



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

Stellungnahme zur „Berechnungsgrundlage für die Dosisabschätzung bei der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen“

Stand 17.09.2021

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Inhaltsverzeichnis | 2 |
| Abkürzungsverzeichnis | 5 |
| 1 Zusammenfassung | 7 |
| 2 zu: Anwendungsbereich (Kapitel 2 der Berechnungsgrundlage) | 10 |
| 2.1 Inhaltliche Zusammenfassung | 10 |
| 2.2 Kommentierung Inhalt | 10 |
| 2.3 Kommentierung Formal | 10 |
| 2.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 10 |
| 3 zu: Begriffsbestimmungen (Kapitel 3 der Berechnungsgrundlage) | 12 |
| 3.1 Inhaltliche Zusammenfassung | 12 |
| 3.2 Kommentierung Inhalt | 12 |
| 3.3 Kommentierung Formal | 14 |
| 3.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 14 |
| 4 zu: Ziele und Grundsätze für die Abschätzung der Dosis (Kapitel 4 der Berechnungsgrundlage) | 15 |
| 4.1 Inhaltliche Zusammenfassung | 15 |
| 4.2 Kommentierung Inhalt | 16 |
| 4.3 Kommentierung Formal | 17 |
| 4.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 17 |
| 5 zu: Erstellung einer Strategie für die Dosisabschätzung (Kapitel 5 der Berechnungsgrundlage) | 18 |
| 5.1 Inhaltliche Zusammenfassung | 18 |
| 5.2 Kommentierung Inhalt | 18 |
| 5.3 Kommentierung Formal | 19 |
| 5.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 20 |
| 6 zu: Systematik und Typen von Modellen (Kapitel 6 der Berechnungsgrundlage) | 21 |
| 6.1 Inhaltliche Zusammenfassung | 21 |
| 6.2 Kommentierung Inhalt | 21 |
| 6.3 Kommentierung Formal | 22 |
| 6.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 22 |
| 7 zu: Potentielle Entwicklungen des Endlagers (Kapitel 7 der Berechnungsgrundlage) | 24 |
| 7.1 Inhaltliche Zusammenfassung | 24 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 7.2 | Kommentierung Inhalt | 24 |
| 7.3 | Kommentierung Formal | 25 |
| 7.4 | Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 26 |
| 8 | zu: Umgang mit Ungewissheiten (Kapitel 8 der Berechnungsgrundlage) | 27 |
| 8.1 | Inhaltliche Zusammenfassung | 27 |
| 8.2 | Kommentierung Inhalt | 27 |
| 8.3 | Kommentierung Formal | 28 |
| 8.4 | Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 28 |
| 9 | zu: Radionuklidinventar und Auswahlprozess (Kapitel 9 der Berechnungsgrundlage) | 30 |
| 9.1 | Inhaltliche Zusammenfassung | 30 |
| 9.2 | Kommentierung Inhalt | 30 |
| 9.3 | Kommentierung Formal | 31 |
| 9.4 | Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 31 |
| 10 | zu: Geosphärenmodellierung zur Dosisabschätzung (Kapitel 10 der Berechnungsgrundlage) | 32 |
| 10.1 | zu: Übergeordnete Aspekte der Geosphärenmodellierung (Unterkapitel 10.1 der Berechnungsgrundlage) | 32 |
| 10.1.1 | Inhaltliche Zusammenfassung | 32 |
| 10.1.2 | Kommentierung Inhalt | 32 |
| 10.1.3 | Kommentierung Formal | 32 |
| 10.1.4 | Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 33 |
| 10.2 | zu: Modellbildung (Unterkapitel 10.2 der Berechnungsgrundlage) | 33 |
| 10.2.1 | Inhaltliche Zusammenfassung | 33 |
| 10.2.2 | Kommentierung Inhalt | 34 |
| 10.2.3 | Kommentierung Formal | 35 |
| 10.2.4 | Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 35 |
| 10.3 | zu: Qualifizierung von Berechnungsmodellen und mathematischen Modellen (Unterkapitel 10.3 der Berechnungsgrundlage) | 35 |
| 10.3.1 | Inhaltliche Zusammenfassung | 35 |
| 10.3.2 | Kommentierung Inhalt | 36 |
| 10.3.3 | Kommentierung Formal | 36 |
| 10.3.4 | Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 36 |
| 11 | zu: Schnittstelle Geosphärenmodell – Biosphärenmodell für die Dosisabschätzung (Kapitel 11 der Berechnungsgrundlage) | 37 |
| 11.1 | Inhaltliche Zusammenfassung | 37 |
| 11.2 | Kommentierung Inhalt | 37 |
| 11.3 | Kommentierung Formal | 37 |
| 11.4 | Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 37 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 12 | zu: Biosphärenmodellierung für die Dosisabschätzung (Kapitel 12 der Berechnungsgrundlage) | 38 |
| 12.1 | zu: Übergeordnete Aspekte der Biosphärenmodellierung (Unterkapitel 12.1 der Berechnungsgrundlage) | 38 |
| 12.1.1 | Inhaltliche Zusammenfassung | 38 |
| 12.1.2 | Kommentierung Inhalt | 38 |
| 12.1.3 | Kommentierung Formal | 39 |
| 12.1.4 | Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 39 |
| 12.2 | zu: Klima (Unterkapitel 12.2 der Berechnungsgrundlage) | 40 |
| 12.2.1 | Inhaltliche Zusammenfassung | 40 |
| 12.2.2 | Kommentierung Inhalt | 40 |
| 12.2.3 | Kommentierung Formal | 41 |
| 12.2.4 | Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 41 |
| 12.3 | zu: Ausbreitung von Radionukliden und Umweltkontamination (Unterkapitel 12.3 der Berechnungsgrundlage) | 42 |
| 12.3.1 | Inhaltliche Zusammenfassung | 42 |
| 12.3.2 | Kommentierung Inhalt | 43 |
| 12.3.3 | Kommentierung Formal | 43 |
| 12.3.4 | Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 43 |
| 12.4 | zu: Exposition der repräsentativen Person (Unterkapitel 12.4 der Berechnungsgrundlage) | 44 |
| 12.4.1 | Inhaltliche Zusammenfassung | 44 |
| 12.4.2 | Kommentierung Inhalt | 45 |
| 12.4.3 | Kommentierung: Formal | 46 |
| 12.4.4 | Bewertung Anwendbarkeit für vSU | 47 |
| | Literaturverzeichnis | 48 |
| | Anzahl der Blätter dieses Dokumentes | 50 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--|---|
| AnSicht | Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein |
| AtEV | Atomrechtliche Entsorgungsverordnung |
| AVV | Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen |
| AVV Tätigkeiten | Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten |
| BASE | Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung |
| Berechnungs- grundlage Do- sisabschätzung | Berechnungsgrundlage für die Dosisabschätzung bei der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen |
| BfS | Bundesamt für Strahlenschutz |
| BGE | Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH |
| BglBb | Berechnungsgrundlagen Bergbau |
| BMU | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit |
| EndISiAnfV | Endlagersicherheitsanforderungsverordnung |
| EndISiUntV | Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung |
| ESK | Entsorgungskommission |
| ewG | einschlusswirksamer Gebirgsbereich |
| FEP | Features, Events and Processes |
| GRS | Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit |
| IAEA | International Atomic Energy Agency |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| rvSU | repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen |
| SSG | Specific Safety Guide |
| SSK | Strahlenschutzkommission |
| StandAG | Standortauswahlgesetz |
| StrISchG | Strahlenschutzgesetz |
| StrISchV | Strahlenschutzverordnung |
| uvSU | umfassende vorläufige Sicherheitsuntersuchungen |

| | |
|-------------|--|
| VSG | Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben |
| vSU | vorläufige Sicherheitsuntersuchungen |
| wvSU | weiterentwickelte vorläufige Sicherheitsuntersuchungen |

1 Zusammenfassung

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) begrüßt die Entwicklung einer Berechnungsgrundlage für die Dosisabschätzung zur Anwendung in der Standortauswahl. Nach den Vorgaben der Endlagersicherheitsanforderungs- (EndLSiAnfV) und Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndLSiUntV) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) ist die Dosis neben dem Massen- und Stoffmengenausrag einer von zwei quantitativen Indikatoren zur Bewertung der Sicherheit des Endlagersystems in den vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (vSU) und damit von besonderer Relevanz in der Sicherheitsanalyse.

Nach Sichtung des Entwurfs der Berechnungsgrundlage bestehen seitens der BGE allerdings Bedenken hinsichtlich der Anwendbarkeit einiger Teile der vorliegenden Berechnungsgrundlage in den vSU.

Die Stellungnahme ist in der Art strukturiert, dass für jedes besonders relevant erscheinende Kapitel und Unterkapitel der Berechnungsgrundlage zunächst eine kurze inhaltliche Zusammenfassung erfolgt und anschließend, falls gegeben, der Inhalt des jeweiligen Kapitels sowie seine formale Ausgestaltung kommentiert wird. Abschließend wird, sofern erforderlich, aus gegenwärtiger Sicht die Anwendbarkeit des jeweiligen Kapitels im Rahmen der vSU bewertet. Die Stellungnahme bezieht sich ausschließlich auf das Standortauswahlverfahren.

Um ausreichend Zeit zur Vorbereitung der Dosisabschätzung im Rahmen der Standortauswahl zu haben, sollte die Endfassung der Berechnungsgrundlage nach Einschätzung der BGE spätestens im Sommer des Jahres 2022 vorliegen.

Im Folgenden werden die wesentlichen Anmerkungen zusammenfassend aufgeführt:

- Zuvorderst wünschenswert ist eine Abstufung bzw. Differenzierung in Hinblick auf den Detaillierungsgrad der Dosisabschätzung zwischen den weiterentwickelten (wvSU) und den umfassenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (uvSU) und damit eine Berücksichtigung des Erkenntnisgewinns durch die Erkundung als wesentliches Element des Standortauswahlverfahrens.
- Trotz Vereinfachungsmöglichkeiten weist die Berechnungsgrundlage in der Biosphärenmodellierung einen sehr hohen, stellenweise in Bezug auf die Anwendung auf ein Endlager mit dem zugehörigen zeitlichen Abstraktionslevel ggf. zu hohen Detaillierungsgrad auf. Der Detaillierungsgrad wirkt damit, in Anbetracht des langen Betrachtungszeitraums, pseudogenau. Für die Endfassung der Berechnungsgrundlage sollten die einzelnen Vorgaben daher noch einmal auf deren tatsächliche Relevanz für das Standortauswahlverfahren hin überprüft werden.
- Die Geosphärenmodellierung (Kapitel 10 der Berechnungsgrundlage) wird mit einem geringeren Detaillierungsgrad vorgestellt als die Biosphärenmodellierung (Kapitel 12 der Berechnungsgrundlage). Kapitel 10 der Berechnungsgrundlage reduziert sich auf allgemeine Hinweise zu den Grundlagen und Voraussetzungen

für die Geosphärenmodellierung. Zur besseren Nachvollziehbarkeit dieses unterschiedlichen Detaillierungsgrades sollte in der Berechnungsgrundlage eine konkrete Begründung ergänzt werden.

- Beim Radionuklidinventar (Kapitel 9 der Berechnungsgrundlage) ist angegeben, dass das „gesamte“ mit den Abfällen einzubringende Radionuklidinventar zu berücksichtigen und damit auch zu dokumentieren sei. Gemäß § 2 Abs. 1 AtEV (Atomrechtliche Entsorgungsverordnung) in Verbindung mit Anlage D Tabelle 5 Nr. 22 AtEV sind von den Abfallerzeugern nur „Aktivitäten relevanter Radionuklide“ zu erfassen. Es fehlt eine Erläuterung, woher Daten für das „gesamte“ Radionuklidinventar, die über das erfasste „relevante“ Radionuklidinventar hinausgehen, kommen sollen. Deshalb wird vorgeschlagen, nur die gemäß AtEV von den Abfallerzeugern zu erfassenden Daten im Rahmen der Dosisabschätzung zu berücksichtigen. Erforderlichenfalls wäre die AtEV entsprechend anzupassen.
- Es fehlen Parameter für die geforderte Betrachtung aller wesentlichen klimatischen Szenarien, die im Bewertungszeitraum vorkommen können.
- Eine kurze Einordnung der Vorgaben in den Kontext internationaler Regelungen ist sinnvoll.
- Innerhalb der Berechnungsgrundlage selbst und in Bezug zu anderen, zusammenhängenden Dokumenten sollte auf eine einheitliche Begriffswahl geachtet werden. Begriffliche Anpassungen, beispielsweise gegenüber der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) (z. B. „Rind“ vs. „Tier“), sollten genauer erläutert werden.
- Konkretisierungen sind erforderlich bezüglich der Betrachtung der Resuspension kontaminierten Bodens und bezüglich der Auslassung der Betrachtung kontaminierter Böden bzw. kontaminierten Sediments in Überschwemmungsgebieten und Spülfeldern (wie in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten) benannt).
- Das Vorgehen für die geforderte Abschätzung der Exposition der repräsentativen Person als „über die Lebenszeit [...] gemittelte effektive Dosis“ sollte genauer erläutert werden. Im Gegensatz zur Berechnungsgrundlage wird weder in der EndlSiAnfV noch in der EndlSiUntV eine „Mittelung“ der Dosis erwähnt.
- Die Relevanz des Pfades „Bodeningestion“ sollte überprüft werden. Da ein tiefeingeologisches Endlagersystem betrachtet wird, ist ein unmittelbarer Einfluss dieses Expositionspfades aus gegenwärtiger Sicht nicht erkennbar.
- Die Herkunft bzw. die Entwicklung der Gleichungen für die Biosphärenmodellierung ist anhand von Literaturreferenzen nachvollziehbar zu dokumentieren und zu erläutern.

- Die Einschränkungen der Parameter und die Anwendungsgrenzen aus den Erläuterungen zu den Berechnungsgrundlagen Bergbau (BglBb) (Kümmel 2012) sollten eingehender betrachtet und diskutiert werden.
- Es sollte näher ausgeführt werden, weshalb in der Berechnungsgrundlage entgegen der Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK 2015) sechs anstelle von drei Altersklassen betrachtet werden.
- Weitere Beispiele und/oder Grafiken könnten zu einem besseren Verständnis der Berechnungsgrundlage beitragen.

2 zu: Anwendungsbereich (Kapitel 2 der Berechnungsgrundlage)

2.1 Inhaltliche Zusammenfassung

Das Kapitel beschreibt den Anwendungsbereich der „Berechnungsgrundlage für die Dosisabschätzung bei der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen“ (BASE & BfS 2020), im Weiteren kurz „Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung“ genannt. Gemäß EndlSiAnfV (Endlagersicherheitsanforderungsverordnung) und EndlSiUntV (Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung) ist in den wvSU (weiterentwickelte vorläufige Sicherheitsuntersuchungen) und uvSU (umfassende vorläufige Sicherheitsuntersuchungen) im Standortauswahlverfahren jeweils „die zusätzliche jährliche effektive Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung abzuschätzen“ (vgl. § 7 Abs. 1 EndlSiAnfV). In der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung werden hierzu Einzelheiten geregelt. Im Falle einer zusätzlichen Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle am gleichen Standort sind die Vorgaben der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung nur dann zu übertragen, wenn die Endlagerung nach § 21 Abs. 3 EndlSiAnfV im selben Endlagerbergwerk erfolgt. Falls schwach- und mittelradioaktive Abfälle am gleichen Standort in einem separaten Endlagerbergwerk endgelagert werden sollen (vgl. § 21 Abs. 2 EndlSiAnfV), gilt die Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung nicht. Im Kapitel wird außerdem klargestellt, dass sich die Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung nur auf das Standortauswahlverfahren bezieht, nicht jedoch auf ein sich anschließendes Genehmigungsverfahren. Eine Aktualisierung der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung soll mindestens alle 10 Jahre erfolgen.

2.2 Kommentierung Inhalt

Keine Anmerkungen.

2.3 Kommentierung Formal

Es fällt auf, dass im Gegensatz zur Formulierung in der EndlSiAnfV und der EndlSiUntV (z. B. „zusätzliche jährliche effektive Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung“, vgl. § 7 Abs. 1 EndlSiAnfV) in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung zumeist von einer „zusätzlichen mittleren effektiven Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung“ (z. B. Kapitel 2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung) gesprochen wird. Falls der gleiche Sachverhalt gemeint ist, sollte auf eine konsistente Formulierung geachtet werden. Alternativ sollten eventuelle Unterschiede klar herausgestellt und die Vorgehensweise bei der „Mittlung“ näher erläutert werden (siehe auch Unterkapitel 12.4 dieser Stellungnahme).

2.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Der Anwendungsbereich der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung ist insgesamt nachvollziehbar dargestellt. Für den Fall einer zusätzlichen Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle am gleichen Standort in einem separaten Endlagerbergwerk sind jedoch zusätzliche Hinweise zur konkreten Herangehensweise und Abgrenzung bei

der Dosisabschätzung notwendig. Ferner sollte auf konsistente Formulierungen zur EndlSiAnfV und EndlSiUntV geachtet werden.

3 zu: Begriffsbestimmungen (Kapitel 3 der Berechnungsgrundlage)

3.1 Inhaltliche Zusammenfassung

Entfällt, da es sich um reine Begriffsbestimmungen handelt und damit der Inhalt dieses Kapitels selbsterklärend ist.

3.2 Kommentierung Inhalt

Die Verwendung konsistenter Begriffe ist aus Sicht der BGE essenziell für die Anwendbarkeit der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung in den vSU sowie für die öffentliche Kommunikation und die Rechtssicherheit der daraus resultierenden Ergebnisse. Dagegen wurde geprüft, ob die in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung genutzten Begriffe im Standortauswahlgesetz (StandAG) sowie in der EndSiAnfV definiert sind (die EndSiUntV beinhaltet keine eigenen Begriffsbestimmungen, sondern verweist auf die Begriffsbestimmungen im StandAG sowie in der EndSiAnfV). Die Begriffe werden in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung ohne Ausnahme zum ersten Mal definiert. Das ist sachgerecht und in Ordnung.

Der Begriff der „Dosisabschätzung“ bezieht sich auf den „Untersuchungsraum“ (gemäß § 3 EndSiUntV) und wird damit enger definiert als in internationalen Empfehlungen („dose assessment“ im International Atomic Energy Agency (IAEA) Safety Glossary 2018 (IAEA 2019)). Für die Analyse zur „Dosisabschätzung“ wird eine Einbeziehung von „Ungewissheiten“ postuliert. Jedoch kann die Einbeziehung von „Ungewissheiten“ unterschiedlich ausgestaltet werden. Eine Berücksichtigung von „Ungewissheiten“ allein auf Grundlage deterministischer Modellrechnungen wird gemäß Unterkapitel 8.4 und 8.5 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung indes generell für unzulässig erklärt, probabilistische Analysen wären stets und zu allen Phasen des Standortauswahlverfahrens zwingend durchzuführen. Hierdurch wird die in den Begriffsbestimmungen zunächst allgemein vorausgesetzte Einbeziehung der „Ungewissheiten“ später auf die Durchführung probabilistischer Analysen fokussiert und somit insbesondere die Option eines gestuften Vorgehens zwischen wvSU und uvSU eingeschränkt.

Beim Begriff „Szenario“ wird Bezug genommen auf die in § 3 Abs. 2 EndSiAnfV definierten „Entwicklungen“ des Endlagersystems. Es erschließt sich nicht, warum in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung zu dem in den alten Sicherheitsanforderungen (BMU 2010) verwendeten „Szenario“-Begriff (dort „Szenarium“) zurückgekehrt wird, welcher in der EndSiAnfV 2020 verworfen und durch „Entwicklungen“ ersetzt wurde. Eine Einheitlichkeit in der Begriffswahl wäre hier aus Konsistenzgründen sinnvoll, um Irritationen bei den Anwendern zu vermeiden. So konnten gemäß BMU (2010) „mehrere Entwicklungen zu einem Szenarium zusammengefasst werden“, gemäß Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung sind diese Begriffe synonym zu verwenden.

Eine Spezifikation beim Begriff „Szenario“ durch „insbesondere hinsichtlich der geologischen und klimatischen Situation [...] sowie der Barrieren und [...] Abfälle“ bezieht sich

auf die Definition der zu erwartenden Entwicklungen in § 3 Abs. 3 EndlSiAnfV. Szenarien im Kontext der „Dosisabschätzung“ berücksichtigen jedoch alle Prozesse und Ereignisse einschließlich deren Wechselwirkungen, z. B. auch mechanische, (geo-)chemische, thermische und hydraulische Aspekte. In den Projekten VSG (Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben), AnSicht (Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein) und dem Bericht GRS-424 (Uhlmann 2016) (Szenariientwicklung) der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) wird die Definition der BMU Sicherheitsanforderungen 2010 (BMU 2010) angewendet und übernommen:

„Ein Szenarium beschreibt eine von den derzeitigen Standortgegebenheiten ausgehende und aufgrund geowissenschaftlicher oder sonstiger Überlegungen mehr oder weniger wahrscheinliche Entwicklung des Endlagersystems mit seinen sicherheitsrelevanten Eigenschaften nach der Stilllegung des Endlagers. Diese Entwicklung wird durch die Ausgangssituation sowie durch zu künftige Ereignisse und Prozesse bestimmt. Es können auch mehrere Entwicklungen zu einem Szenarium zusammengefasst werden.“

In der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung sollte daher nachvollziehbarer dargestellt und begründet werden, auf welche Definition der dort scheinbar synonym verstandenen Begriffe „Szenario“/ „Szenarium“/ „Entwicklung“ zurückgegriffen wird.

Auch beim Begriff „Szenariientwicklung“ wird in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung die an § 3 Abs. 3 EndlSiAnfV angelehnte Einschränkung auf die „Beschreibung potentieller Entwicklungen [...] insbesondere hinsichtlich der geologischen und klimatischen Situation [...] sowie der Barrieren und [...] Abfälle“ vorgenommen. Diese ist im Kontext der Dosisabschätzung insgesamt zu hinterfragen (siehe oben Erläuterungen zum Begriff „Szenario“). Zudem wird für die „Szenariientwicklung“ eine neue Definition eingeführt, obwohl auch eine bereits vorhandene Definition, z. B. aus der VSG (Beuth et al. 2012), übernommen werden könnte:

„Die Szenariientwicklung ist die systematische Herleitung und Beschreibung der Entwicklungsmöglichkeiten des Endlagersystems, die für eine zuverlässige Beurteilung der Sicherheit des Endlagers relevant sind. Dies geschieht auf der Grundlage eines FEP-Katalogs.“

Bei allen Begriffen wäre die Berücksichtigung internationaler Empfehlungen wünschenswert (z. B. IAEA Glossary).

Für die Begriffe „Ungewissheit“ und „Unsicherheit“ ist in der definierten Bedeutung international lediglich der Begriff „uncertainty“ üblich. Eine Unterscheidung von „Ungewissheit“ und „Unsicherheit“ ist spezifisch für Deutschland und sprachlich bedingt. Hier wäre eine Quellenangabe zum Ursprung beider Definitionen (aus der deutschen Endlagerfor-

schung oder nationalen Richtlinien) wünschenswert. Die Definition des Begriffs „Unsicherheit“ als „Maß an Vertrauen“ ist sehr spezifisch, insbesondere hier würde eine Quellangabe zum Verständnis beitragen.

Die Betrachtung der „Ungewissheiten“ für einen Sicherheitsnachweis ist an besondere Randbedingungen geknüpft: eine Vielzahl von (komplexen und unterschiedlichen) Modellen, Modellverknüpfungen sowie ein langer Bewertungszeitraum. Daher ist die Auswahl von spezifischen mathematischen Methoden für die Unsicherheitsanalyse erforderlich. Eine Untermauerung der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung mit Quellen aus der Endlagerforschung, die sich auf spezifische Berechnungen für die Nachbetriebsphase beziehen, wäre grundsätzlich hilfreich.

3.3 Kommentierung Formal

Es sollte überlegt werden, den Begriff „Quellterm“ in den Begriffsbestimmungen mit aufzunehmen (siehe auch Unterkapitel 10.2 dieser Stellungnahme).

3.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Um Unklarheiten bei der Anwendung der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung zu vermeiden, sollte auf eine einheitliche Begriffswahl und Konsistenz zur EndSiAnfV und EndSiUntV geachtet werden.

4 zu: Ziele und Grundsätze für die Abschätzung der Dosis (Kapitel 4 der Berechnungsgrundlage)

4.1 Inhaltliche Zusammenfassung

Kapitel 4 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung erläutert sowohl die Ziele als auch die Grundsätze der Dosisabschätzung in den vSU im Standortauswahlverfahren. Im Wesentlichen soll durch die Schaffung eines einheitlichen Rahmens sowie Vorgaben zur Methodikentwicklung bei der Betrachtung von Radionukliden in der Geo- und Biosphäre erreicht werden, dass die Vorgehensweise bei der Dosisabschätzung im Rahmen des Standortauswahlverfahrens begründet nachvollzogen werden kann. Um für alle Untersuchungsräume (vgl. § 3 EndlSiUntV) zu qualitativ ähnlichen Ergebnissen zu gelangen, sollen bei der Dosisabschätzung möglichst gleichwertige Methoden angewandt werden.

Neben der Darstellung der Ziele werden in Kapitel 4 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung in den Grundsätzen darüber hinaus u. a. die Unterschiede zwischen Geosphären- und Biosphärenmodellierung verdeutlicht und es wird darauf hingewiesen, dass es bei der Modellierung insgesamt keine Logikfehler geben darf. Ebenfalls muss grundsätzlich Widerspruchsfreiheit zu anderen Arbeiten innerhalb einer vSU bestehen. Nach Unterkapitel 4.2 Abs. 8 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung kann die abgeschätzte Dosis als Indikator der Radiotoxizität verstanden werden, welcher wesentlich auf den nach § 3 Abs. 2 EndlSiAnfV zu bestimmenden, zu erwartenden und abweichenden Entwicklungen sowie dem Radionuklidinventar des Endlagers basiert.

Für die Dosisabschätzung selbst wird des Weiteren gefordert, dass das Vorgehen möglichst realitätsnah erfolgen soll und zur Durchführung eine übergeordnete Strategie zu erstellen ist. Maßnahmen zur Qualitätssicherung sind vorzusehen und Ungewissheiten bei der Bearbeitung zu beachten und zu analysieren. Gleichsam wird betont, dass Untersuchungsräume nicht allein aufgrund konservativer Annahmen aus dem Standortauswahlverfahren ausscheiden dürfen. Bei der Dosisabschätzung sind radioaktive Zerfallsreihen zu berücksichtigen, wobei Vereinfachungen innerhalb eines gewissen Rahmens zulässig sind. Eine Unterscheidung zwischen wvSU und uvSU ist im vorliegenden Entwurf der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung nicht vorgesehen, es wird allerdings auf „unterschiedliche Erwartungshaltungen an die fachliche Tiefe der Dosisabschätzungen“ (vgl. Unterkapitel 4.2 Abs. 18 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung) hingewiesen.

Es wird prinzipiell die Möglichkeit eingeräumt, bei hinreichender Begründung, aber gleichzeitiger Erfüllung der in Kapitel 4 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung festgelegten Ziele und Grundsätze von den Vorgaben der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung abzuweichen. Alle wesentlichen Überlegungen bei der Dosisabschätzung sind umfassend zu dokumentieren.

4.2 Kommentierung Inhalt

Die Formulierung von Zielen und Grundsätzen bei der Dosisabschätzung trägt zur besseren Nachvollziehbarkeit und zum Verständnis des Standortauswahlverfahrens bei und wird daher ausdrücklich begrüßt. Unklar bleibt jedoch, was in Zusammenhang mit der Dosisabschätzung genau unter gleichwertigen Methoden zu verstehen ist, die zu einem qualitativ ähnlichen Ergebnis für alle Untersuchungsräume führen sollen. Selbst im Nachgang der übertägigen Erkundung im Rahmen der wvSU besteht die Möglichkeit, dass für verschiedene Untersuchungsräume ggf. eine uneinheitliche Datenlage vorliegt bzw. zumindest grundlegende Unterschiede zwischen verschiedenen Wirtsgesteinen existieren. Eine nähere Erläuterung der Formulierung „gleichwertige Methoden“ oder eine Benennung von Kriterien, nach welchen verwendete Methoden zur Dosisabschätzung als gleichwertig anzusehen sind, wären daher hier wünschenswert.

Des Weiteren fällt auf, dass die Dosisabschätzung einerseits realitätsnah erfolgen soll, andererseits jedoch eine grundsätzlich konservative Herangehensweise verfolgt werden soll. Dies ist in seiner Grundphilosophie nachvollziehbar, könnte aber in Anbetracht einer eventuell sehr unterschiedlichen Datenlage für möglicherweise verschieden große Untersuchungsräume eine schwer umsetzbare Vorgabe sein.

Die Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung sieht nach Unterkapitel 4.2 Abs. 18 bewusst von einer Differenzierung zwischen den wvSU und den uvSU ab. Eine solche Differenzierung, ähnlich wie sie in der EndlSiUntV z. T. für die repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (rvSU) vorgenommen wurde (z. B. § 7 Abs. 6 EndlSiUntV), wäre jedoch angebracht und würde den Erkenntnisgewinn im Zuge der Erkundungen als wesentliches Element des Standortauswahlverfahrens angemessen berücksichtigen. Eine Abstufung bzw. Differenzierung zwischen den wvSU und den uvSU würde überdies vermutlich entscheidend dazu beitragen, bei der Dosisabschätzung für jeden Untersuchungsraum qualitativ ähnliche Ergebnisse zu erzielen, welche nach Einschätzung der BGE aufgrund der unterschiedlichen Ausgangslage jeweils nur innerhalb einer Phase des Standortauswahlverfahrens angestrebt werden sollten.

Die in den Grundsätzen (Unterkapitel 4.2 Abs. 6 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung) geforderte Ausarbeitung einer Strategie erscheint wichtig und sinnvoll. Es stellt sich allerdings die Frage, weshalb eine solche separate Strategie lediglich für die Dosisabschätzung formuliert werden soll, nicht jedoch für andere innerhalb einer vSU zu betrachtende Aspekte (siehe auch Kapitel 5 dieser Stellungnahme). Eine entsprechende Erläuterung wäre hier wünschenswert.

In Unterkapitel 4.2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung wird zwar kurz auf die grundsätzlichen Unterschiede zwischen Geo- und Biosphärenmodellierung eingegangen, beim Vergleich der beiden Abschnitte fällt jedoch auf, dass diese sehr unterschiedlich detailliert ausgestaltet sind. Während im Abschnitt zur Biosphärenmodellierung (Kapitel 12 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung) zum Teil unter Verwendung von Gleichungen sehr konkrete Vorgaben gemacht werden, ist der Teil zur Geosphärenmo-

dellierung vergleichsweise allgemein gehalten, wobei auf konkrete Gleichungen und präzise Vorgaben eher verzichtet wird. Die augenscheinlichen Differenzen zwischen Geosphären- und Biosphärenmodellen sind aus Sicht der BGE erklärungsbedürftig.

Grundsätzlich positiv bewertet wird das von der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung eingeräumte hohe Maß an Flexibilität, bei hinreichender Begründung und Einhaltung der Grundsätze und Ziele ggf. von konkreten Vorgaben abweichen zu können. Da die Dosisabschätzung erstmals in den vVSU, d. h. erst zu einem späteren Zeitpunkt im Standortauswahlverfahren mit aus gegenwärtiger Sicht unbekanntem Ausgangsvoraussetzungen durchzuführen ist, erscheint dies richtig und sinnvoll.

4.3 Kommentierung Formal

In Unterkapitel 4.2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung („Grundsätze“) wird eine vergleichsweise große Anzahl von insgesamt 21 Grundsätzen ohne weitere Untergliederung formuliert. Eine geringere Anzahl sowie eine bessere Struktur könnten zu einer verbesserten Lesbarkeit und zu einem insgesamt besseren Verständnis der Berechnungsgrundlage beitragen. Zusätzlich sollte auch eine prägnantere Formulierung der Ziele und Grundsätze in Erwägung gezogen werden.

Im Falle einer Auflösung bzw. Umstrukturierung des Kapitels 7 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung („Potentielle Entwicklungen des Endlagers“) könnten die wesentlichen Inhalte der Abs. 1 bis 3 ggf. in Kapitel 4 übertragen werden. Der Begriff des „Quellterms“ könnte darüber hinaus statt in Kapitel 10 („Geosphärenmodellierung zur Dosisabschätzung“) oder Kapitel 3 („Begriffsbestimmungen“) auch in Kapitel 4 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung behandelt werden.

4.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Keine Anmerkungen.

5 zu: Erstellung einer Strategie für die Dosisabschätzung (Kapitel 5 der Berechnungsgrundlage)

5.1 Inhaltliche Zusammenfassung

In diesem Kapitel wird gefordert, dass eine Strategie für die Dosisabschätzung zu entwickeln ist. Es werden die Ziele und Eigenschaften einer solchen Strategie beschrieben sowie die Prinzipien, Schlüsselemente und Inhalte der Strategie dargelegt.

5.2 Kommentierung Inhalt

Eine Strategie explizit für die Dosisabschätzung ist kein klassischer Bestandteil eines „Safety Case“, zumindest ist das aus internationalen Empfehlungen nicht bekannt. So wird in IAEA (2012) lediglich ein rationales und systematisches Vorgehen empfohlen und diesbezüglich auf Vorgaben für oberflächennahe Endlager verwiesen. Wünschenswert wäre, dass hier weitere Hinweise mit Quellangaben zu einer solchen Strategie gegeben werden (nationale und internationale Vorgaben oder vergleichbare Projekte). Ein „Safety Case“ beinhaltet eine Sicherheitsstrategie („Safety Strategy“, siehe z. B. Komponenten des „Safety Case“ (IAEA 2012)), die jedoch mit § 10 EndSiAnfV („Sicherheitskonzept“) abgedeckt ist.

Die beschriebene Strategie ist nicht Bestandteil der EndSiUntV sowie der EndSiAnfV, sondern geht darüber hinaus. Sie ist dementsprechend nicht konsistent zu der beschriebenen Vorgehensweise nach EndSiUntV und EndSiAnfV. Bezüge zu den in der EndSiUntV sowie der EndSiAnfV geforderten Bestandteilen einer vSU fehlen.

Kapitel 5 Abs. 2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung macht deutlich, dass die Vorgehensweise bei der Dosisabschätzung im Rahmen der vSU vor dem Hintergrund des Vergleichs von Untersuchungsräumen in verschiedenen Phasen der vSU zu entwickeln ist. Die Vorgehensweise hat also zu gewährleisten, dass eine Vergleichbarkeit von Untersuchungsräumen ermöglicht wird. Diese Sicht teilt die Vorhabenträgerin.

Die geforderte Strategie bezieht sich explizit auf die Dosiswerte im Bewertungszeitraum (gemäß § 7 EndSiAnfV) und nicht auf die weiteren Kriterien für die Langzeitsicherheit (insbesondere §§ 4 bis 6 EndSiAnfV). Allerdings sind die Vorgaben hier eher allgemeiner Natur. Sie betreffen nur einen Teil (zwar einen sehr wesentlichen Teil, jedoch eben nur einen Teil) der Langzeitsicherheitskriterien. Auch ist die Abgrenzung von Kapitel 5 Abs. 3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung zu vielen Regelungen der EndSiAnfV bzw. der EndSiUntV unklar, insbesondere zu § 4 EndSiUntV („Allgemeine Anforderungen an die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen“). Abgrenzungsschwierigkeiten können sich beispielsweise zu den folgenden Punkten ergeben:

- Sicherheitskonzept
- Geosynthese
- Bewertungen und Abwägungen, die im Zuge des vergleichenden Verfahrens vorzunehmen sind
- Erkenntnisgewinn aus der Erkundung

- Betrachtung von Ungewissheiten

Es stellt sich die Frage, ob eine Redundanz von fachlichen Regelungen bewusst herbeigeführt wird, gewünscht ist bzw. juristisch gerechtfertigt ist.

Im Entwurf der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung wird darüber hinaus nicht deutlich, ob die in Kapitel 5 beschriebene Strategie der Kategorie des Projektmanagements zuzuordnen ist. Es wird davon ausgegangen, dass die Aufsichtsbehörde und die Vorhabenträgerin im Verfahren Abläufe besprechen und Konzepte/Strategien unter Einhaltung der Maßgaben eines transparenten Verfahrens abstimmen müssen. Allerdings wären solche Konzepte/Strategien in konsistenter Weise für das gesamte Verfahren erforderlich und nicht nur für die Dosisabschätzung.

5.3 Kommentierung Formal

Kapitel 5 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung enthält ganz allgemein Anforderungen an eine Strategie, keine Vorgaben für eine strategische Vorgehensweise.

Die Formulierung in Kapitel 5 Abs. 1 a. der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung „Im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen ist die Dosisabschätzung auf Basis eines nachvollziehbaren Vorgehens so auszurichten, dass qualitativ ähnliche Ergebnisse für alle Untersuchungsräume erreicht werden“ sollte angepasst werden in “[...] dass die Ergebnisse mit ähnlicher Qualität generiert werden“. Bei der ersten Variante könnte eventuell der Eindruck entstehen, dass ähnliche Ergebnisse zustande kommen sollten.

In Kapitel 5 Abs. 2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung beginnt der erste Satz mit „Es ist entweder ist eine [...]“. Das zweite Wort „ist“ ist in diesem Satz zu streichen.

In Kapitel 5 Abs. 3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung wären Verweise zur EndlSiUntV wünschenswert, beispielsweise ist Punkt i. bereits durch § 11 EndlSiUntV geregelt und wird hier erneut aufgegriffen, während andere Punkte neu sind.

In Kapitel 5 Abs. 3 h. der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung werden zudem „Optimierungsprozesse und Abschneidekriterien“ als Bestandteil der zu erstellenden Strategie genannt. In Unterkapitel 12.1 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung wird darauf hingewiesen, dass ein „allgemeingültiges Abschneidekriterium, das nur die physikalische Halbwertszeit des jeweiligen Radionuklids berücksichtigt“, nicht möglich sei. Weitere Hinweise zu Abschneidekriterien werden nicht gegeben. Zusätzliche Erläuterungen oder Verweise (z. B. auf die EndlSiAnfV, sofern der Bezug hier gegeben ist) bezüglich Abschneidekriterien sowie eine konkrete Benennung der Abschneidekriterien sind wünschenswert. In Unterkapitel 8.2 Abs. 2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung werden außerdem „Abbruchkriterien für weitere Minimierungsbestrebungen“ erwähnt. Sofern hiermit die oben genannten „Abschneidekriterien“ gemeint sind, sollte auf einheitliche Begriffe geachtet werden. Eventuell bestehende Unterschiede sollten klar herausgestellt werden.

5.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Die Formulierung einer konsistenten und weitgehend einheitlich für die jeweiligen Untersuchungsräume anwendbaren Strategie für die Durchführung der Dosisabschätzung erscheint grundsätzlich angemessen und sinnvoll. Ein klarer Bezug zu Vorgaben in der EndSiAnfV und der EndSiUntV, die in die Strategie für die Dosisabschätzung einfließen sollen, ist notwendig. Auch ist eine kurze Einordnung wünschenswert, weshalb eine separate Strategie nur für die Dosisabschätzung gefordert wird.

6 zu: Systematik und Typen von Modellen (Kapitel 6 der Berechnungsgrundlage)

6.1 Inhaltliche Zusammenfassung

In diesem Kapitel wird eine Systematik und Typisierung von Modellen in Anlehnung an die IAEA Safety Standards beschrieben.

6.2 Kommentierung Inhalt

Die Differenzierung der Modelltypen erfolgt in Anlehnung an Kapitel 5.47 in IAEA Specific Safety Guide No. 23 (SSG-23) (IAEA 2012). Jedoch sind die Definitionen der Typen von Modellen gegenüber SSG-23 (IAEA 2012) um konkrete Aufzählungen von Aspekten für konzeptionelle Modelle erweitert.

Die IAEA Safety Standards sind als geltende internationale Empfehlungen bei Sicherheitsuntersuchungen generell zu beachten. Durch die Erweiterung der Definitionen der Typen von Modellen gegenüber den IAEA Safety Standards ist es schwer nachzuvollziehen, ob sich die Definitionen auf Modelle generell beziehen oder bereits die standortabhängige Anwendung von Modellen in Untersuchungsräumen betreffen. Die methodischen Vorgaben, insbesondere in Kapitel 6 Abs. 1 a. der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung („Konzeptuelles Modell“), enthalten keinerlei Bezüge zu dem durch die EndlSiUntV konkret vorgegebenen Inhalt und dem Umfang der vSU, sodass insbesondere die genannten Vorgaben zu wesentlichen zu beschreibenden Aspekten losgelöst vom Kontext und daher schwer einzuordnen sind. Die Abgrenzung insbesondere von Kapitel 6 Abs. 1 c („Berechnungsmodell“) zu Unterkapitel 10.3 („Qualifizierung von Berechnungsmodellen und mathematischen Modellen“) der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung ist unklar.

Die Aufzählung bei der Definition des konzeptuellen Modells (beginnend mit „Systemgrenzen des Modells“) ist gegenüber SSG-23 (IAEA 2012) hinzugekommen. Aus Sicht der BGE können die unter Kapitel 6 Abs. 1 a. der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung („Konzeptuelles Modell“) aufgezählten Punkte („Systemgrenzen des Modells“, „Modellrandbedingungen“, „Räumliche Auflösung [...]“, „Übergabe [...]“, „Konzept zum Abgleich [...]“) auch mathematisch und/oder numerisch aufgefasst werden. Es sollte geprüft werden, ob die Aufzählungspunkte hier möglicherweise eindeutiger definiert bzw. voneinander abgegrenzt werden könnten.

Die Definition von „Konzeptuelles Modell“, „Mathematisches Modell“ und „Berechnungsmodell“ weicht etwas von SSG-23 (IAEA 2012) ab (die Definition ist gegenüber SSG-23 (IAEA 2012) erweitert). Insbesondere sind Modellrandbedingungen sowie die Auflösung des Berechnungsgebiets neu hinzugekommen. Die Auflösung des Berechnungsgebiets ist – sofern die Diskretisierung gemeint ist – eher Teil des mathematischen Modells. Auch beim „Konzept zum Abgleich der Teilmodelle (Iteration, Kriterien zum Abbruch etc.)“ gibt es bei einzelnen Kriterien hinsichtlich der Quantifizierung Überschneidungen

mit mathematischen Modellen. Im konzeptuellen Modell geht es darum, die Prozesse und Kopplungen qualitativ zu beschreiben.

In Kapitel 6 Abs. 1 c. der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung („Berechnungsmodell“) wird gefordert, Ergebnisse von numerischen Berechnungsmodellen auf ihre Plausibilität hin zu prüfen und das Prüfergebnis darzustellen. Die Abgrenzung zu Unterkapitel 10.3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung bleibt unklar. Die Angabe einer Quelle bezüglich bereits durchgeführter Arbeiten oder weitere Erläuterungen mit Bezug auf Unterkapitel 10.3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung würden zum Verständnis beitragen.

Jedes in einer vSU angewandte Modell soll einem der genannten Modelltypen zugeordnet werden und in seinen Details jeweils inhaltlich begründet und nachvollziehbar beschrieben werden. Auch an dieser Stelle würde ein Verweis auf ein beispielhaftes Referenzprojekt, in welchem Analoges durchgeführt wurde, zum besseren Verständnis beitragen. Die Forderung nach einer Kategorisierung und Typzuordnung aller in den vSU verwendeten Modelle hat nach Einschätzung der BGE eher wissenschaftlich-theoretischen Charakter. Es ist nicht ersichtlich, inwieweit eine solche formale Modellzuordnung im Standortauswahlverfahren von Relevanz ist.

Weiterhin ist zu beachten, dass in Deutschland neben der Dosis auch die Einschlusswirksamkeit und Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (ewG) ein gleichwertiger Sicherheitsindikator ist und beides durch numerische Modellierungen abzuschätzen ist. International ist es üblich, lediglich die Dosis als Sicherheitsindikator zu betrachten und durch numerische Modellierungen abzuschätzen, weshalb sich o. a. IAEA SSG-23 (IAEA 2012) lediglich auf die Dosisabschätzung bezieht. Die in diesem Kapitel der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung gegebenen Definitionen können als generelle Aussagen zur Modellierung eingeordnet werden. Es stellt sich dann die Frage, warum solche Vorgaben nur für die Dosisberechnung gemacht werden und nicht auch für die Modelle zum Nachweis der Integrität des ewG bzw. allgemein für alle Modelle, die für einen Sicherheitsnachweis verwendet werden.

6.3 Kommentierung Formal

In Kapitel 6 Abs. 1 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung wird Bezug genommen auf die IAEA Safety Standard Series No. SSG-23 von 2012 (IAEA 2012). Dieser Bericht findet sich nicht im Literaturverzeichnis und wäre in der Endfassung der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung ggf. zu ergänzen.

6.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Das vorliegende Kapitel der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung gibt eher übergeordnete und allgemeine Hinweise zur Typisierung von Modellen ohne konkrete Vorgaben mit Rückwirkung auf die Anwendbarkeit bei der tatsächlichen Durchführung der

vSU. Insgesamt ist auf eine konsistente Begriffswahl hinsichtlich der Systematik und Typen von Modellen zu achten. Ferner ist die tatsächliche Notwendigkeit bzw. Relevanz der Zuordnung verwendeter Modelle zu den aufgeführten Modelltypen zu überprüfen.

7 zu: Potentielle Entwicklungen des Endlagers (Kapitel 7 der Berechnungsgrundlage)

7.1 Inhaltliche Zusammenfassung

In den Abs. 1 bis 3 dieses Kapitels der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung sind Grundlagen und Teile der Szenarientwicklung mit Bezug auf die Vorgaben in § 3 EndlSiAnfV aufgenommen worden. Die Abs. 4 bis 6 beschreiben Aspekte, die bei der Schnittstelle zwischen Szenarientwicklung und Dosisabschätzung beachtet werden sollen.

7.2 Kommentierung Inhalt

Unter der Überschrift „Potentielle Entwicklungen des Endlagers“ lässt sich die Angabe von konkreten Vorgaben und Empfehlungen für die Ableitung und Darstellung potentieller Entwicklungen (bzw. Szenarien) vermuten. Im Text wird jedoch nicht auf diese Aspekte eingegangen, sondern es erfolgt im Wesentlichen eine methodische Einordnung der Szenarientwicklung im Kontext der vSU. Im Verlauf des Textes lassen sich einzelne Aspekte der Grundlagen der Szenarientwicklung und der Schnittstellen zwischen Szenarientwicklung und Modellberechnung finden, sodass dieser Widerspruch zwischen Überschrift und Inhalt des Kapitels Fragen nach dem Zweck dieses Kapitels der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung aufwirft.

In Abs. 1 bis 3 des Kapitels sind Grundlagenteile der Szenarientwicklung ohne unmittelbaren Bezug zur Anwendung innerhalb der Dosisabschätzung enthalten. Da die Szenarientwicklung einer eigenständigen und separaten Vorgehensweise, welche der Dosisabschätzung zeitlich voranzustellen ist, unterliegt, sollte im Text verdeutlicht werden, ob es sich bei den Aussagen in Abs. 1 bis 3 um (unvollständige) Empfehlungen oder um Vorgaben handelt. Speziell an nachfolgenden zwei Stellen wäre es hilfreich, zusätzliche Erläuterungen vorzunehmen: In Abs. 1 Satz 2 sollte direkt erläutert werden, was konkret unter „der Methode der Szenarientwicklung“ verstanden wird, insbesondere in Bezug auf bzw. in Abgrenzung zur Definition der „Szenarientwicklung“ in Kapitel 3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung („Begriffsbestimmungen“), da zur „[systematischen] Herleitung und Beschreibung potentieller Entwicklungen des Endlagersystems“ (vgl. Kapitel 3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung) durchaus unterschiedliche Methoden angewandt werden können. Des Weiteren bedarf es einer Spezifizierung, was genau damit gemeint ist, „die Vorgaben der Berechnungsgrundlage sinngemäß anzuwenden“ (vgl. Kapitel 7 Abs. 1 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung). Es wäre hilfreich zu erfahren, um welche Vorgaben der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung es sich dabei genau handelt und was unter einer sinngemäßen Anwendung konkret verstanden und erwartet wird. Eine sinngemäße Anwendung von Vorgaben kann sonst u. U. aufgrund subjektiver Interpretation zu Divergenzen bei der Umsetzung führen. Die Abs. 4 bis 6 in Kapitel 7 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung be-

schreiben Aspekte, die bei der Schnittstelle zwischen Szenarienentwicklung und Modellberechnung beachtet werden sollen. Diese Ausführungen sind bei der Schnittstellenbeurteilung für die Dosisabschätzung sehr hilfreich und notwendig.

7.3 Kommentierung Formal

Aufgrund der empfundenen Widersprüchlichkeit zwischen Überschrift und Kapitelinhalt stellt sich die Frage, ob Kapitel 7 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung im Gesamtzusammenhang notwendig und zielführend ist, bzw. ob es in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung tatsächlich eines eigenständigen Kapitels „Potentielle Entwicklungen des Endlagers“ bedarf. Die Ableitung potentieller Entwicklungen wird zwar als Grundlage, nicht aber als Bestandteil der Dosisabschätzung angesehen. In Kapitel 7 Abs. 2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung wird auch hervorgehoben, dass die Szenarienentwicklung der Dosisabschätzung verfahrenstechnisch voranzustellen ist. Die eigentliche Herleitung der Entwicklungen ist daher nicht Gegenstand der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung. In Unterkapitel 4.2 Abs. 16 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung wird deutlich, dass im Rahmen der Dosisabschätzung eine Konsistenz zur Szenarienentwicklung notwendig ist. Auch in anderen Kapiteln der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung werden Hinweise auf die Berücksichtigung einiger Szenarien und FEP („Features, Events and Processes“)-Aspekte, z. B. Expositionspfade oder die Annahme einer konstanten Sedimentationsgeschwindigkeit, gegeben. Diese Angaben sind bei der Ableitung potentieller Entwicklungen in der Szenarienentwicklung sehr hilfreich und tragen zum Abbau von übertriebenen konservativen Annahmen bei. Damit wird zwar die Schnittstelle zwischen der Szenarienentwicklung (Herleitung potentieller Entwicklungen) und Dosisabschätzung verdeutlicht, die Herleitung der potentiellen Entwicklungen jedoch separiert. Auch in § 7 Abs. 2 EndlSiAnfV wird darauf hingewiesen, dass die Dosisabschätzung für die zu erwartenden und abweichenden Entwicklungen vorzunehmen ist. Damit verweist sie ebenfalls zwar auf die Schnittstelle zwischen der Szenarienentwicklung (systematische Herleitung von potentiellen Entwicklungen) und der eigentlichen Dosisabschätzung, trennt jedoch die methodische Vorgehensweise. Sollte sich aus diesen Überlegungen ergeben, dass Kapitel 7 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung in dieser Form nicht notwendig ist, könnten die Aussagen aus den Abs. 1 bis 3 aufgrund ihrer grundsätzlichen inhaltlichen Aussagen entweder entfallen oder in Kapitel 4 („Ziele und Grundsätze für die Abschätzung der Dosis“) aufgenommen werden. Die Empfehlungen und Vorgaben aus den Abs. 4 bis 6 sind sehr hilfreich und notwendig für den Anwender. Sie könnten bei einer eventuellen Auflösung des Kapitels 7 beispielsweise auch in Kapitel 10 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung („Geosphärenmodellierung zur Dosisabschätzung“) integriert werden.

In Hinblick auf den Satzbau ist anzumerken, dass ein Satz über sieben Zeilen (vgl. Kapitel 7 Abs. 3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung) Lesbarkeit und Verständnis erschwert. Schachtelsätze sollten daher in der Endfassung der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung vermieden werden. Die im Text angeführten IAEA-Berichte

(IAEA SSG-23 (IAEA 2012), IAEA SSG-14 (IAEA 2011)) wären zudem noch in das Literaturverzeichnis aufzunehmen.

7.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Die Szenarientwicklung ist integraler Bestandteil einer vSU mit vielfältigen Schnittstellen zu anderen Bestandteilen, wie auch zur Dosisabschätzung. Die getroffenen, allgemeinen Empfehlungen und Vorgaben stehen der Anwendbarkeit nicht entgegen. Die formale Einordnung der Grundlagen einer Szenarientwicklung als Bestandteil und eigenes Kapitel der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung ist aber grundsätzlich zu hinterfragen. Darüber hinaus sind an einigen Stellen weitergehende Präzisierungen und/oder Erläuterungen für den Anwender sinnvoll.

8 zu: Umgang mit Ungewissheiten (Kapitel 8 der Berechnungsgrundlage)

8.1 Inhaltliche Zusammenfassung

Zum Umgang mit Ungewissheiten werden allgemeine und spezifische Vorgaben formuliert. Es wird die Anwendung konkreter statistischer Methoden, wie Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen, gefordert und deren Umfang beschrieben. Unterkapitel 8.5 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung konkretisiert den Umgang mit Ungewissheiten für die Biosphärenmodellierung. Probabilistische und deterministische Sensitivitätsanalysen sind für die klimaabhängigen Modellparameter zu erstellen, um den Einfluss auf die Dosisabschätzung zu quantifizieren.

8.2 Kommentierung Inhalt

In Unterkapitel 8.1 Abs. 3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung ist eine Definition reduzierbarer und nicht-reduzierbarer Anteile der Ungewissheiten wünschenswert. Die Definition von Ungewissheiten allgemein ist nicht eindeutig. Zusätzlich ist die Angabe von Beispielen wünschenswert, in denen die reduzierbaren und die nicht-reduzierbaren Anteile von Ungewissheiten bereits identifiziert wurden. Auch eine Vorgabe der Methodik bzw. Herangehensweise mit Anwendungsbeispiel aus der Endlagerforschung (Stand von Wissenschaft und Technik) wäre hier hilfreich. In diesem Zusammenhang ist außerdem anzumerken, dass die im Hinweis in Unterkapitel 8.1 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung gegebene Erläuterung zu Ungewissheiten ggf. nicht deckend mit der Definition von „Ungewissheit“ in Kapitel 3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung („Begriffsbestimmungen“) ist und abgeglichen werden sollte. Der Unterschied zwischen „Ungewissheit“ und „Unsicherheit“ sollte klar erkennbar sein (ggf. auch mit Beispiel). Für ein besseres Verständnis ist die Verwendung einheitlicher oder eindeutig voneinander abgegrenzter Begriffe essenziell. Insgesamt würde die Nennung von Quellen (insbesondere für Unterkapitel 8.3.4 Abs. 1) und Beispielen (insbesondere für die Unterkapitel 8.3.4 und 8.3.5) zu einem besseren Verständnis der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung und einer Konkretisierung der Angaben beitragen.

In Unterkapitel 8.2 Abs. 2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung werden „Abbruchskriterien für weitere Minimierungsbestrebungen“ genannt. Sofern hiermit die in Kapitel 5 Abs. 3 h. der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung genannten „Abschneidekriterien“ gemeint sind, sollte auf einheitliche Begriffe geachtet werden. Falls Unterschiede bestehen, sollten diese klar herausgestellt werden und es sollte eine Konkretisierung dieser Begriffe erfolgen, da sie in vorliegender Form nicht selbsterklärend sind.

In Unterkapitel 8.3.2 Abs. 3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung ist eine Nennung der objektiven Kriterien der statistischen Analyse, die hier Einsatz finden könnten, bzw. die Nennung einer Quelle aus Endlagerforschung/Sicherheitsuntersuchung wünschenswert, wo solche Kriterien bereits zum Einsatz gekommen sind.

In Unterkapitel 8.3.3 Abs. 1 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung werden u. a. qualitätssichernde Maßnahmen zur Minimierung von Fehlern angesprochen. Sofern die

in Unterkapitel 10.3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung beschriebene Qualifizierung von Berechnungsmodellen eine geeignete Maßnahme zur Minimierung von Fehlern ist, würde ein Verweis auf dieses Kapitel die Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung in Bezug auf ihre Anwendbarkeit weiter konkretisieren.

In Unterkapitel 8.4 Abs. 5 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung ist eine Klärung der numerischen Kriterien sinnvoll. Es wird nicht deutlich, ob in diesem Fall Dosisgrenzwerte nach EndlSiAnfV oder numerische Abbruchkriterien gemeint sind.

Ein Teil von Unterkapitel 8.4 Abs. 6 ist nach Auffassung der BGE unverständlich formuliert und sollte für die Endfassung der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung umformuliert bzw. näher erläutert werden: „Es sind sowohl die lokale Sensitivität zum Erwartungswert der deterministischen Analyse als auch die globale Sensitivität von verwendeten Informationen zu ermitteln. Der Begriff „global“ bezieht sich dabei auf den insgesamt plausiblen Bereich der herangezogenen Informationen, der Begriff „lokal“ auf einen konkreten Ort in diesem Bereich.“

8.3 Kommentierung Formal

Unterkapitel 8.2 Abs. 2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung enthält die Aussage „Die nach Kapitel 4 zu erstellende Strategie [...]“. Hier ist Kapitel „4“ durch „5“ zu ersetzen, sofern dies gemeint ist.

In Unterkapitel 8.3 und 8.4 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung werden Unsicherheiten bezüglich berechneter Dosiswerte angesprochen, in Kapitel 1 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung („Einleitung“) wird jedoch erläutert, dass die effektive Dosis zwar numerisch errechnet wird, das Ergebnis aber als Abschätzung anzusehen ist. Hier ist in der finalen Fassung der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung auf eine einheitliche Begriffswahl zu achten.

8.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

In der gesamten Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung, so auch in Kapitel 8, wird nicht explizit auf die Erkundung und den Erkenntnisgewinn, den diese mit sich bringt, eingegangen (im Gegensatz zur EndlSiUntV). Wünschenswert ist aus Sicht der BGE eine Strategie zum Umgang mit Ungewissheiten und eine Abstufung bzw. Differenzierung zwischen den wvSU und uvSU vor dem Hintergrund des zunehmenden Erkenntnisgewinns im Laufe des Standortauswahlverfahrens. Nach § 11 Abs. 1 EndlSiUntV sind bestehende Ungewissheiten „systematisch auszuweisen und dahingehend zu charakterisieren, auf welchen Sachverhalten oder Kenntnisdefiziten sie beruhen“. Gemäß § 11 Abs. 3 EndlSiUntV ist außerdem darzulegen, „ob und in welchem Umfang Ungewissheiten durch weitere Erkundungs-, Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen reduziert werden können“. Die Erkundung ist ein zentraler Bestandteil des Standortauswahlverfahrens und sollte im besten Fall zur Aussagegenauigkeit von Sicherheitsuntersuchungen positiv beitragen. Dieser Aspekt wird hier methodisch nicht aufgegriffen.

Die Vorgaben im Zusammenhang mit den Ungewissheiten werden in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung isoliert für die Dosisberechnung gemacht. Ein „Safety Case“ beinhaltet jedoch viele verschiedene Modelle. Es stellt sich daher die Frage, ob Ungewissheiten in ähnlicher Weise wie in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung für die Dosisberechnung gefordert, beispielsweise auch für den Massen-/Stoffmengenaustrag, zu betrachten sind. Dies könnte möglicherweise zu einer unterschiedlichen Bearbeitungstiefe führen und somit indirekt ggf. eine Gewichtung der Sicherheitsindikatoren für die Langzeitsicherheit hineinbringen.

Sofern keine Belege aus der Literatur bzw. Beispiele aus „Safety Cases“ für den Umgang mit Ungewissheiten geliefert werden können, erscheinen die Vorgaben in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung eher als Stand von Forschung und nicht als Stand von Wissenschaft und Technik. Insgesamt sollte in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung der Zusammenhang zu den Vorgaben der EndlSiAnfV und der EndlSiUntV – hier zu Ungewissheiten – klar erkennbar sein. Für die Anwendbarkeit der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung in den vSU sollte außerdem der Unterschied zwischen den Begriffen „Ungewissheit“ und „Unsicherheit“ deutlich werden, idealerweise auch mit Beispielen (siehe auch Kapitel 3 „zu: Begriffsbestimmungen“ dieser Stellungnahme).

9 zu: Radionuklidinventar und Auswahlprozess (Kapitel 9 der Berechnungsgrundlage)

9.1 Inhaltliche Zusammenfassung

In Kapitel 9 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung wird beschrieben, dass für die Dosisabschätzung das gesamte Radionuklidinventar bekannt sein muss und wie dieses berücksichtigt werden muss. Dabei müssen neben den hochradioaktiven Abfällen auch geringe Volumina schwach- und mittelradioaktiver Abfälle, die z. B. im Rahmen der Handhabung der hochradioaktiven Abfälle anfallen, berücksichtigt werden. Das Abfallinventar muss vollständig radionuklidspezifisch spezifiziert und nachvollziehbar dokumentiert werden. Auf Basis des Radionuklidinventars sind die für eine Dosisabschätzung erforderliche Geosphären- und Biosphärenmodellierung durchzuführen. Bei der Modellierung darf die Auswahl der zu berücksichtigenden Radionuklide eingeschränkt werden, sofern dadurch die abgeschätzte zusätzliche Dosis nicht wesentlich verändert wird. Die Auswahl bzw. die Nichtberücksichtigung der einzelnen Radionuklide ist zu begründen. Die Modellierungen sind auf Grundlage realitätsnaher Annahmen durchzuführen. Dabei sind z. B. auch nicht radioaktive Nuklide im Abfallinventar zu berücksichtigen, welche die Mobilität und den Transport der Radionuklide beeinflussen.

9.2 Kommentierung Inhalt

Gemäß § 38 Abs. 1 StandAG werden „Daten und Dokumente, die für die End- und Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle bedeutsam sind oder werden können (Speicherdaten) [...] vom Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung dauerhaft gespeichert“. Das BMU wird gemäß § 38 Abs. 2 StandAG ermächtigt, „durch Rechtsverordnung, die der Zustimmung des Bundesrates bedarf, Einzelheiten zu den Speicherdaten und zu ihrem Inhalt, Verwendungszweck, Umfang, ihrer Übermittlung, Speicherung und Nutzung zu bestimmen. Die Rechtsverordnung soll insbesondere Regelungen enthalten, nach denen die Inhaber von Speicherdaten diese vollständig und kostenfrei dem Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung oder einer von diesem bestimmten Stelle zur Verfügung stellen.“ Die erwähnte Rechtsverordnung liegt bisher nicht vor. Somit ist aktuell nicht festgelegt, welche Daten in welcher Weise im Einzelnen zu dokumentieren sind.

Gemäß § 2 Abs. 1 AtEV (Atomrechtliche Entsorgungsverordnung) in Verbindung mit Anlage D Tabelle 5 Nr. 22 AtEV sind von den Abfallerzeugern nur „Aktivitäten relevanter Radionuklide“ zu erfassen. Es ist nicht geregelt, welche Stelle die Daten zum „gesamten“ Radionuklidinventar zum Zwecke der Dosisabschätzung der BGE zur Verfügung stellen kann. Es gibt keine gesetzliche Grundlage für die BGE, die Daten bei den Verursachern abzufragen.

Es wird vorgeschlagen, nur die gemäß § 2 Abs. 1 AtEV in Verbindung mit Anlage D Tabelle 5 AtEV von den Abfallerzeugern zu erfassenden Daten im Rahmen der Dosisabschätzung zu berücksichtigen. Erforderlichenfalls wäre die AtEV entsprechend anzupassen.

Im dritten bzw. vierten Abschnitt in Kapitel 9 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung ist angegeben, dass „Informationen über das Radionuklidinventar [...] gemäß der Verordnung nach § 38 StandAG vom Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung gespeichert“ werden. Die Verordnung nach § 38 StandAG liegt noch nicht vor und der Wortlaut des § 38 StandAG, nach dem „Daten und Dokumente“ zu speichern sind, „die für die End- und Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle bedeutsam sind oder werden können“, lässt offen, ob das gesamte Radionuklidinventar oder nur das relevante Radionuklidinventar bedeutsam ist. Gemäß AtEV scheint für die Zwischenlagerung die Angabe „relevanter Radionuklide“ ausreichend zu sein. Warum nicht auch für die Endlagerung?

Die Begriffe „Radionuklidinventar“ und „Abfallinventar“ werden gemäß Definition bzw. Hinweis im Text nicht immer eindeutig und klar voneinander abgegrenzt verwendet.

9.3 Kommentierung Formal

Der „Hinweis“-Abschnitt mitten im Text ist ungewöhnlich. Alternativen wären z. B. eine erläuternde Fußnote oder eine Begriffsklärung am Beginn des Kapitels.

9.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Vorläufige Sicherheitsuntersuchungen sind gemäß § 27 Abs. 3 StandAG auf der Grundlage abdeckender Annahmen zu Menge, Art und Eigenschaften der radioaktiven Abfälle durchzuführen. Aktuell ist noch nicht festgelegt, welche Stelle die Inventardaten (radiologisch/radionuklidspezifisch und stofflich¹) zum Zwecke der Dosisabschätzung der BGE zur Verfügung stellen kann.

¹ Hinweis: Die stofflichen Daten gehen nicht unmittelbar in die Dosisabschätzung ein. Sie sind aber für den Transport der Radionuklide im Gebirge und damit mittelbar auch für die Dosisabschätzung relevant.

10 zu: Geosphärenmodellierung zur Dosisabschätzung (Kapitel 10 der Berechnungsgrundlage)

10.1 zu: Übergeordnete Aspekte der Geosphärenmodellierung (Unterkapitel 10.1 der Berechnungsgrundlage)

10.1.1 Inhaltliche Zusammenfassung

In Unterkapitel 10.1 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung werden die Grundlagen und die nötigen Voraussetzungen zur Umsetzung der Geosphärenmodellierung allgemein erläutert. Als Grundlage der Geosphärenmodellierung werden die Geosynthese, die geowissenschaftliche Langzeitprognose und die Szenarienentwicklung sowie die vorläufige Auslegung des Endlagers, das vorläufige Sicherheitskonzept, die Integritätsanalysen und das Abfallinventar genannt. Zusätzlich sollen die Sicherheitsfunktionen, die zur Retention von Radionukliden führen, sowie weitere relevante Einflussfaktoren, berücksichtigt werden. Vereinfachungen des Berechnungsmodells sind zulässig, sofern die Nachvollziehbarkeit der Arbeitsschritte, deren Auswirkungen sowie die Interaktionen der Prozesse und Komponenten des Endlagers beachtet werden. Im Ergebnis dieser Vereinfachungen darf die Dosis jedoch nicht unterschätzt werden.

10.1.2 Kommentierung Inhalt

In Hinblick auf den Begriff „Geosynthese“ ist zu prüfen, ob hier nicht die geologische Modellvorstellung gemeint sein könnte, welche sich vom Umfang und Inhalt der Betrachtung von der Geosynthese nach § 5 EndlSiUntV unterscheidet. In der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung sollte an dieser Stelle ggf. ein Verweis auf die EndlSiUntV ergänzt werden. Außerdem ist bezüglich der „Komponenten, die zur Retention von Radionukliden beitragen“, zu prüfen, ob nicht allgemeiner der Begriff „Barrieren“ abdeckend für alle Prozesse ist, die zu einer Rückhaltung von Radionukliden beitragen.

In Bezug auf die Vereinfachung von Berechnungsmodellen ist eine detailliertere Erläuterung dahingehend wünschenswert, als dass die durch die Datenbasis bedingten Unsicherheiten der geologischen Modellvorstellung mitberücksichtigt werden müssen. Das bedeutet, dass eine Unterschätzung der Dosis nicht nur bei der Vereinfachung vermieden werden soll, auch die Interpretation der zugrundeliegenden Geodaten muss bereits dieser Prämisse folgen. Im ungünstigen Fall potenzieren sich sonst durch die Vereinfachungen bei der Modellerstellung die Auswirkungen einer optimistischen Interpretation der Geodaten.

10.1.3 Kommentierung Formal

Im Falle einer Auflösung bzw. Umstrukturierung des Kapitels 7 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung („Potentielle Entwicklungen des Endlagers“) könnten die Inhalte der Abs. 4 bis 6 ggf. in Kapitel 10 aufgenommen werden.

10.1.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Die in diesem Kapitel beschriebenen Grundlagen und Voraussetzungen für die Geosphärenmodellierung, insbesondere die Möglichkeit von Vereinfachungen in den Berechnungsmodellen, sind im Hinblick auf die Anwendbarkeit der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung in den vSU als positiv zu bewerten. Konkrete Vorgaben zur Abstufung bzw. Differenzierung der jeweils zulässigen Vereinfachungen zwischen den wvSU und den uvSU sind überdies sinnvoll.

10.2 zu: Modellbildung (Unterkapitel 10.2 der Berechnungsgrundlage)

10.2.1 Inhaltliche Zusammenfassung

Laut Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung beruht die Modellbildung auf dem konzeptuellen Modell, dem mathematischen Modell und dem Berechnungsmodell (vgl. Kapitel 6 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung). Die vier wesentlichen Elemente (Quellterm und Darstellung möglicher Radionuklidaustragungen, Modelle der Mobilisierung von Radionukliden, Modelle des Transports von Radionukliden, Modelle für weitere Prozesse zur Unterstützung der Modelle für Mobilisierung und Transport in der Geosphäre) werden unten näher erläutert. Besonders hervorgehoben wird die Mobilisierung der Radionuklide, die für einen Transport notwendig ist. Der Prozess der Mobilisierung und dessen Auswirkungen sind, ebenso wie der Transportprozess der Radionuklide, in einem oder mehreren gekoppelten Modellen darzustellen.

Methodisch sollen nach Unterkapitel 10.2.1 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung für die Modellbildung insgesamt vier wesentliche Inhalte analysiert, abstrahiert und übertragen werden. Dazu zählen die regionale hydrogeologische Situation, die in einem Grundwassermodell dargestellt werden soll, sowie die lokale hydrogeologische Situation, die durch kleinräumigere Modelle mit einem höheren Diskretisierungsgrad erfasst werden soll. Weiterhin werden die Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Komponenten des Endlagersystems im Bewertungszeitraum sowie das geochemische Milieu als wesentliche Inhalte genannt.

Der Quellterm wird in Unterkapitel 10.2.2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung als eine mathematische Funktion zur Beschreibung der Freisetzung von radioaktiven Stoffen definiert. Dazu sollen Ausgangs- und Randbedingungen sowie relevante Prozesse in ein konzeptuelles Modell, die Radionuklidströme und Ungewissheiten in die mathematischen Modelle und Berechnungsmodelle mit eingehen. Letztendlich sollen Freisetzungsraten für die folgende Dosisabschätzung erhalten werden. Zudem sollen die Radionuklidflüsse aus dem Quellterm auch als Endergebnis der Dosisabschätzung neben den mittleren effektiven Jahresdosen aufgeführt werden.

Die Modelle der Mobilisierung von Radionukliden sollen nach Unterkapitel 10.2.3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung alle relevanten Prozesse, die eine potentielle Mobilisierung von Radionukliden beeinflussen, abbilden. Hierbei werden Alteration, Kor-

rosion und Auflösungserscheinungen sowie die Bildung radioaktiver Gase genannt. Neben der direkten Freisetzung bei Versagen des Behälters ist auch die verzögerte Freisetzung in Abhängigkeit von beeinflussenden Prozessen und Effekten sowie die Remobilisierung von Radionukliden zu beachten.

Die Modelle des Transports von Radionukliden sollen nach Unterkapitel 10.2.4 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung alle relevanten Prozesse und Eigenschaften, die den Transport von Radionukliden in oder mit der flüssigen Phase oder Gasphase beeinflussen, abbilden. Hierbei werden besonders der advective und diffusive Radionuklidtransport, mobilitätsbeeinflussende Bedingungen und Rückhalteprozesse wie die Sorption hervorgehoben. Alle einfließenden Eigenschaften, Parameter, Daten und Prozesse sowie deren etwaige Herleitung müssen beschrieben und begründet werden.

Weitere Prozesse, die die Radionuklidausbreitung beeinflussen, sollen – in Verbindung mit jeweiliger Beschreibung und Begründung – nach Unterkapitel 10.2.5 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung in separaten Modellen dargestellt oder in die Modelle zur Dosisabschätzung integriert werden.

10.2.2 Kommentierung Inhalt

Die Aufteilung und Benennung der Modelle, welche die Eingangsdaten für das Ausbreitungsmodell stellen, erscheint etwas verwirrend. Üblicherweise bildet das parametrisierte Endlager- und Transportmodell, welches wiederum aus den Eigenschaften der technischen und geologischen Komponenten definiert wird, den Kern der Modellbildung. Das Ausbreitungsmodell wird meist als Strömungs- und Transportmodell definiert, bei dem alle relevanten Prozesse des Transports (Advektion, Diffusion, Dispersion) berücksichtigt werden. Die Submodelle dienen der Abbildung aller Prozesse, welche zusätzlich Einfluss auf die Dosis nehmen könnten. In der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung ist daher der alleinige Verweis auf die Modelltypen aus Kapitel 6 und die danach ungewöhnliche Aufteilung der „Elemente“ genauer zu erläutern.

In Hinblick auf die methodischen Grundlagen erscheint die Auflistung der zu betrachtenden Aspekte beispielhaft und nicht abdeckend für die Summe der zu betrachtenden Analysen. Zudem ist die Unterscheidung in regionale und lokale hydrogeologische Situationen unverständlich, da die Beschreibung der lokalen Hydrogeologie bereits die Definition des zu betrachtenden Gebietes inklusive der Abgrenzung zu nicht zu betrachtenden Gebieten enthalten sollte. Bezüglich der Wechselwirkungen im System ist festzustellen, dass diese eine generelle Randbedingung aller genannten Inhalte sind, die hier gesondert dargestellt werden. Außerdem gibt es Überschneidungen zum geochemischen Milieu.

Der Quellterm wird in Unterkapitel 10.2.2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung als „Hilfsgröße“ beschrieben. Dieser Begriff erscheint unpassend, da der Quellterm vielmehr als Schnittstelle zwischen dem Modell zur Beschreibung des Radionuklidflusses aus dem Nahbereich der eingelagerten Abfallgebände und dem Modell zur Beschreibung

der Verteilung in der Geosphäre eine wichtige Funktion einnimmt. Der Quellterm ist zudem keine statische, sondern vielmehr eine modellabhängige Größe. Allgemein ist die Position der Definition des Begriffs „Quellterm“ zu überdenken. Der Begriff „Quellterm“ könnte stattdessen auch in Kapitel 3 („Begriffsbestimmungen“) oder in Kapitel 4 („Ziele und Grundsätze für die Abschätzung der Dosis“) der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung behandelt werden, da die Vorgehensweise nicht spezifisch für die Geosphärenmodellierung ist. In jedem Fall sollte der Begriff in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung für die praktische Anwendung nochmals genauer erläutert werden.

Bezüglich der Modelle des Transports von Radionukliden (Unterkapitel 10.2.4 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung) sollen insbesondere der advective und diffusive Radionuklidtransport betrachtet werden. Hierbei ist der dispersive Transport zu ergänzen.

10.2.3 Kommentierung Formal

In Bezug auf Unterkapitel 10.2.2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung wäre zu überlegen, ob die Darstellung der Radionuklidströme als zusätzliches „Endergebnis“ neben der Dosisabschätzung an das Ende des Kapitels Geosphärenmodellierung gesetzt werden sollte. Weiterhin stellt sich die Frage, ob die verwendeten Begriffe „Radionuklidflüsse“ und „Radionuklidströme“ hier synonym zu verstehen sind. Zusätzlich wäre zu überlegen, ob dieses Unterkapitel mit Unterkapitel 10.2.3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung zusammengefasst werden kann, da sich die Inhalte wesentlich überschneiden.

Der Titel des Unterkapitels 10.2.5 („Modelle für weitere Prozesse zur Unterstützung der Modelle für Mobilisierung und Transport in der Geosphäre“) der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung erscheint schwer verständlich, daher wäre eine Verkürzung (z. B. „Unterstützende Modelle“) angebracht. Allgemein ist sowohl aufgrund der Kürze dieses Kapitels, als auch aufgrund der thematischen Ausrichtung über eine Abhandlung in Unterkapitel 10.2.1 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung nachzudenken, sodass Unterkapitel 10.2.5 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung entfallen könnte.

10.2.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Eine Anwendbarkeit der vorgestellten Modelltypen als Ausgangsbasis für die Modellbildung in den vSU scheint aus Sicht der BGE möglich.

10.3 zu: Qualifizierung von Berechnungsmodellen und mathematischen Modellen (Unterkapitel 10.3 der Berechnungsgrundlage)

10.3.1 Inhaltliche Zusammenfassung

Unterkapitel 10.3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung beschreibt allgemein den Prozess der Verifizierung des Berechnungsmodells und der Validierung von mathematischen Modellen und Berechnungsmodellen. Die Verifizierung dient der Prüfung der

Implementierung des mathematischen Modells in das Berechnungsmodell. Die Validierung dagegen soll die Abbildung der Realität in dem erstellten Modell überprüfen. Dabei muss die Abhängigkeit von Betriebssystemen, Hardware und Änderungen der Modelle beachtet sowie die Vollständigkeit der Informationen gewährleistet werden.

10.3.2 Kommentierung Inhalt

Keine Anmerkungen.

10.3.3 Kommentierung Formal

Bei der hier in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung angegebenen Literatur handelt es sich um Glossare, d. h. es wird ausschließlich auf die verwendeten Begrifflichkeiten verwiesen. Wünschenswert wären hingegen Literaturangaben zur Vorgehensweise.

10.3.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Die Qualifizierung von Berechnungsmodellen und mathematischen Modellen durch Verifizierung und Validierung ist ein übliches Vorgehen und für belastbare Sicherheitsaussagen auch im Rahmen der vSU unerlässlich. Hinsichtlich der Verifizierung ist eine genauere Erläuterung der zu definierenden, objektiven Kriterien, die von den Berechnungsmodellen erfüllt werden müssen, für den Anwender hilfreich. Der Bezug zu Kapitel 6 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung vor dem Hintergrund der Prüfung der Plausibilität von numerischen Berechnungsmodellen sollte deutlicher werden.

11 zu: Schnittstelle Geosphärenmodell – Biosphärenmodell für die Dosisabschätzung (Kapitel 11 der Berechnungsgrundlage)

11.1 Inhaltliche Zusammenfassung

Die Schnittstellendefinition und die Vorgehensweise bei der Festlegung von Schnittstellen wird in diesem Kapitel allgemein erläutert. Um Fehler, räumliche Unstetigkeiten oder unrealistische Situationen bei der Kombination von Geo- und Biosphärenmodell zu verhindern, sollen möglichst alle relevanten Aspekte der beiden Modelle abgeglichen werden. Der Übergang an sich darf aus einer oder mehreren Schnittstellen bestehen, dessen Wahl und Positionierung erläutert werden müssen. Neben den Daten, die aus dem Geosphärenmodell in das Biosphärenmodell einfließen, können weitere Informationen oder generische Annahmen unter Begründung hinzugezogen werden. Dabei dürfen keine Untersuchungsräume oder Wirtsgesteine bevorteilt oder benachteiligt werden.

11.2 Kommentierung Inhalt

Kapitel 11 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung ist allgemein gehalten und gibt keine konkreten Vorgaben zur Verknüpfung der Modelle. An dieser Stelle wären Literaturangaben zum Vergleich der Schnittstellendefinition bei bisherigen Forschungsprojekten hilfreich. Mögliche Schnittstellen könnten in einem Katalog zusammengefasst werden, da nur einzelne Beispiele (wie der Grundwasserbrunnen) genannt werden.

11.3 Kommentierung Formal

Keine Anmerkungen.

11.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Die im Kapitel zu Schnittstellen Geosphären-/Biosphärenmodell gegebenen Hinweise und Empfehlungen stehen einer zielgerichteten Anwendung in den vSU nicht entgegen. Die Ergänzung weiterer Beispiele und/oder Literaturangaben für Schnittstellendefinitionen wäre darüber hinaus für den Anwender hilfreich.

12 zu: Biosphärenmodellierung für die Dosisabschätzung (Kapitel 12 der Berechnungsgrundlage)

12.1 zu: Übergeordnete Aspekte der Biosphärenmodellierung (Unterkapitel 12.1 der Berechnungsgrundlage)

12.1.1 Inhaltliche Zusammenfassung

Bei der Auswahl der für die Biosphärenmodellierung zu betrachtenden Radionuklide sind gemäß Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung Vereinfachungen, wie beispielsweise die Aufteilung von Zerfallsreihen, zulässig. Dabei gilt, wie bei allen Parametern und Modellen, dass eine Expositions-Unterschätzung auszuschließen ist.

Für kühlgemäßigtes Klima, wie es derzeit in Deutschland vorherrscht, dürfen die Parameterwerte der AVV Tätigkeiten (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten) übernommen werden. Abweichungen von den Vorgaben der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung sind zu begründen. Eine möglichst realitätsnahe Berechnung der Körperdosen ist zu bevorzugen, weshalb zuerst spezifische Daten des Untersuchungsraums und an zweiter Stelle plausible Daten-Annahmen Verwendung finden sollen. Quellenhinweise zu den übernommenen Gleichungen aus der AVV Tätigkeiten, den Berechnungsgrundlagen Bergbau (BfS 2010), nachfolgend kurz „BglBb“ und dem Bericht GRS-241 (Noseck et al. 2009) für die radioökologischen Modelle werden gegeben.

Zur Dosisabschätzung ist die Nutzung von kontaminiertem Grundwasser und Oberflächenwasser, der Anstieg oberflächennahen Grundwassers und eine dadurch mögliche Pflanzenverfügbarkeit sowie der Gastransport von Radionukliden zu betrachten. Der lokale Wasserbedarf wird anhand einer Gruppe von 10 Personen mit Hofbewirtschaftung ermittelt. Einschränkend wird darauf hingewiesen, dass die beschriebenen Vorgehensweisen keine Untersuchungsräume in Küstennähe oder unter Einfluss von Transgression miteinschließen und Modellierungsansätze dementsprechend ggf. zu erweitern wären.

12.1.2 Kommentierung Inhalt

Aufgrund des bisherigen Fehlens von Regularien zur Biosphärenmodellierung im Rahmen von Langzeitsicherheitsbetrachtungen wurde in der Vergangenheit für die nationalen Endlager- und Forschungsprojekte auf die Vorgaben der ehemaligen AVV zu § 47 StrlSchV 2001 zurückgegriffen (Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen). Am 31.12.2018 ist die neue Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in Kraft getreten, die das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) unterstützt. Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten) ersetzt das ehemalige untergesetzliche Regelwerk (AVV) zum § 47

der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2001). Die Methoden und Vorgaben der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung beruhen überwiegend auf den Modellkonzepten der AVV Tätigkeiten und den BglBb. Einige Aspekte der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung sind analog zur AVV Tätigkeiten in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung neu aufgenommen worden: So wird eine realitätsnähere Berechnung der Körperdosen, als auch der Einbezug einer Nutzung kontaminierten Oberflächenwassers, bereits in der AVV Tätigkeiten gefordert.

Im Falle eines kühlgemäßigten Klimas wird der Hinweis gegeben, dass die Parameterwerte aus der AVV Tätigkeiten „in der jeweils gültigen Fassung“ entnommen werden. Aufgrund des bisherigen Fehlens von Regularien zur Biosphärenmodellierung ist näher zu erläutern, weshalb in diesem Fall explizit auf die „jeweils gültige Fassung“ verwiesen wird. Zudem wäre dieser Hinweis allgemein thematisch eher im anschließenden Unterkapitel 12.2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung („Klima“) anzuordnen.

Die Biosphärenmodellierung soll sämtliche möglichen zukünftigen klimatischen Entwicklungen berücksichtigen. Die Entwicklungen des Endlagersystems sind nach § 3 Abs. 3 und § 3 Abs. 4 EndlSiAnfV in zu erwartende und abweichende Entwicklungen einzuordnen, u. a. hinsichtlich der „klimatischen Situation“. Hier wäre zu erläutern, ob diese „klimatische Situation“ auch die Biosphärenmodellierung betrifft. Insgesamt sollte der Zusammenhang zu sowohl EndlSiAnfV als auch EndlSiUntV deutlich werden. Außerdem stellt sich die Frage, inwieweit Wechselwirkungen zwischen Geo- und Biosphärenmodell in Bezug auf die „klimatische Situation“ zu betrachten sind.

12.1.3 Kommentierung Formal

Im erläuternden Hinweis „zu den Quellen der radioökologischen Modelle“ werden Gleichungen aufgezählt, die der AVV Tätigkeiten bzw. den BglBb entnommen wurden bzw., falls erforderlich, angepasst wurden. In dieser Aufzählung sind mindestens die Gleichungen 14², 28², 29², 30², 31² und 33 (diese entsprechen den Gleichungen 19, 59, 60, 57, 58 und 56 der AVV Tätigkeiten) oder eine andere Literaturangabe zu ergänzen. Weitere Informationen (Art der Veränderung, Intention, Hintergründe) sind wünschenswert. Dies würde eine bessere Nachvollziehbarkeit und Einordnung der Gleichungen ermöglichen. Hilfreich wäre auch zu wissen, bei welchen Gleichungen eine „Neuentwicklung“ (siehe Hinweis in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung) notwendig war und weshalb.

12.1.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Die Herkunft der Gleichungen in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung muss gut nachvollziehbar dokumentiert sein.

² Geringfügige Abweichung zur AVV Tätigkeiten, siehe auch Kommentierung zu Unterkapitel 12.3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung.

12.2 zu: Klima (Unterkapitel 12.2 der Berechnungsgrundlage)

12.2.1 Inhaltliche Zusammenfassung

Grundlage der Betrachtung ist die Ermittlung der potentiell möglichen Klimatypen über den Bewertungszeitraum (abdeckende Beschreibung der „Bandbreite der potentiellen klimatischen Entwicklungen in einem Untersuchungsraum“) mit jeweils benötigten klimatischen Eingangsdaten (Monatsmittelwerte z. B. über 30 Jahre), wie Lufttemperatur, relative Luftfeuchte oder Niederschlag. Diese klimatischen Eingangsdaten dienen z. B. der Ermittlung der monatlich benötigten Wassermenge für Bewässerungszwecke (vgl. Unterkapitel 12.3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung). Fehlende Klimadaten sind mit möglichst plausiblen, vorzugsweise auf Messungen basierenden Daten von Referenzorten zu ersetzen.

Auf Basis der Klimatypen werden die potentiellen klimatischen Entwicklungen im Untersuchungszeitraum durch unterschiedliche stilisierte klimatische Zustände abgebildet. Dabei sollen ebenfalls Änderungen der Klimatypen inklusive Übergangphasen innerhalb dieses Zeitraums für die Dosisabschätzung betrachtet werden. Für die Dauer eines Klimatyps innerhalb eines Bewertungszeitraums werden die jeweiligen Klimadaten als konstant angenommen. Aus der Klimaentwicklung bedingte Veränderungen in den Bereichen Bewässerung, Land- und Viehwirtschaft oder Geländemorphologie (z. B. Überflutung, Vermoorung, veränderte Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse) sind mit einzubeziehen. Für die letztendliche Bewertung maßgeblich ist die höchste abgeschätzte potentielle Exposition der repräsentativen Person.

12.2.2 Kommentierung Inhalt

Aus der Klimaentwicklung bedingte Veränderungen in den Bereichen Bewässerung, Land- und Viehwirtschaft oder Geländemorphologie (z. B. Überflutung, Vermoorung, veränderte Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse) sind laut Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung einzubeziehen. Ein Hinweis, dass der Klimawandel ebenso Auswirkungen auf die Lebensgewohnheiten repräsentativer Personen hat, fehlt jedoch. Im Beispieltext zu Unterkapitel 12.2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung findet sich nur die Aussage, dass „einzelne Lebensmittelgruppen aus Anlage 11 Teil B Tabelle 1 StrlSchV nicht zur Exposition der repräsentativen Person führen können, weil deren Produktion unter diesen klimatischen Verhältnissen ausgeschlossen ist“. Weitere Hinweise, welches Tabellenwerk für die unterschiedlichen Klimatypen anzuwenden ist, fehlen ebenso. Eine solche Vorgabe wäre im Gesamtzusammenhang stringenter, da für das kühlgemäßigte Klima tatsächliche Werte vorgegeben werden. Anhang A4 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung mit Tabelle 9 bis 11 (Jährliche Verzehrsmengen, Atemraten und Aufenthaltszeiten der repräsentativen Person) für unser aktuell vorherrschendes kühlgemäßigtes Klima ist der StrlSchV von 2018 entnommen. Hier sind weitere Hinweise zur Unterscheidung der Lebensgewohnheiten bei unterschiedlichen klimatischen Zuständen bezüglich Anlage 11 Teil B Tabelle 1 ff. StrlSchV erforderlich. Angaben bezüglich anzunehmender Parameterwerte für z. B. zusätzliche Bandbreiten

der Verzehrsgewohnheiten, Wichtungsfaktoren der Expositionspfade, Biosphärentransferkoeffizienten (vgl. Nagra (2014)) oder, entsprechend der Empfehlung der Entsorgungskommission (ESK 2018), Klimaänderungsfaktoren als „pauschaler Zuschlag“ für den hier intendierten Vergleich von Systemen sind wünschenswert.

Nach § 7 Abs. 1 EndlSiAnfV ist als Indikator die „zusätzliche jährliche effektive Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung abzuschätzen“. Hierbei sind die „Lebensbedingungen zum Zeitpunkt der Antragstellung für den gesamten Bewertungszeitraum zu unterstellen“. Nach § 7 Abs. 2 EndlSiAnfV sind diese Abschätzungen „sowohl für die zu erwartenden Entwicklungen als auch für die abweichenden Entwicklungen vorzunehmen“, d. h. auch hinsichtlich der klimatischen Situation (vgl. § 3 Abs. 3 und § 3 Abs. 4 EndlSiAnfV).

12.2.3 Kommentierung Formal

Es fällt auf, dass in diesem Kapitel der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung ein Sachverhalt an einem Beispiel verdeutlicht wird. Weitere Beispiele an anderen Stellen in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung könnten ebenfalls zu einem besseren Verständnis beitragen.

12.2.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Der Einbezug unterschiedlicher Klimaszenarien ist für die Berechnung der potentiellen Strahlenexposition im Rahmen der Biosphärenmodellierung von großer Bedeutung, denn Klimatypen beeinflussen insbesondere den Wasserhaushalt und damit die Art der Landwirtschaft und Ernährung (lokale Produkte) der Untersuchungsgebiete. Die ESK schreibt in ihrer Leitlinie zum Schutz von Endlagern gegen Hochwasser (ESK 2018), dass für die „langen Zeiträume [des Endlagerbetriebes] [...] der Einfluss des Klimawandels sowie neue Erkenntnisse in Bezug auf extreme Wetterlagen [...]“ zu berücksichtigen sind. Daher empfiehlt die ESK Klimaprognoserechnungen auf Basis begründet ausgewählter und international anerkannter Klimaszenarien (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) für die Bemessung übertägiger Anlagen.

Der Einfluss des Klimawandels (insbesondere abgebildet in IPCC-Szenarien) und sein Einfluss auf den Wasserhaushalt beeinflusst methodische Vorgehensweisen und Ergebnisse der Biosphärenmodellierung. Für den mit dieser Unterlage angestrebten Zweck stellt sich allerdings die Frage, ob es für einen Vergleich von Systemen nicht vorteilhaft wäre, Tabellenwerke hinsichtlich generischer Referenz-Biosphärenmodelle für Varianten für wärmeres und trockenes Klima bzw. eiszeitliches Klima vorzugeben.

Der Einfluss der Variationsmöglichkeiten der Eingangsparameter müsste abgeschätzt werden, um einen angemessenen Vereinfachungsansatz zu finden. So müssten beispielsweise der Einfluss der Verwendung von Jahresmittelwerten für Niederschlagsmengen (in Anlehnung an z. B. das Vorgehen der Nagra (Nagra 2014)), statt wie in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung gefordert, Monatsmittelwerten für einen Ver-

gleich von Systemen bezüglich der Bewässerungsmenge oder der Einfluss der Saisonalität der Jahresganglinien von Klimadaten abgeschätzt werden. Hier spielt auch die Vermittelbarkeit für die Öffentlichkeit eine Rolle. Es sollten keine Pseudo-Genauigkeiten suggeriert werden. Aufgrund des großen Einflusses der klimatischen Eingangsparameter des Biosphärenmodells auf die Ergebnisse der Dosisabschätzung für die vSU wäre auch hier eine konkrete Vorgabe – wie bei den Annahmen für das kühlgemäßigte Klima – für den Anwender wünschenswert.

12.3 zu: Ausbreitung von Radionukliden und Umweltkontamination (Unterkapitel 12.3 der Berechnungsgrundlage)

12.3.1 Inhaltliche Zusammenfassung

Nach der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung bilden die Austräge aus der Geosphärenmodellierung die Grundlage der Radionuklidausbreitung in der Biosphäre. Neben den Eingangsdaten (Grundwasserfließrate, Konzentration gelöster Radionuklide, Eintragsrate gasförmiger Radionuklide, chemische Zusammensetzung des Grundwassers, insbesondere Konzentration der in Grundwasserleitern gelösten Salze) wird auch die Nutzbarkeit des Grundwassers und die Veränderung der Aktivitätskonzentration in Lösung nach dem Eintritt in die Biosphäre betrachtet, um die Kontamination von Umwelt und Lebensmitteln zu berechnen.

Grundsätzlich sollen der Berechnung der Umgebungskontamination möglichst die Daten des Untersuchungszeitraums zu Grunde gelegt werden bzw. andernfalls auf die Plausibilität der gewählten Daten geachtet werden. Für die Ausbreitung der Radionuklide ist die jeweils ungünstigste Variante in Bezug auf die repräsentative Person auszuwählen.

Die Ausbreitung von Radionukliden geschieht laut Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung über das Grundwasser, Oberflächengewässer und die bodennahe Luft. Durch gelöste Radionuklide kontaminiertes Grundwasser kann über Grundwasserleiter oder siedlungsnahes Oberflächengewässer als Trink-/Tränkwasser oder über die Bewässerung genutzt werden. Dabei wird ein besonderer Einfluss des jeweiligen Klimas betont, da dies Einfluss auf einen potentiellen Grundwasseraufstieg und eine damit verbundene Bodenkontamination hat. Zudem wird die ebenfalls klimaabhängige Abschätzung des monatlichen Wasserdefizits im Boden in Anlehnung an GRS-241 (Noseck et al. 2009) gefordert, die die Bewässerungsrate in der Landwirtschaft und damit die Radionuklidausbreitung beeinflusst.

Kontaminierte Oberflächengewässer werden einerseits als Quelle für ungefiltertes Trink- bzw. Tränkwasser oder zur Bewässerung in der Landwirtschaft betrachtet und tragen damit zur Kontamination von Boden und Pflanzen bei. Zusätzlich können gelöste oder gasförmige Radionuklide über Fließgewässer bzw. stehende Gewässer verteilt werden. Auch Ufersediment kann durch die Sedimentation von Schwebstoffen aus Oberflächengewässern kontaminiert werden.

Die bodennahe Luft wird einerseits potentiell durch den Gastransport aus der Geosphäre in die Atmosphäre kontaminiert. Gasförmige Radionuklide, wie beispielsweise C-14, können in der Folge im Rahmen der Photosynthese von Pflanzen aufgenommen oder direkt von der repräsentativen Person inhaliert werden. Zusätzlich trägt laut Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung die Resuspension kontaminierten Bodens in Folge von Witterung oder mechanischer Einflüsse zur Kontamination der Luft bei.

12.3.2 Kommentierung Inhalt

Mit ihren Vorgaben betrachtet die Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung explizit das Grundwasser als potentielle langfristige Kontaminationsquelle. Gemäß der Einführung der stilisierten klimatischen Zustände werden neue Aspekte, wie die Berechnung des Wasserdefizits, in die Modellierung mit einbezogen bzw. Parameter in Abhängigkeit des Klimas (z. B. Anpassung des Wasserkonsums bzw. der Aufnahme von Weidegras des Rinds, Gl. 28-31) gesetzt.

Die in Unterkapitel 12.3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung aufgeführten Formeln zur Berechnung der Radionuklidenausbreitung sind größtenteils angelehnt an die AVV Tätigkeiten (Gleichungen 3–11, 13–16). Der Detaillierungsgrad der Berechnungsvorgaben ist ebenfalls vergleichbar mit dem der AVV Tätigkeiten. Dabei ist zu beachten, dass je nach Priorität und Komplexität der Berechnung die Ausführlichkeit der Erläuterungen gewählt wurde. So wird beispielsweise die Berechnung der Kontamination von Boden und Pflanzen durch Bewässerung ausführlich erläutert, da diese einen entscheidenden Einfluss auf die folgende Berechnung der potentiellen Exposition der repräsentativen Person hat.

Eine Erläuterung in Bezug auf die Betrachtung der Resuspension kontaminierten Bodens mit entsprechenden Verweisen ist wünschenswert (nicht in AVV Tätigkeiten, nur in BglBb erwähnt). Ebenso sollte die Auslassung der Betrachtung kontaminierter Böden bzw. kontaminierten Sediments in Überschwemmungsgebieten und Spülfeldern, wie in der AVV Tätigkeiten benannt, begründet werden.

12.3.3 Kommentierung Formal

Keine Anmerkungen.

12.3.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Die Vorgaben zur Berechnung der Ausbreitung von Radionukliden in der Biosphäre sind für die vSU grundsätzlich anwendbar. Konkretisierungen sind aber erforderlich bezüglich der Betrachtung der Resuspension kontaminierten Bodens und bezüglich der Auslassung der Betrachtung kontaminierter Böden bzw. kontaminierten Sediments in Überschwemmungsgebieten und Spülfeldern (wie in der AVV Tätigkeiten benannt).

12.4 zu: Exposition der repräsentativen Person (Unterkapitel 12.4 der Berechnungsgrundlage)

12.4.1 Inhaltliche Zusammenfassung

Die Exposition der repräsentativen Person (nach Anlage 11 Teil B Tabelle 1 StrlSchV) wird laut Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung als „über die Lebenszeit (bis einschließlich des 70. Lebensjahres) gemittelte effektive Dosis (gemittelte Jahresdosis) während des Bewertungszeitraums“ abgeschätzt. Dabei wird zwischen der äußeren Exposition, der die effektive Dosis des Bezugsjahres zugrunde liegt, und der inneren Exposition unterschieden, die als effektive Folgedosis über die Lebenszeit der Person berechnet wird. Bei den Lebensgewohnheiten sollen für alle klimatischen Zustände die Daten in Anlage 11 Teil B StrlSchV genutzt werden. Sowohl die Dosiskoeffizienten für den Muttermilchpfad nach AVV Tätigkeiten, als auch eine potentielle Akkumulation radioaktiver Stoffe in der Umwelt sind zu beachten. Die Exposition der repräsentativen Person wird für die ungünstigsten Einwirkungsstellen und entsprechend der Lebensgewohnheiten nach StrlSchV abgeschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass 50 % der Lebensmittel lokalen Ursprungs sind, einzig bei Muttermilch und Trinkwasser wird 100 % angenommen. Die Nutzbarkeit des Grundwassers zur Tränkung, Bewässerung oder als Trinkwasser ist zu belegen.

Die Expositionspfade der repräsentativen Person sind unterteilt in die äußere und die innere Exposition. Die Gammabodenstrahlung bei Aufenthalt auf Böden sowie die Gammabodenstrahlung bei Aufenthalt auf Ufersediment bilden die äußeren Expositionspfade. Dabei wird aufgrund der Abschirmwirkung des Bodens davon ausgegangen, dass der wesentliche Anteil der Gammabodenstrahlung von der obersten Bodenschicht ausgeht. Dies fließt in die Berechnung der äußeren Exposition ein.

Die Expositionspfade bezüglich der inneren Exposition der repräsentativen Person sind unterteilt in gasförmige radioaktive Stoffe und gelöste radioaktive Stoffe. Bei gasförmigen radioaktiven Stoffen wird die Inhalation gasförmig gebundener Radionuklide und resuspendierten Staubes, beides ausgehend von der bodennahen Luft, betrachtet.

Die Aufnahme gasförmiger radioaktiver Stoffe durch Ingestion wird in folgende Expositionspfade unterteilt: Luft – Pflanze, Luft – Futterpflanze – Kuh – Milch, Luft – Futterpflanze – Rind – Fleisch, Luft – Muttermilch, Luft – Nahrung – Muttermilch.

Gelöste radioaktive Stoffe können durch die Ingestion von Lebensmitteln auf den folgenden Pfaden aufgenommen werden: Trinkwasser, Wasser – Fisch, Viehtränke – Kuh – Milch, Viehtränke – Rind – Fleisch, Bewässerung – Futterpflanze – Kuh – Milch, Bewässerung – Futterpflanze – Rind – Fleisch, Bewässerung – Pflanze, Muttermilch infolge der Aufnahme radioaktiver Stoffe durch die Mutter. Zusätzlich wird der Pfad der Boden-ingestion betrachtet.

Für alle Expositionspfade werden Gleichungen zur Berechnung der Jahresdosen der repräsentativen Person auf Basis der jeweiligen spezifischen Aktivitäten und Lebensgewohnheiten angegeben.

12.4.2 Kommentierung Inhalt

Die laut Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung geforderte Abschätzung der Exposition der repräsentativen Person als „über die Lebenszeit (bis einschließlich des 70. Lebensjahres) gemittelte effektive Dosis (gemittelte Jahresdosis) während des Bewertungszeitraums“ ist nicht klar definiert. Es bleibt unklar, ob sich die „Mittelung“ der effektiven Dosis jeweils auf ein Lebensjahr bezieht oder ein Mittelwert aller Jahresdosen einer repräsentativen Person über die gesamte Lebenszeit dieser Person gebildet werden soll. Zudem fehlen konkrete Berechnungsformeln zur letztendlichen „Mittelung“ (siehe auch Kapitel 2 dieser Stellungnahme). In diesem Zusammenhang wird in Kapitel 1 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung („Einleitung“) auf die entsprechende Vorgabe in der EndlSiAnfV verwiesen (vgl. § 7 Abs. 1 EndlSiAnfV). Da in der gesamten EndlSiAnfV, als auch in der EndlSiUntV keine „Mittelung“ der Dosis erwähnt wird, ist dieser Bezug zu präzisieren.

In Bezug auf den Muttermilchpfad werden die Dosiskoeffizienten aus der AVV Tätigkeiten „in der jeweils gültigen Fassung“ entnommen. Aufgrund des bisherigen Fehlens von Regularien zur Biosphärenmodellierung ist näher zu erläutern, weshalb in diesem Fall explizit auf die jeweils gültige Fassung verwiesen wird (siehe auch Unterkapitel 12.1 dieser Stellungnahme).

Es wird davon ausgegangen, dass als Eingangsdaten für die Modellierung der Expositionspfade 50 % der Lebensmittel lokalen Ursprungs sind, einzig bei Muttermilch und Trinkwasser wird 100 % angenommen. Die Nutzbarkeit des Grundwassers zur Tränkung, Bewässerung oder als Trinkwasser ist zu belegen. Hier kann davon ausgegangen werden, dass klimatische Änderungen oder Änderungen der Lebensgewohnheiten über den Bewertungszeitraum einen Einfluss auf diese prozentuale Verteilung haben werden.

Hinsichtlich der Auswahl der relevanten Expositionspfade wird im Hinweis in Unterkapitel 12.4.1 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung auf „generische Betrachtungen und Modellrechnungen [...], Anregungen von Beratungsgremien [...] sowie Überlegungen zur Kommunikation [...]“ verwiesen. Hierbei wären konkrete Quellenangaben von Vorteil, um die Entscheidung zu untermauern. Erklärungen sind ebenfalls zur Vernachlässigung der Expositionspfade Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten und Spülfeldern als auch zur Aufnahme der Exposition durch resuspendierten Staub wünschenswert (siehe auch Unterkapitel 12.3 dieser Stellungnahme).

In Bezug auf die potentielle Exposition durch aufsteigendes Grundwasser soll nach Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung eine Abschätzung mittels „eines Expositionsmodells nach Stand von Wissenschaft und Technik“ (vgl. Unterkapitel 12.4.3.1 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung) erfolgen. Hier wäre eine genauere Erläuterung sinnvoll, in der beispielsweise auf bestehende Modelle verwiesen wird.

Für die Abschätzung der potentiellen Exposition durch Gammabodenstrahlung wird durch die alleinige Betrachtung der obersten Bodenschichten von der Vorgehensweise

der AVV Tätigkeiten abgewichen. Da folglich ebenfalls Unterschiede in den Berechnungsformeln resultieren, sollte hier eine Begründung bzw. ein Quellenbezug hergestellt werden.

Bezüglich der inneren Expositionspfade werden andere Begriffe verwendet als in der AVV Tätigkeiten: In der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung wird von einer Bewässerung statt einer Beregnung ausgegangen. Die Bewässerung beinhaltet die oberflurige Beregnung als auch andere Bewässerungsformen, wie beispielsweise unterfluriges Wasserausbringen. Hierbei ist der Einfluss auf die Expositionsabschätzung zu kommentieren. Zudem findet sich in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung das Rind als Fleischlieferant. Beim Vergleich fällt auf, dass in der AVV Tätigkeiten der Begriff „Tier“ verwendet wird, jedoch die Lebensgewohnheiten des Rinds bzw. der Kuh für die Berechnung zugrunde gelegt werden (vgl. Anhang A1 AVV Tätigkeiten). Daher stellt sich die Frage, ob die Änderung der Wortwahl lediglich eine Präzisierung darstellen soll oder weitergehende Auswirkungen hat. Der Begriff sollte aber sinnvollerweise einheitlich gewählt werden.

Hinsichtlich der Betrachtung der Bodeningestion sollte die Relevanz des Expositionspfades begründet bzw. auf entsprechende Belege verwiesen werden, da die Bodeningestion bisher hauptsächlich in den BglBb Anwendung findet. In diesen wird von einer Relevanz des Pfades ausschließlich auf einer bergbaulichen Hinterlassenschaft (z. B. orale Aufnahme durch auf kontaminiertem Boden spielende Kinder) ausgegangen. Es ist unklar, ob dieser Expositionspfad im Rahmen der Modellierung eines tiefeingeologischen Endlagersystems überhaupt relevant ist. Zudem werden in den BglBb höhere Verzehrsmengen im Vergleich zur Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung angenommen. Hierbei ist auch der formale Kommentar unten zu beachten. Zu den BglBb gibt es darüber hinaus einen umfangreichen Erläuterungsbericht (Kümmel 2012), in dem die Grenzen der Anwendbarkeit der Berechnungen beschrieben sind. Es ist nicht ersichtlich, ob und wie diese Anwendungsgrenzen in die Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung eingegangen sind.

Des Weiteren ist anzumerken, dass in den Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK 2015) eine Vereinfachung von sechs auf drei Altersklassen vorgeschlagen wurde, die in der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung allerdings nicht übernommen wurde. Eine kurze Begründung hierzu wäre wünschenswert.

12.4.3 Kommentierung: Formal

In der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung wird teilweise von „zusätzlicher Dosis“ und teilweise nur von „Dosis“ der repräsentativen Person gesprochen. Eine Konsistenz hinsichtlich dieser Begriffe im gesamten Dokument, auch in Hinblick auf die EndlSiAnfV und die EndlSiUntV, würde Fehlinterpretationen vorbeugen.

In Bezug auf die Gleichungen 22 (Exposition durch Inhalation) und 34 (Exposition durch Bodeningestion) wären Angaben zu deren Ursprung bzw. Quellenverweise hilfreich, da diese nicht aus der AVV Tätigkeiten oder anderen genannten Quellen hervorgehen.

Ebenso fehlt in Tabelle 3 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung ein Quellenverweis zu den jährlichen Mengen der Bodeningestion.

12.4.4 Bewertung Anwendbarkeit für vSU

Zur Dosisberechnung sollen die Lebensgewohnheiten für alle klimatischen Zustände entsprechend der Daten in Anlage 11 Teil B StrlSchV herangezogen werden. Ein Hinweis, dass der Klimawandel nicht nur Auswirkungen auf den Anbau einzelner Lebensmittelgruppen hat (vgl. Unterkapitel 12.2 der Berechnungsgrundlage Dosisabschätzung), sondern ebenso auf die Lebensgewohnheiten repräsentativer Personen, fehlt. Eine Konkretisierung der zu nutzenden Eingangsdaten wird für die Anwendung benötigt (siehe auch Unterkapitel 12.2 dieser Stellungnahme).

Literaturverzeichnis

- AtEV: Atomrechtliche Entsorgungsverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2172)
- AVV: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen vom 28.08.2012
- AVV Tätigkeiten: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten) vom 08.06.2020
- BASE & BfS (2020): Berechnungsgrundlage für die Dosisabschätzung bei der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen. Entwurfsfassung inklusive Erläuterungen - Stand 31.07.2020. Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE), Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Berlin
- Beuth, T., Bracke, G., Buhmann, D., Dresbach, C., Keller, S., Krone, J., Lommerzheim, A., Mönig, J., Mrugalla, S., Rübel, A. & Wolf, J. (2012): Szenarienentwicklung: Methodik und Anwendung. Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben. GRS - 284. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), DBE Technology GmbH, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH. Köln. ISBN 9783939355601
- BfS (2010): Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen - Bergbau). urn:nbn:de:0221-20100329966. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Salzgitter
- BMU (2010): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Bonn
- EndlSiAnfV: Endlagersicherheitsanforderungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094)
- EndlSiUntV: Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung vom 6. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2094, 2103)
- ESK (2018): Leitlinie zum Schutz von Endlagern gegen Hochwasser. Empfehlung der Entsorgungskommission. Entsorgungskommission. Bonn
- IAEA (2011): Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Specific Safety Guide No. SSG-14. International Atomic Energy Agency. Vienna, Austria
- IAEA (2012): The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste. IAEA Safety Standards. Specific Safety Guide No. SSG-23. International Atomic Energy Agency (IAEA). Wien, Österreich
- IAEA (2019): Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection 2018 Edition. IAEA Safety Glossary. International Atomic Energy Agency (IAEA). Wien, Österreich
- Kümmel, M. (2012): Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität : Erläuterungen zur Berechnung mit den Berechnungsgrundlagen Bergbau. urn:nbn:de:0221-201204168021. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Salzgitter
- Nagra (2014): Biosphärenmodellierung für die provisorischen Sicherheitsanalysen. SGT Etappe 2. NAB 13-04. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra). Wetztingen, Schweiz

- Noseck, U., Fahrenholz, C., Fein, E., Flügge, J., Pröhl, G. & Schneider, A. (2009): Impact of climate change on far-field and biosphere processes for a HLW-repository in rock salt. GRS - 241. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH. Köln. ISBN 9783939355151
- SSK (2015): Umsetzung des Dosisgrenzwertes für Einzelpersonen der Bevölkerung für die Summe der Expositionen aus allen zugelassenen Tätigkeiten. Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Strahlenschutzkommission (SSK). Bonn
- StandAG: Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 7. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2760) geändert worden ist
- StrlSchG: Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 20. Mai 2021 (BGBl. I S. 1194) geändert worden ist
- StrlSchV 2001: Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, 2002 I S. 1459), außer Kraft getreten am 31. Dezember 2018 durch Artikel 20 Absatz 1 Satz 2 der Verordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034).
- StrlSchV: Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), die zuletzt durch Artikel 83 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist
- Uhlmann, S. (2016): Vorgehensweise bei der Szenarienentwicklung in der Nachverschlussphase von Endlagern in tiefen geologischen Formationen. Bericht zum Arbeitspaket 1: Weiterentwicklung des internationalen Stands von Wissenschaft und Technik zu Methoden und Werkzeugen für Betriebs- und Langzeitsicherheitsnachweise. GRS - 424. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH. Köln. ISBN 9783946607069

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
Eschenstraße 55
31224 Peine
T +49 05171 43-0
poststelle@bge.de
www.bge.de