104 S., Leipzig
- Rummel, L., Bartels, A. & May, F., 2021: Dokumentation und Auswertung einer zweiten Expertenbefragung zur langfristigen Vorhersage vulkanischer Aktivität in Deutschland. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 73 S., Hannover
- Schreiber, U. & Jentzsch, G., 2021: Vulkanische Gefährdung in Deutschland Bewertung möglicher vulkanischer Aktivitäten der nächsten 1 Million Jahre in Deutschland inklusive Festlegung der Gebiete mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit in diesem Zeitraum. Studie im Auftrag der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, 132 S.
- Stober, I. & Bucher, K., 2007: Hydraulic properties of the crystalline basement. Hydrogeology Journal 15, 213 – 224, DOI: 10.1007/s10040-006-0094-4
- Stober I, & Bucher K, 1999: Deep groundwater in the crystalline basement of the Black Forest region. Applied Geochemistry 14, 237 – 254, 10.1016/S0883-2927(98)00045-6