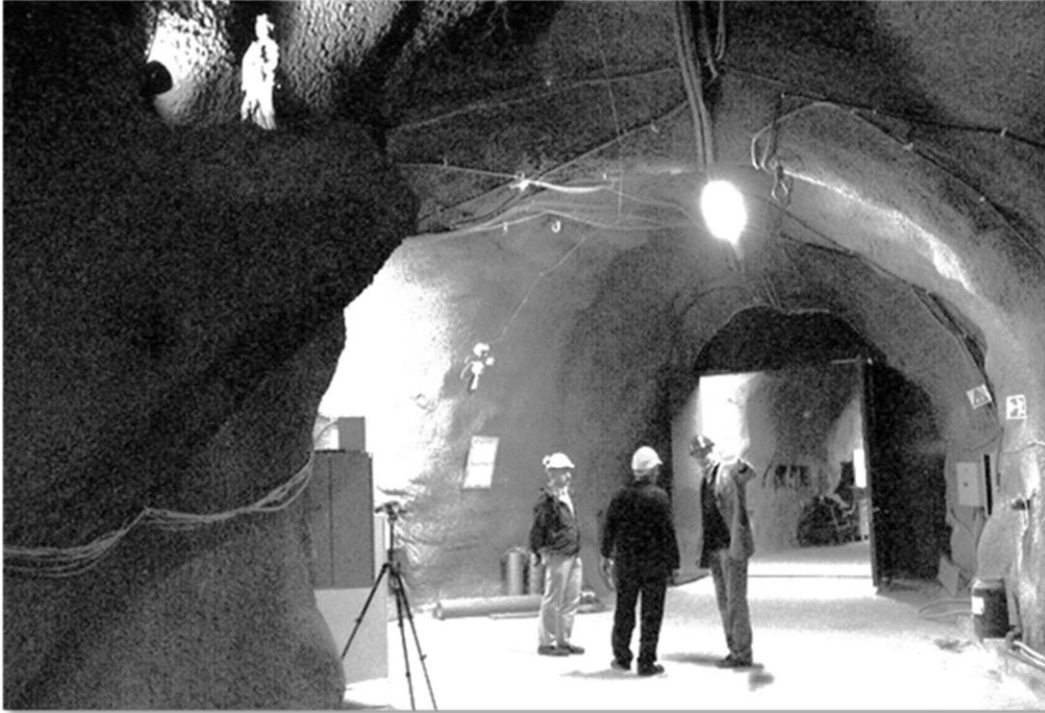


Nationales Begleitgremium



Gutachten zur Berechnungsgrundlage für die Dosisabschätzung bei der Endlagerung von hoch radioaktiven Abfällen – Grundsatzfragen

Anne Eckhardt

Impressum

risicare GmbH

Dr. Anne Eckhardt

Bühlstrasse 19

CH-8125 Zollikerberg

www.risicare.ch / info@risicare.ch / +41 79 388 83 83

9. Mai 2021

Quelle Titelbild: <https://www.swissinfo.ch/ger/mont-terri-felslabor/1331086>

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG / ABSTRACT	3
GUTACHTEN	6
ERLÄUTERUNGEN ZUM GUTACHTEN	12
1. Grundsätzliche Überlegungen	12
2. Ziele	14
3. Grundsätze	16
4. Strategie für die Dosisabschätzung	20
5. Potentielle Entwicklungen des Endlagers	22
6. Umgang mit Ungewissheiten	25
7. Literaturverzeichnis	29

ZUSAMMENFASSUNG / ABSTRACT

Zusammenfassung

Im Verlauf des Verfahrens, mit dem ein Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland ermittelt werden soll, werden vorläufige Sicherheitsuntersuchungen (vSu) durchgeführt. Bei den weiterentwickelten und den umfassenden vSu soll eine einheitliche Berechnungsgrundlage für die Abschätzung der zusätzlichen effektiven Dosis für Einzelpersonen angewendet werden.

Das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung und das Bundesamt für Strahlenschutz haben einen Entwurf dieser Berechnungsgrundlage mit Stand vom 31. Juli 2020 erstellt und am 24. September 2020 veröffentlicht. Mit dem vorliegenden Gutachten sollen im Auftrag des Nationalen Begleitegremiums zwei Fragen zur Entwurfsfassung der Berechnungsgrundlage beantwortet werden:

- Entsprechen die in Kapitel IV dargestellten Ziele und Grundsätze für die Abschätzung der Dosis sowie das in Kapitel V beschriebene Vorgehen für die Erstellung einer Strategie für die Dosisabschätzung dem Stand von Wissenschaft und Technik?
- Sind die Ausführungen in den Kapiteln VII und VIII bezüglich potentieller Entwicklungen des Endlagers und dem Umgang mit Ungewissheiten für die Abschätzung der Dosis ausreichend oder sollten diese z. B. in einer eigenen Handreichung, Verwaltungsvorschrift, etc. weiter ausgeführt werden?

Die Beantwortung der Fragen ist abhängig davon, ob die Berechnungsgrundlage in ein umfassenderes und teilweise übergeordnetes Regelwerk für die vSu eingebunden werden und ob präskriptive oder zielorientierte Vorschriften angestrebt werden sollen. Diese beiden grundsätzlichen Themen liegen außerhalb des Gutachtens.

Die Entwurfsfassung der Berechnungsgrundlage sieht zwei Ziele vor. Die Gutachterin schlägt vor, diese Ziele so zu fokussieren, dass mit der Berechnungsgrundlage auf umfassende, konsistente, plausible, nachvollziehbare und transparente Dosisabschätzungen hingewirkt werden soll, die für verschiedene Untersuchungsräume vergleichbar sind.

Grundsätze sind Regeln, die die Zielerreichung bei der Dosisabschätzung leiten, und Rahmenbedingungen, in die sich die Dosisabschätzung einfügt. Die Grundsätze der Berechnungsgrundlage richten sich inhaltlich am Stand von Wissenschaft und Technik aus. Die Gutachterin schlägt vor, die Grundsätze internationaler guter Praxis folgend stärker zu konzentrieren und unterbreitet einen entsprechenden Vorschlag. Angesichts der wichtigen Rolle, die den Ergebnissen der Dosisabschätzung im Standortauswahlverfahren zukommt, empfiehlt sie, die Information zum Stellenwert der Ergebnisse der Dosisabschätzung in der Berechnungsgrundlage prominent zu platzieren.

Eine Strategie für sicherheitsrelevante Abschätzungen zu erstellen, entspricht internationalen Empfehlungen und guten Praktiken. Mit der Strategie wird der Grundsatz, die Ziele der Berechnungsgrundlage mit einem systematischen und strukturierten Vorgehen zu erreichen, umgesetzt. Wesentliche Inhalte der Strategie sollten der Kontext der Dosisabschätzung sein, die Grundlagen, die Durchführung und die Bewertung der Dosisabschätzung, einschließlich grundlegender methodischer Ansätze. Zudem müssen in

der Strategie die Bezüge zwischen unterschiedlichen Elementen der Dosisabschätzung und der übergeordneten Strategie für die vSu dargelegt werden.

Der Umgang mit potentiellen Entwicklungen nimmt in den Endlagersicherheitsanforderungen eine wichtige Position ein, ist ein zentrales Element von Sicherheitsuntersuchungen und kann deren Ergebnisse wesentlich beeinflussen. International wird daher bei der Szenarienentwicklung ein systematisches, strukturiertes und gut begründetes Vorgehen angestrebt. Da die potentiellen Entwicklungen des Endlagers nicht nur für die Dosisabschätzung relevant sind, sondern auch für andere Bereiche der vSu, liegt es nahe, den Umgang mit Entwicklungen des Endlagersystems in einer Vorgabe zu regeln, die für die gesamten vSu gilt und auf die die Berechnungsgrundlage für die Dosisabschätzung Bezug nehmen kann. Besondere Aufmerksamkeit sollte dabei auf die Einordnung von Entwicklungen als zu erwartend oder abweichend gelegt werden.

Der Umgang mit Ungewissheiten ist für die vSu speziell relevant, da noch viele spezifische Standortdaten fehlen und auch das Sicherheits- und Endlagerkonzept bzw. die Sicherheits- und Endlagerkonzepte noch nicht im Detail ausgearbeitet sind. Im Entwurf der Berechnungsgrundlage zeigt sich, dass zum Umgang mit Ungewissheiten Regelungsbedarf besteht, der aber in vielen Fällen über die Dosisabschätzung hinausweist. Die Gutachterin empfiehlt daher, den Umgang mit Ungewissheiten, insbesondere auch die Beurteilung von Ungewissheiten, in einer eigenen Vorgabe zu regeln, die für die gesamten vSu Gültigkeit beansprucht. Der Umgang mit Fehlern sollte in eine Vorgabe eingebunden werden, die spezifisch auf den Umgang mit menschlichen und organisatorischen Einflüssen in den vSu ausgerichtet ist.

Die Gutachterin empfiehlt dem NBG, weiterführend ein Gutachten zu Sicherheitsaspekten, die sich im Dialog mit der interessierten Öffentlichkeit zu den vSu als sensibel erweisen könnten, in Auftrag zu geben. Ein solches Gutachten kann auf nationalen und internationalen Erfahrungen mit Sicherheitsuntersuchungen sowie Dokumenten, die den fachlichen Diskurs zu vSu widerspiegeln, aufbauen. Die Ergebnisse des Gutachtens würden es dem NBG und anderen Stakeholdern erleichtern, im weiteren Verlauf des Standortauswahlverfahrens frühzeitig ein Augenmerk auf solche sensiblen Sicherheitsaspekte zu richten.

Abstract

The siting process for a repository for high-level radioactive waste in Germany is dedicated to identify a site with the best possible safety. In the course of the siting process preliminary safety investigations (vSu) are carried out. For the advanced and comprehensive vSu, a uniform calculation basis is to be applied to estimate the additional effective dose for individual persons.

The Federal Office for the Safety of Nuclear Waste Management and the Federal Office for Radiation Protection have prepared a draft of this calculation basis as of 31 July 2020 and published it on 24 September 2020. The National Advisory Committee commissioned an advisory opinion to answer two questions regarding the draft version of the calculation basis:

- Do the objectives and principles presented in Chapter IV and the procedure for the preparation of a strategy described in Chapter V correspond to the state of the art in science and technology?
- Are the explanations in Chapters VII and VIII regarding potential developments of the repository and the handling of uncertainties sufficient, or should these be further elaborated, e. g. in a separate administrative regulation?

The answer to these questions depends on whether the calculation basis is to be integrated into a more comprehensive and partly overarching set of specifications for vSu and whether prescriptive or target-oriented requirements are to be aimed at. These two fundamental issues lie outside the scope of the advisory opinion.

The draft version of the calculation basis includes two objectives. The reviewer suggests focussing these objectives in such a way that the calculation basis works towards comprehensive, consistent, plausible, traceable and transparent dose estimates that are comparable for different investigation areas.

Principles are rules that guide the achievement of objectives in dose assessment and framework conditions within which dose assessment fits. The principles of the calculation basis are based on the state of the art in science and technology. The reviewer suggests that the principles should be more focused and makes a proposal in accordance with international good practice. In view of the important role played by the results of the dose assessment in the site selection process, the reviewer recommends that the information on the significance of the results of the dose assessment be prominently placed in the calculation basis.

Establishing a strategy for safety-relevant assessments is in line with international recommendations and good practice. The strategy implements the principle of achieving the objectives of the calculation basis with a systematic and structured approach. Contents of the strategy should be the assessment basis and context, the implementation and the evaluation of dose assessment, including basic methodological approaches. In addition, the strategy must explain the relationship between different elements of dose assessment and the overall strategy for vSu.

The handling of potential developments occupies an important position in the German repository safety requirements, is a central element of safety assessments and can significantly influence their results. Internationally, a systematic, structured and well-founded approach is therefore sought in scenario development. Since the potential developments of the repository are not only relevant for the dose assessment but also for other areas of the vSu, it stands to reason to regulate the handling of developments of the repository system in a specification that applies to the entire vSu and to which the calculation basis for the dose assessment can refer. Special attention should be paid to the categorisation as expected or altered evolution developments.

Dealing with uncertainties is especially relevant for the vSu, as many specific site data are still missing and also the safety and repository concept(s) have not yet been elaborated in detail. The draft of the calculation basis shows that there is a need for regulation to deal with uncertainties, which in many cases goes beyond the dose assessment. The reviewer therefore recommends that the handling of uncertainties, and in particular the assessment of uncertainties, be regulated in a separate specification that is valid for the entire vSu. Dealing with errors should be regulated in a separate specification that is oriented towards human and organisational influences in the vSu.

The reviewer recommends that the NBG commissions a further advisory opinion on safety aspects that could prove to be sensitive in the dialogue with the interested public on vSu. Such an expert opinion can be based on national and international experience with safety assessments as well as documents that reflect the technical and scientific discourse on vSu. The results of the opinion would support the NBG and other stakeholders to focus on such sensitive safety aspects at an early stage in the further course of the site selection process.

GUTACHTEN

Ausgangslage

In den Sicherheitsanforderungen an ein Endlager für hoch radioaktive Abfälle, die in der Endlagersicherheitsanforderungsverordnung (EndLSiAnfV 2020) festgelegt sind, nimmt die zusätzliche effektive Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung eine wichtige Position als Indikator zur Bewertung der Langzeitsicherheit eines Endlagers ein.

Im Verlauf des Standortauswahlverfahrens, mit dem ein Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für ein Endlager ermittelt werden soll (§1 StandAG 2017), werden vorläufige Sicherheitsuntersuchungen (vSu) durchgeführt. In den vSu wird die Leistungsfähigkeit des Endlagersystems ganzheitlich betrachtet (ESK 2021, S. 4). Bei den weiterentwickelten und den umfassenden vSu soll eine einheitliche Berechnungsgrundlage für die Abschätzung der zusätzlichen effektiven Dosis für Einzelpersonen zur Anwendung kommen (§4 Ziffer 4 EndLSiUntV 2020).

Das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) und das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) haben einen Entwurf dieser Berechnungsgrundlage mit Stand vom 31. Juli 2020 erstellt (BASE & BfS 2020) und am 24. September 2020 veröffentlicht.

Mit dem vorliegenden Gutachten sollen zwei grundsätzliche Fragen zur Entwurfsfassung der Berechnungsgrundlage des BASE und BfS beantwortet werden:

- Entsprechen die in Kapitel IV dargestellten Ziele und Grundsätze für die Abschätzung der Dosis sowie das in Kapitel V beschriebene Vorgehen für die Erstellung einer Strategie für die Dosisabschätzung dem Stand von Wissenschaft und Technik?
- Sind die Ausführungen in den Kapiteln VII und VIII bezüglich potentieller Entwicklungen des Endlagers und dem Umgang mit Ungewissheiten für die Abschätzung der Dosis ausreichend oder sollten diese z. B. in einer eigenen Handreichung, Verwaltungsvorschrift, etc. weiter ausgeführt werden?

Berechnungsgrundlage

In der Entwurfsfassung der Berechnungsgrundlage sind Anforderungen an das Vorgehen bei der Dosisabschätzung und an die Ergebnisse der Dosisabschätzung strukturiert dargelegt. Diese Anforderungen konkretisieren die rechtlichen Vorgaben. In der Einleitung wird explizit auf das Standortauswahlgesetz (§ 1 StandAG 2017) Bezug genommen. Demnach soll die Berechnungsgrundlage dazu beitragen, in einem partizipativen, wissenschaftsbasierten, transparenten, selbsthinterfragenden und lernenden Verfahren einen Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle zu ermitteln.

Inhaltlich spiegelt die Berechnungsgrundlage internationale Empfehlungen und international anerkannte gute Praktiken im Bereich von Sicherheitsuntersuchungen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle wider. Die in der Entwurfsfassung enthaltenen Festlegungen und Anforderungen reichen von grundsätzlichen (wie «Informationen und die zugehörigen Ungewissheiten sind vollständig und nachvollziehbar darzustellen») bis zu spezifischen Vorschriften (wie «bei der Quantifizierung der Gesamtun-

sicherheit von Analyseergebnissen sind die gemäß dem aktuellen Kenntnisstand vorhandenen Unsicherheitsbandbreiten der identifizierten Parameter zu quantifizieren, bei Einsatz von statistischen Verfahren mitsamt den Verteilungen der Parameter»). Die Tatsache, dass es sich um eine Entwurfsfassung handelt, zeigt sich unter anderem darin, dass die Terminologie noch nicht ganz gefestigt ist.

Die Anforderungen an die Durchführung der vSu sind in der Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung (EndlSiUntV 2020) geregelt. Um eine konsistente Vorgehensweise zu unterstützen, wird speziell für die Dosisabschätzungen in den weiterentwickelten und umfassenden vSu eine einheitliche Berechnungsgrundlage gefordert (§ 4 Ziffer 4 EndlSiUntV 2020).

Eine konsistente Vorgehensweise ist im gesamten vergleichenden Verfahren, das zur Wahl eines Standorts mit der bestmöglichen Sicherheit führen soll, von zentraler Bedeutung. Daher liegt es nahe, auf der Ebene der untergesetzlichen Vorschriften allgemeinere Vorgaben für die vSu zu entwickeln, in die sich die Berechnungsgrundlage für die Dosisabschätzung spezifisch einpasst. Solche Vorgaben sollten transparent machen, woran die Aufsicht ihre Beurteilung der vSu und der Dosisabschätzung ausrichtet. Sie sollten der Vorhabenträgerin aber auch ausreichenden Spielraum lassen, um Lösungen zu entwickeln, die den spezifischen Anforderungen des Standortauswahlverfahrens gerecht werden, um den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik weiter fortzuschreiben und damit ihren Beitrag zur Umsetzung des selbsthinterfragenden und lernenden Verfahrens bei der Standortauswahl zu leisten.

Ziele

Die übergeordnete Zielsetzung des Standortauswahlverfahrens, einen Standort mit der bestmöglichen Sicherheit zu finden (§1 StandAG 2017), wird in der Berechnungsgrundlage mit spezifischeren Zielen für die Dosisabschätzung in den weiterentwickelten und den umfassenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen konkretisiert.

In Kapitel «4.1 Ziele» wird konzentriert dargelegt, wie die Berechnungsgrundlage konzipiert und ausgerichtet ist, wobei auch bereits Grundsätze wie die Forderung nach einem «übergreifend organisierten und systematisches Vorgehen» (Kapitel 4.1 Ziffer 2) angesprochen werden. Ziele werden zudem im Zusammenhang mit der Erstellung einer Strategie zur Dosisabschätzung (Kapitel 5 Ziffer 1) erwähnt und bei den Grundsätzen (Kapitel 4.2) gestreift.

Die Entwurfsfassung der Berechnungsgrundlage und Empfehlungen internationaler Organisationen legen nahe, dass mit der Berechnungsgrundlage auf umfassende, konsistente, plausible, nachvollziehbare und transparente Dosisabschätzungen hingewirkt werden soll, die für verschiedene Untersuchungsräume vergleichbar sind. Daher wird empfohlen, die Formulierung der Ziele der Berechnungsgrundlage entsprechend zu fokussieren.

Falls sich die Berechnungsgrundlage künftig in Vorgaben für die vSu einpassen sollte, kann ggf. auf übergeordnete Ziele, die die vSu leiten, verwiesen und damit auf spezifische Ziele für die Dosisabschätzung verzichtet werden.

Grundsätze

Grundsätze sind Regeln, an denen sich die Berechnungsgrundlage ausrichtet, oder sie bezeichnen Rahmenbedingungen, in die sich die Berechnungsgrundlage einfügt. Im Allgemeinen wird für Vorgaben wie Richtlinien oder Strategien eine überschaubare Zahl von klar formulierten Grundsätzen angestrebt.

Kapitel 4.2 der Berechnungsgrundlage umfasst 21 Grundsätze von unterschiedlichem Detaillierungsgrad. Bei einigen Grundsätzen wird bereits genauer ausgeführt, wie und wo sie bei der Dosisabschätzung umzusetzen sind. Die Gutachterin regt daher an, die Zahl der Grundsätze zu vermindern und die verbleibenden Grundsätze prägnanter zu formulieren. Die Zahl der Grundsätze lässt sich beispielsweise reduzieren, indem Grundsätze, die nicht spezifisch für die Dosisabschätzung sind, in Vorgaben übernommen werden, die für die vSu als Ganze gelten. Beschreibende, erläuternde und präzisierende Formulierungen sollten in die nachfolgenden Kapitel der Berechnungsgrundlage verlagert werden.

Eine verdichtete Version der Grundsätze könnte folgendermaßen aussehen:

- (1) Die Dosisabschätzung folgt einem systematischen und strukturierten Vorgehen.
- (2) Sie erfolgt auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik, den sie weiter fortschreiben kann.
- (3) Die Dosisabschätzung wird dem Kenntnisstand, der den weiterentwickelten bzw. den umfassenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen zugrunde liegt, angepasst.
- (4) Sie gewährleistet, dass Untersuchungsräume nicht ungerechtfertigt frühzeitig aus dem Standortauswahlverfahren ausscheiden.
- (5) Für alle Untersuchungsräume wird das gleiche Radionuklidinventar verwendet, der radioaktive Zerfall und die Bildung von Tochternukliden werden berücksichtigt.
- (6) Die Geosphären- und Biosphärenmodellierung berücksichtigen alle relevanten wissenschaftlichen Grundlagen und erlauben es, den Radionuklidtransport lückenlos zu verfolgen.
- (7) Falls keine belastbaren Aussagen zu Prozessen und Endlagerkomponenten möglich sind, dürfen plausible Annahmen getroffen werden. Bei der Biosphärenmodellierung dürfen in gut begründeten Fällen Konventionen und stilisierte oder abdeckende Annahmen zur Anwendung kommen.
- (8) Ungewissheiten werden umfassend identifiziert, ihre Auswirkungen abgeschätzt und transparent gemacht.
- (9) Bei der Dosisabschätzung wird Diversität und Komplementarität der verwendeten Methoden angestrebt.

Die Information dazu, welcher Stellenwert den Ergebnissen der Dosisabschätzung (Kapitel 4.2 Ziffern 8 und 4) zukommt, ist so wesentlich, dass sie nach Einschätzung der Gutachterin prominent zu Beginn der Berechnungsgrundlage platziert werden sollte.

Bei der Umsetzung der Ziele «Nachvollziehbarkeit» und «Transparenz» kommt der Dokumentation eine wichtige Funktion zu. Die Anforderungen an die Dokumentation, die in der Entwurfsfassung in den Grundsätzen enthalten sind, rechtfertigen nach Ansicht der Gutachterin ein eigenes Kapitel der Berechnungsgrundlage oder einen Verweis auf eine Vorgabe zur Dokumentation der gesamten vSu. Dorthin könnten dann auch die spezifischeren Anforderungen an die Dokumentation übernommen werden, die gegenwärtig in den Grundsätzen der Entwurfsfassung enthalten sind.

Strategie für die Dosisabschätzung

Eine Strategie für Sicherheitsuntersuchungen und sicherheitsrelevante Abschätzungen zu erstellen, entspricht internationalen Empfehlungen und guten Praktiken (vgl. zum Beispiel NEA 2021, S. 27f.). Die Strategie für die Dosisabschätzung könnte sich in eine übergeordnete Strategie für die vSu eingliedern oder auf eine solche Strategie Bezug nehmen.

Wie in der Entwurfsfassung der Berechnungsgrundlage geregelt, muss die Strategie zu Beginn der Dosisabschätzung erstellt werden, aber beim Übergang in eine neue Phase des Standortauswahlverfahrens auch offen für Korrekturen sein. Im Interesse der Vergleichbarkeit der vSu regt die Gutachterin an, eine einzige Strategie für alle Untersuchungsräume zu fordern und nicht wie in Ziffer 2 der Berechnungsgrundlage vorgesehen unter Umständen mehrere Strategien zuzulassen.

Es sollte jedoch möglich sein, die Strategie wie sinngemäß in der Berechnungsgrundlage bereits vorgesehen bei Bedarf in Teilstrategien für Untersuchungsräume mit ähnlichen Charakteristika oder Sicherheitskonzepten zu untergliedern. In jedem Fall muss bei einer Ausdifferenzierung nach Untersuchungsräumen explizit dargestellt werden, wie in allen Fällen Dosisabschätzungen mit ähnlicher Qualität vorgenommen werden sollen und somit eine ähnliche Aussagekraft der Ergebnisse gewährleistet wird (Berechnungsgrundlage, Kapitel 5 Ziffer 2).

Mit der Strategie wird der Grundsatz, die Ziele der Berechnungsgrundlage mit einem systematischen und strukturierten Vorgehen zu erreichen, umgesetzt. Wesentliche Inhalte der Strategie sollten der Kontext der Dosisabschätzung, die Grundlagen, die Durchführung und die Bewertung der Dosisabschätzung, einschließlich grundlegender methodischer Ansätze sein. Zudem sollten in der Strategie die Bezüge zwischen unterschiedlichen Elementen der Dosisabschätzung dargelegt werden. Bei den Anforderungen an die Strategie könnte in der Berechnungsgrundlage zwischen (1) übergeordneten Vorschriften, (2) Vorschriften zur Struktur und den Elementen der Strategie und (3) Vorschriften zu den Funktionen der Strategie unterschieden werden.

Potentielle Entwicklungen des Endlagers

Entwicklungen des Endlagersystems und der geologischen Situation am Endlagerstandort nehmen in den Endlagersicherheitsanforderungen eine wichtige Rolle ein (EndlSiAnfV 2020). International werden, um Entwicklungen des Endlagersystems und seiner Umgebung in Untersuchungen zur Langzeitsicherheit einzubinden, üblicherweise Szenarien genutzt.

Die Szenarienentwicklung ist ein zentrales Element von Sicherheitsuntersuchungen und kann deren Ergebnisse wesentlich beeinflussen. Daher wird bei der Szenarienentwicklung ein systematisches, strukturiertes und gut begründetes Vorgehen angestrebt (IAEA 2012). Dieses Vorgehen nimmt in der Regel Bezug auf Verzeichnisse der Merkmale, Ereignisse und Abläufe (FEP) in einem Endlagersystem und kann sich auf international konsolidierte Kataloge von FEP abstützen (vgl. zum Beispiel NEA 2019).

Da die potentiellen Entwicklungen des Endlagers nicht nur für die Dosisabschätzung relevant sind, sondern auch für andere Bereiche der vSu, liegt es nahe, den Umgang mit Entwicklungen des Endlagersystems in einer Vorgabe zu regeln, die für die gesamten vSu gilt und auf die die Berechnungsgrundlage für die Dosisabschätzung Bezug nehmen kann.

Bei den vSu ist zwischen zu erwartenden und abweichenden Entwicklungen des Endlagersystems zu differenzieren. Hypothetische Entwicklungen und Entwicklungen auf der Grundlage zukünftiger menschlicher Entwicklungen sind zu beschreiben (§ 7 Ziffer 2 EndlSiUntV 2020). Die Einordnung von Entwicklungen als zu erwartend oder abweichend ist anspruchsvoll, unter anderem weil zu einzelnen Merkmalen, Ereignissen und Abläufen unterschiedliche wissenschaftliche Meinungen bestehen können, weil sich künftigen Entwicklungen nicht immer ohne Weiteres Wahrscheinlichkeiten zuordnen lassen, weil in manchen Fällen nicht eindeutig geklärt werden kann, ob mit relevanten Auswirkungen auf das Endlagersystem zu rechnen ist oder weil unterschiedliche Ansichten dazu bestehen, welche Form der Bildung von Szenariengruppen legitim ist.

Da die Einordnung von Entwicklungen relevant dafür ist, wie diese Entwicklungen bei der Bewertung der Langzeitsicherheit zu berücksichtigen sind, ist damit zu rechnen, dass sie bei den vSu zu Kontroversen Anlass geben kann. Der Einordnung von Entwicklungen sollte daher in einer Vorgabe für die vSu zu potentiellen Entwicklungen des Endlagers spezielle Aufmerksamkeit entgegengebracht werden.

Umgang mit Ungewissheiten

Der Umgang mit Ungewissheiten ist für die vSu besonders relevant, da noch viele spezifische Standortdaten fehlen und auch das Sicherheits- und Endlagerkonzept bzw. die Sicherheits- und Endlagerkonzepte noch nicht im Detail ausgearbeitet sind. Im Entwurf der Berechnungsgrundlage zeigt sich, dass zum Umgang mit Ungewissheiten Regelungsbedarf besteht, der aber in vielen Fällen über die Dosisabschätzung hinausweist. Die Gutachterin empfiehlt daher, den Umgang mit Ungewissheiten in einer eigenen Vorgabe zu regeln, die für die gesamten vSu Gültigkeit beansprucht. Die Berechnungsgrundlage sollte auf diese Vorgabe Bezug nehmen und sie, sofern erforderlich, um spezifische Anforderungen zum Umgang mit Ungewissheiten bei der Dosisabschätzung ergänzen. Wesentlich für eine Vorgabe zum Umgang mit Ungewissheiten ist die Verwendung einer klaren, konsistenten Terminologie, wobei – der internationalen Fachliteratur folgend – auch nach verschiedenen Kategorien von Ungewissheiten differenziert werden kann. Der oft anspruchsvollen Beurteilung von Ungewissheiten (vgl. zum Beispiel ESK 2017) sollte in der Vorgabe eine zentrale Rolle zukommen.

Ungewissheiten, ein «Zustand unvollständigen Wissens» (Berechnungsgrundlage, Kapitel 3, Ziffer 5), unterscheiden sich von Fehlern als Ergebnis nicht-korrekten Handelns. Der Umgang mit Ungewissheiten erfordert andere Herangehensweisen als der Umgang mit Fehlern. In der Arbeits- und Organisationspsychologie haben sich differenzierte Ansätze herausgebildet, die beispielsweise statt Fehlervermeidung einen konstruktiven Umgang mit menschlichen Stärken in den Vordergrund stellen (Hollnagel et al. 2015) oder der Sicherheits- und Aufsichtskultur (NEA 2016, NEA 2021) einen hohen Stellenwert einräumen. Die Gutachterin regt daher an, auch eine eigene Vorgabe zum Umgang mit menschlichen und organisatorischen Einflüssen in den vSu zu entwickeln und dabei Expert*innen aus dem Bereich der Arbeits- und Organisationspsychologie zuzuziehen.

Handlungsempfehlungen an das NBG

Das NBG begleitet das Standortauswahlverfahren mit dem Ziel, Vertrauen in das Verfahren zu ermöglichen. Als unabhängiges Gremium wirkt es vermittelnd und behält insbesondere die Öffentlichkeitsbeteiligung im Auge (NBG 2020).

Die Sicherheit nimmt im Standortauswahlverfahren, mit dem ein Standort mit der bestmöglichen Sicherheit für ein Endlager ermittelt werden soll, eine herausragende Rolle ein. Sicherheit ist nicht im engen Sinne normier- und berechenbar (Röhlig 2010, S. 103), sondern ein vielgestaltiges und vielschichtiges Konzept (a multi-dimensional concept, NEA 2013, S. 39), in das unter anderem unterschiedliche Werthaltungen eingehen. Die Verständigung über Sicherheit ist daher oft anspruchsvoll.

Erfahrungsgemäß stellen sich im Zusammenhang mit der Sicherheit der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle einige Fragen, die häufig zu Diskussionen, Kontroversen und zusätzlichen Anforderungen Anlass geben. Dazu zählen der Umgang mit Ungewissheiten (IGSC 2020, S. 40) oder in letzter Zeit auch zunehmend der Umgang mit menschlichen und organisatorischen Einflüssen (NEA 2021).

Die Gutachterin empfiehlt dem NBG daher, ein Gutachten zu Sicherheitsaspekten, die sich im Dialog mit der interessierten Öffentlichkeit zu den vSu als sensibel erweisen könnten, in Auftrag zu geben. Ein solches Gutachten kann auf nationalen und internationalen Erfahrungen mit Sicherheitsuntersuchungen sowie Dokumenten, die den fachlichen Diskurs zu vSu widerspiegeln, aufbauen.

Die Ergebnisse des Gutachtens würden es dem NBG und anderen Stakeholdern erleichtern, im weiteren Verlauf des Standortauswahlverfahrens frühzeitig ein Augenmerk auf solche sensiblen Sicherheitsaspekte zu richten, beispielsweise falls neben der Berechnungsgrundlage zur Dosisabschätzung weitere Vorgaben zur Erstellung der vSu entwickelt werden sollten.

ERLÄUTERUNGEN ZUM GUTACHTEN

1. Grundsätzliche Überlegungen

Im Auftrag zum Gutachten «Grundsatzfragen» stellt das Nationale Begleitgremium (NBG) die Frage, ob der Umgang mit potentiellen Entwicklungen des Endlagers und Ungewissheiten in einer jeweils eigenen Verwaltungsvorschrift oder einer anderen Vorgabe näher ausgeführt werden sollten. Daher leiten einige Überlegungen zur Beantwortung dieser Frage die Erläuterungen zum Gutachten ein. Stellvertretend für jede noch unbestimmte Form von untergesetzlichem Regelwerk (Borkel 2019) wird der Begriff «Vorgabe» verwendet.

Die Verfahrensschritte bei der Suche nach einem Standort für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle sind im Standortauswahlgesetz (StandAG 2017) geregelt. Im StandAG finden sich auch Ausschlusskriterien, Mindestanforderungen und Abwägungskriterien, die während der Standortauswahl zur Anwendung kommen. Die Verordnungen über Sicherheitsanforderungen und vorläufige Sicherheitsuntersuchungen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (EndSiAnfV und EndSiUntV 2020) konkretisieren die sicherheitstechnischen Anforderungen an ein Endlager für hochradioaktive Abfälle und regeln die Anforderungen an die Durchführung der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (vSu) im Standortauswahlverfahren.

Während der Standortauswahl müssen die Anforderungen aus dem StandAG, der EndSiAnfV und der EndSiUntV umgesetzt werden. Obwohl bei der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle auf internationale Regelwerke und Standards, vor allem der International Atomic Energy Agency (IAEA), der Nuclear Energy Agency der OECD (NEA) und der Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA,) Bezug genommen werden kann, sind bei der Umsetzung im deutschen Standortauswahlverfahren noch grundlegende Fragen, zum Beispiel zum Umgang mit unterschiedlichen Wissensständen (ESK 2021, S. 19), genauer zu beantworten.

Dabei können untergesetzliche Vorgaben wie Leitlinien, Richtlinien oder Verwaltungsvorschriften den Weg leiten, die von Aufsichtsbehörden herausgegeben werden. Vorteile solcher Vorgaben sind, dass in Konsultationsprozessen ein breites Spektrum von Fachwissen und Meinungen eingeholt werden kann und die Vorgaben die behördlichen Anforderungen transparent machen. Nachteile liegen darin, dass die Vorgaben die Flexibilität der Vorhabenträgerin im Sinn eines lernenden Vorgehens einschränken und sie von der Verantwortung entlasten, die gestellten Fragen selbst überzeugend zu beantworten.

Vorgaben konkretisieren rechtliche Anforderungen und spiegeln den Stand von Wissenschaft von Technik wider. Da sie eine einheitliche Vollzugspraxis erleichtern (ENSI 2021), können sie auch die Verwendung eines einheitlichen Rahmens und gleichwertiger Methoden (BASE/BfS 2020, S. 9), wie sie für die Berechnungsgrundlage angestrebt wird, unterstützen. Im Standortauswahlverfahren kann dies generell für die vSu zweckmäßig sein.



Abbildung 1: Einordnung von untergesetzlichen Vorgaben für vSu im Regelwerk (Borkel 2019)

Vorgaben lassen sich präskriptiv oder zielorientiert formulieren (Leveson 2011). Präskriptive Vorgaben enthalten Anforderungen an Prozesse, beispielsweise an das Vorgehen bei Sensitivitätsanalysen, und Anforderungen an Merkmale von Produkten, wie beispielsweise die Dokumentation zur Dosisberechnung. Zielorientierte Vorgaben zeigen auf, welche Eigenschaften Ergebnisse aufweisen sollen. Im Fall der Dosisberechnung könnte ein solches Ergebnis beispielsweise eine Synthese der Untersuchungen zu Ungewissheiten sein, die eine transparente und nachvollziehbare Beurteilung von Unsicherheiten und nicht-quantifizierbaren Ungewissheiten erlaubt. Die oben erwähnte Gefahr, die Flexibilität der Vorhabenträgerin einzuschränken und sie von Verantwortung zu entlasten, ist bei zielorientierten Vorgaben im Allgemeinen geringer als bei präskriptiv formulierten.

Mögliche Themen für Vorgaben zur Durchführung der vSu sind beispielsweise die Beschreibung der Endlagersysteme, die den Sicherheitsuntersuchungen zugrunde gelegt werden, der Umgang mit Entwicklungen des Endlagersystems und der Umgang mit Ungewissheiten. Da diese Themen untereinander vernetzt sind, müsste der Erstellung von Vorgaben ein Konzept für das entsprechende Regelungsgefüge und Querverweise zwischen den Vorgaben zugrunde liegen. Alle Vorgaben sollten einen ähnlichen Aufbau aufweisen und die gleiche Terminologie verwenden. Falls – zum Beispiel im Interesse einer zielorientierten Regelung – auf detaillierte Regelungen verzichtet wird, könnte das Regelungsgefüge auch in einer einzigen Vorgabe zu den vSu abgebildet werden. Hinweise zu einzelnen Regelungen ließen sich in einem erläuternden Bericht oder einem Anhang zur Vorgabe zusammenfassen.

2. Ziele

Berechnungsgrundlage

Aus dem Entwurf der Berechnungsgrundlage vom 31.7.2020 geht hervor, dass die Berechnungsgrundlage

- einen einheitlichen Rahmen für die Dosisabschätzung schaffen,
- Vorgaben für die Entwicklung der Methode der Dosisabschätzung machen,
- zu einer begründeten und nachvollziehbaren Dosisabschätzung führen,
- auf eine ähnliche Qualität der Dosisabschätzungen hinwirken,
- ein übergreifend organisiertes und systematisches Vorgehen bezwecken,
- zur Berücksichtigung der relevanten Faktoren und Prozesse sowie der sensitiven Parameter führen soll.

In Zusammenhang mit der Erstellung einer Strategie werden ebenfalls Ziele erwähnt (Kapitel 5 Ziffer 1):

- ein nachvollziehbares Vorgehen zu gewährleisten
- qualitativ ähnliche Ergebnisse für alle Untersuchungsräume hervorzubringen

Zudem enthält einer der Grundsätze (Kapitel 4.2 Ziffer 16) ein Ziel, das für die gesamte Berechnungsgrundlage Gültigkeit beanspruchen kann:

- Konsistenz von Informationen, Annahmen und Vorgehensweisen

Stand von Wissenschaft und Technik

Vorgaben, wie zum Beispiel Richtlinien, weisen häufig keine explizit formulierte Zielsetzung auf. Weil sie eine übergeordnete Regelung, beispielsweise ein Gesetz oder eine Verordnung, konkretisieren, stimmt ihre Zielsetzung mit derjenigen der übergeordneten Regelung überein.

Eine zentrale Zielsetzung aus übergeordneten Regelungen, die mit der Berechnungsgrundlage verfolgt wird, ist den Standort mit der bestmöglichen Sicherheit (§1 StandAG 2017) zu identifizieren. Diese übergeordnete Zielsetzung wird in der Berechnungsgrundlage mit spezifischeren Zielen konkretisiert. In der Einleitung der Berechnungsgrundlage wird denn auch auf das übergeordnete Ziel, den Standort mit der bestmöglichen Sicherheit zu finden, verwiesen (BASE/BfS 2020, S. 5).

Notwendige Voraussetzungen für die Suche nach dem Standort mit der bestmöglichen Sicherheit sind die Vergleichbarkeit und die ausreichende Qualität der weiterentwickelten und umfassenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen (vSu). Die Vergleichbarkeit wird mit «dem einheitlichen Rahmen sowie Vorgaben für die Entwicklung einer Methodik» (Kapitel 4.1 Ziffer 1), der «ähnlichen Qualität» (Kapitel 4.1 Ziffer 2) und den «qualitativ ähnlichen Ergebnissen für alle Untersuchungsräume» (Kapitel 5 Ziffer 1) in der Berechnungsgrundlage als Ziel angesprochen.

Die Qualität ist indirekt damit erfasst, dass sensitive Parameter sowie die relevanten Faktoren und Prozesse identifiziert und berücksichtigt werden sollen (Kapitel 4.1 Ziffer 2), dass die Dosisabschätzung begründet erfolgen muss (Kapitel 4.1 Ziffer 1) und dass ein übergreifend organisiertes und systematisches Vorgehen verlangt wird (Kapitel 4.1 Ziffer 2).

Wichtige Aspekte von Qualität sind das Bestreben, alle relevanten Aspekte umfassend abzudecken, auch wenn Vollständigkeit im strengen Sinn nicht erreichbar ist, Konsistenz, Korrektheit oder realistischer Plausibilität und Nachvollziehbarkeit (Baltes 2017, S. 7; NEA 2012, S. 31f). Nachvollziehbarkeit wird als Ziel in Kapitel 5 Ziffer 1 der Berechnungsgrundlage angesprochen. Um Korrektheit zu gewährleisten verweist die NEA unter anderem auf Instrumente wie «Bias-Audits» (NEA 2012, S. 31).

Ein partizipatives, wissenschaftsbasiertes, transparentes, selbst-hinterfragendes und lernendes Verfahren (§ 1 StandAG 2017) ist neben der Nachvollziehbarkeit auf Transparenz angewiesen. Nachvollziehbarkeit und Transparenz sind nicht nur wichtige Voraussetzungen, um Peer-Reviews von «nicht in die Projekte eingebundenen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern» (Endlager-Kommission 2016, S. 371) zu gewährleisten, sondern auch, um der interessierten Öffentlichkeit die Möglichkeit zu geben, den Standortauswahlprozess zu verfolgen, sich ggf. zu Wort zu melden und informiertes Vertrauen in die Arbeit von Vorhabenträgerin und Aufsicht aufzubauen.

Das in der Berechnungsgrundlage und internationalen Empfehlungen oft erwähnte «systematische Vorgehen» verhilft dazu, vergleichbare, umfassende, plausible, konsistente, nachvollziehbare und transparente Dosisabschätzungen durchzuführen und kann daher den Grundsätzen zugeordnet werden.

Anmerkungen zur Zielformulierung

Die übergeordnete Zielsetzung, den Standort mit der bestmöglichen Sicherheit zu finden, wird in der Berechnungsgrundlage mit spezifischeren Zielen konkretisiert. Diese Ziele vermitteln Orientierung bei der Formulierung und Anwendung der Berechnungsgrundlage. Daher unterstützt die Gutachterin den Ansatz, Ziele der Berechnungsgrundlage anzugeben.

Sie schlägt vor, Vergleichbarkeit, Konsistenz, Plausibilität, Nachvollziehbarkeit und Transparenz sowie das Bestreben nach einer umfassenden Dosisabschätzung explizit in die Zielsetzung der Berechnungsgrundlage aufzunehmen. Die Ziele könnten demnach beispielsweise wie folgt formuliert werden:

- (1) Die Berechnungsgrundlage schafft Voraussetzungen dafür, um in den weiterentwickelten und umfassenden vSu vergleichbare Dosisabschätzungen für alle Untersuchungsräume vorzunehmen.
- (2) Sie unterstützt die Durchführung umfassender, konsistenter und plausibler Dosisabschätzungen, indem sie Anforderungen an die Grundlagen und das Vorgehen zur Quantifizierung der möglichen Austragung von Radionukliden aus den eingelagerten radioaktiven Abfällen und deren Transport in der Geo- und in der Biosphäre stellt.
- (3) Sie fördert Nachvollziehbarkeit und Transparenz durch Anforderungen an ein organisiertes, systematisches Vorgehen und die Dokumentation von Grundlagen, Prozessen und Ergebnissen.

Ziele und Grundsätze beanspruchen Gültigkeit für das gesamte Dokument. Daher ist es nicht notwendig, in der Berechnungsgrundlage immer wieder explizit auf die Ziele und Grundsätze zurückzukommen. Gegenwärtig werden Nachvollziehbarkeit und Plausibilität in der Berechnungsgrundlage etwa zwanzigmal erwähnt, das Adjektiv «umfassend» fast ebenso häufig, Konsistenz oder Widerspruchsfreiheit an etwa zehn Stellen. Die Formulierung starker Ziele und Grundsätze kann daher auch einen Beitrag zur Verschlankung der Berechnungsgrundlage leisten.

Das Ziel, zu vergleichbaren, umfassenden, konsistenten, plausiblen, nachvollziehbaren und transparenten Einschätzungen zu gelangen, kann nicht nur für die Dosisabschätzung, sondern generell für die vSu Gültigkeit beanspruchen. Falls neben der Berechnungsgrundlage für die Dosisabschätzung weitere Vorgaben für die vSu formuliert werden, ist darauf zu achten, dass die Ziele dieser Vorgaben aufeinander abgestimmt und untereinander konsistent formuliert sind.

3. Grundsätze

Berechnungsgrundlage

Inhaltlich lassen sich bei den in Kapitel 4.2 der Entwurfsfassung der Berechnungsgrundlage enthaltenen Grundsätzen mehrere Themenschwerpunkte unterscheiden:

Stellenwert der Dosisabschätzung

- Die abgeschätzte Dosis ist als Indikator für die Sicherheit zu verstehen (Kapitel 4.2 Ziffer 8).
- Die belebte Umwelt soll dadurch als hinreichend geschützt betrachtet werden, dass nur geringfügige zusätzliche Strahlenexpositionen des Menschen zulässig sind (Kapitel 4.2 Ziffer 4).

Radionuklidinventar und -zerfall

- Für alle Untersuchungsräume ist das gleiche Radionuklidinventar zu verwenden (Kapitel 4.2 Ziffer 19).

Anmerkung: Die beschriebenen Ausnahmen und die Art und Weise, wie mit dem Inventar bei der Dosisabschätzung umgegangen werden soll, sind nicht mehr Teil des Grundsatzes, sondern Ausführungen dazu und könnten in einem nachfolgenden Kapitel der Berechnungsgrundlage behandelt werden.

- Der radioaktive Zerfall und die Bildung von Tochternukliden müssen berücksichtigt werden (Kapitel 4.2 Ziffer 9).

Anmerkung: Für genauere Ausführungen wird auf Kapitel 9 verwiesen. Dort könnte auch der Nachsatz «Bei Zerfallsreihen darf die Verringerung der Aktivität langlebiger Radionuklide während kurz andauernder Transportprozesse vernachlässigt werden, sofern dem Aufbau von Tochternukliden Rechnung getragen wird.» eingefügt werden.

Modellierung

- Mit der Geosphärenmodellierung wird die Mobilisierung der Radionuklide aus den Abfällen und ihr Transport bis in die Biosphäre berechnet (Kapitel 4.2, Ziffer 2). Geosphärenmodelle müssen die physikalischen und chemischen sowie auch biologischen Gesetzmäßigkeiten und Prozesse berücksichtigen (Kapitel 4.2 Ziffer 11).

Anmerkung: Der Zweck der Geosphärenmodellierung ist nicht unbedingt als Grundsatz zu verstehen, sondern könnte einleitend in Kapitel 10 aufgenommen werden, ebenso wie Ziffer 11, die eine Vorschrift zur Modellierung der Geosphäre darstellt.

- Mit der Biosphärenmodellierung wird anhand der Radionuklidausträge aus der Geosphärenmodellierung die zusätzliche effektive Dosis für Einzelpersonen in der Bevölkerung abgeschätzt (Kapitel 4.2 Ziffer 3). Biosphärenmodelle müssen sowohl auf wissenschaftlichen Grundlagen als auch auf Konventionen beruhen (Kapitel 4.2, Ziffer 12).

Anmerkungen: Diese Passagen lassen sich analog zu den beiden bereits erwähnten Grundsätzen zur Geosphärenmodellierung ggf. in Kapitel 12 übertragen.

- Die Modellierung des Radionuklidtransports darf insgesamt keine Unstetigkeiten und Lücken aufweisen (Kapitel 4.2 Ziffer 5).

Anmerkung: Auch hier handelt es sich nicht zwangsläufig um einen Grundsatz. Als Vorschrift passt diese Formulierung inhaltlich zu Kapitel 11.

Verwendung von Annahmen und Konventionen

- Realitätsnahe Annahmen sollen dazu beitragen, dass Untersuchungsräume nicht ungerechtfertigt frühzeitig ausscheiden (Kapitel 4.2 Ziffer 13).
- Falls keine belastbaren Aussagen zu Prozessen und Endlagerkomponenten möglich sind, dürfen plausible Annahmen getroffen werden (Kapitel 4.2 Ziffer 15).
- Stilisierte Modelle und Parameter dürfen einheitlich angewendet werden, wenn dies keine signifikanten Auswirkungen auf die Dosisabschätzung erwarten lässt (Kapitel 4.2 Ziffer 14).
- Bei der Biosphärenmodellierung können Konventionen und stilisierten Annahmen zur Anwendung kommen (Kapitel 4.2 Ziffer 12). Unter gewissen Bedingungen dürfen auch abdeckende Annahmen getroffen werden (Kapitel 4.2 Ziffer 13).

Umgang mit Ungewissheiten

- Einschränkungen aufgrund eines mangelnden Kenntnisstands müssen transparent gemacht und deren Auswirkungen abgeschätzt werden (Kapitel 4.2 Ziffer 18).

Anmerkung: Offen bleibt, ob und ggf. wie realitätsnahe Annahmen (Kapitel 4.2 Ziffer 13) in Fällen getroffen werden sollen, wo der Kenntnisstand noch lückenhaft oder nicht gefestigt ist.

Konsistenz

- Im Rahmen der Dosisabschätzung verwendete Informationen, Annahmen und Vorgehensweisen müssen untereinander sowie auch in Bezug auf alle anderen Analysen und Betrachtungen innerhalb der jeweiligen vSu konsistent sein. (Kapitel 4.2 Ziffer 16).

Anmerkung: Hier wird explizit ein Bezug zu anderen Elementen der vSu außerhalb der Dosisabschätzung hergestellt. Wenn Konsistenz bereits als Ziel formuliert worden ist, erübrigt sich dieser Grundsatz weitgehend.

Prozessgestaltung und Organisation

- Dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik ist zu folgen, der dann auch fortzuschreiben ist (Kapitel 4.2 Ziffer 17)
- Die Dosisabschätzung muss übergeordnet und systematisch geplant werden (Kapitel 4.2 Ziffer 6).
Anmerkung: Dieser Grundsatz wird in Kapitel 5 konkretisiert.
- Es sind qualitätssichernde Maßnahmen zu ergreifen und im Managementsystem des Vorhabenträgers festzuhalten (Kapitel 4.2 Ziffer 7).

Anmerkung: Diese Vorschrift erübrigt sich, falls der Umgang mit menschlichen Einflüssen in den vSu in einer eigenen Vorgabe geregelt wird, auf die die Berechnungsgrundlage verweisen kann (vgl. «Anmerkungen zu Ungewissheiten»)

Dokumentation

- Die Dokumentation unterstützt die Nachvollziehbarkeit der Dosisabschätzung (Kapitel 4.2 Ziffer 21).
Anmerkung: Bei der Umsetzung der Ziele «Nachvollziehbarkeit» und «Transparenz» kommt der Dokumentation eine wichtige Funktion zu. Die Anforderungen an die Dokumentation rechtfertigen da-

her ggf. ein eigenes Kapitel der Berechnungsgrundlage. In dieses Kapitel könnten auch die spezifischeren Anforderungen an die Dokumentation übernommen werden, die derzeit im Grundsatz enthalten sind.

- Bezüglich der verwendeten Begrifflichkeiten ist Konsistenz anzustreben (Kapitel 4.2 Ziffer 16).
Anmerkung: Diese berechnungsbegleitende Vorgabe, die das Ziel einer konsistenten Dosisabschätzung konkretisiert, ist in der Berechnungsgrundlage selbst noch nicht vollständig umgesetzt.

Grundsatz (1) hält fest, wer die Berechnungsgrundlage anzuwenden hat, und Grundsatz (20) zeigt auf, wann es zulässig ist, von den Vorgaben der Berechnungsgrundlage abzuweichen. Wenn die Rechtsform der Beurteilungsgrundlage feststeht, wird auf diese beiden Grundsätze noch einmal zurückzukommen sein, um zu prüfen, inwieweit sie mit dieser Rechtsform kompatibel sind. Aus Sicht der Gutachterin sind (1) und (20) keine Grundsätze im Sinn von Regeln, an denen sich die Berechnungsgrundlage ausrichtet. Sie könnten daher künftig in Kapitel 2 Anwendungsbereich, aufgeführt werden.

In einigen Grundsätzen werden weniger Regeln vorgegeben als Inhalte der Berechnungsgrundlage beschrieben. Das gilt beispielsweise für Grundsatz (10): Da Geo- und Biosphäre unterschiedliche Eigenschaften aufweisen, gelten für deren Modellierung jeweils spezifische Vorgaben in der Berechnungsgrundlage (Kapitel 4.2, Ziffer 10). Dieser Grundsatz könnte ähnlich wie Erläuterungen in den Grundsätzen (11), (12) und (13) in die Kapitel 10 bis 12 übernommen werden.

Stand von Wissenschaft und Technik

Grundsätze sind Regeln, an denen sich die Berechnungsgrundlage ausrichtet, oder sie bezeichnen Rahmenbedingungen, in die sich die Berechnungsgrundlage einfügt. Im Allgemeinen sind Grundsätze eher präskriptiv als deskriptiv formuliert.

Für Vorgaben wie Richtlinien oder Strategien wird meistens eine überschaubare Zahl von Grundsätzen angestrebt. Die Grundsätze sollten Orientierung vermitteln und daher kurz und prägnant formuliert sein. Ggf. können sie durch Erläuterungen konkretisiert werden (vgl. zum Beispiel IAEA 2006).

Die Entwurfsfassung der Berechnungsgrundlage enthält mit 21 Grundsätzen eine ungewöhnlich große Zahl an Grundsätzen. Bei einigen Grundsätzen wird bereits genauer ausgeführt, wie und wo die Grundsätze bei der Dosisabschätzung umzusetzen sind. Der Umfang der Grundsätze reicht daher von einem Satz bis zu mehr als zehn Sätzen. Präskriptive und deskriptive Elemente wechseln sich ab.

Die IAEA gibt für Sicherheitsuntersuchungen (safety cases) Anforderungen (requirements) vor, aus denen sich ggf. Grundsätze für die Berechnungsgrundlage herleiten lassen (IAEA 2012, S. 9f.), die die bisher erwähnten Grundsätze ergänzen. Dazu zählen:

- Ein ausreichender Detaillierungsgrad der Berechnungen, um die Beurteilung durch die Aufsichtsbehörde und informierte Entscheidungen zum weiteren Vorgehen zu ermöglichen
- Die Anwendung eines gestuften Vorgehens (graded approach), um den Veränderungen im Kenntnisstand zwischen den weiterentwickelten und den umfassenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen Rechnung zu tragen. In Kapitel 4.2 Ziffer 18 ist dazu erwähnt: « Aus dem unterschiedlichen Informationsstand in den beiden Phasen resultieren jedoch unterschiedliche Erwartungshaltungen an die fachliche Tiefe der Dosisabschätzungen.»

- Die Verwendung unterschiedlicher methodischer Ansätze, um das Vertrauen in die Ergebnisse der Dosisabschätzung zu verbessern (IAEA 2012, S. 46), zum Beispiel deterministischer und probabilistischer Ansätze. Dieser Grundsatz wird in der Berechnungsgrundlage beim Umgang mit Ungewissheiten umgesetzt (Kapitel 8.4 Ziffer 5 und 6).

Unter den Grundsätzen nicht erwähnt ist, dass die Dosisabschätzung von einem systematischen und strukturierten Vorgehen geleitet werden soll, um vergleichbar, umfassend, konsistent, plausibel, nachvollziehbar und transparent gestaltet zu werden. Dass ein systematisches und bzw. oder strukturiertes Vorgehen in der Berechnungsgrundlage und bei den Zielen (Kapitel 4.2 Ziffer 2) erwähnt wird, spricht aber dafür, dass es sich hier um einen Grundsatz der Berechnungsgrundlage handelt.

Anmerkungen zu den Grundsätzen

In den Grundsätzen werden zwei wichtige Themen angesprochen, die aus Sicht der Gutachterin nahelegen, sie in der Berechnungsgrundlage anders zu positionieren:

- Die Information dazu, welcher Stellenwert den Ergebnissen der Dosisabschätzung (Kapitel 4.2 Ziffern 8 und 4) zukommt, ist so wesentlich, dass sie prominent zu Beginn der Berechnungsgrundlage platziert werden sollte.
- Die Dokumentation der Dosisabschätzung rechtfertigt ein eigenes Kapitel oder ggf. den Verweis auf eine allgemeinere Vorgabe zur Dokumentation der vSu.

Die Grundsätze in Kapitel 4.2, die eher Vorschriften darstellen, sollten in die entsprechenden folgenden Kapitel der Berechnungsgrundlage oder in spezifische gekennzeichnete Erläuterungen zu den Grundsätzen übernommen werden.

Damit verbleiben aufgrund der Entwurfsfassung der Berechnungsgrundlage und den Ausführungen unter «Stand von Wissenschaft und Technik» neun Grundsätze, die ggf. in der endgültigen Fassung der Berechnungsgrundlage mit nachgelagerten Erläuterungen versehen und präzisiert werden können:

- (1) Die Dosisabschätzung folgt einem systematischen und strukturierten Vorgehen.
- (2) Sie erfolgt auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik, den sie weiter fortschreiben kann.
- (3) Die Dosisabschätzung wird dem Kenntnisstand, der den weiterentwickelten bzw. den umfassenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen zugrunde liegt, angepasst.
- (4) Sie gewährleistet, dass Untersuchungsräume nicht ungerechtfertigt frühzeitig aus dem Standortauswahlverfahren ausscheiden.
- (5) Für alle Untersuchungsräume wird das gleiche Radionuklidinventar verwendet, der radioaktive Zerfall und die Bildung von Tochternukliden werden berücksichtigt.
- (6) Die Geosphären- und Biosphärenmodellierung berücksichtigen alle relevanten wissenschaftlichen Grundlagen und erlauben es, den Radionuklidtransport lückenlos zu verfolgen.
- (7) Falls keine belastbaren Aussagen zu Prozessen und Endlagerkomponenten möglich sind, dürfen plausible Annahmen getroffen werden. Bei der Biosphärenmodellierung dürfen in gut begründeten Fällen Konventionen und stilisierte oder abdeckende Annahmen zur Anwendung kommen.

(8) Ungewissheiten werden umfassend identifiziert, ihre Auswirkungen abgeschätzt und transparent gemacht.

(9) Bei der Dosisabschätzung wird Diversität und Komplementarität der verwendeten Methoden angestrebt.

Die meisten der zuvor aufgeführten Grundsätze eignen sich sinngemäß auch für eine Vorgabe, die nicht nur die Dosisabschätzung, sondern die gesamten vSu betrifft.

4. Strategie für die Dosisabschätzung

Berechnungsgrundlage

Kapitel 5 der Berechnungsgrundlage regelt die Erstellung einer Strategie für die Dosisabschätzung.

Unter Ziffer 1 werden Ziele aufgeführt, die mit der Strategie erreicht werden sollen. Ziel a. deckt sich mit den allgemeinen Zielen aus Kapitel 4 der Berechnungsgrundlage. Das wird noch deutlicher, wenn die Empfehlung zur Zielformulierung aus dem vorliegenden Gutachten übernommen werden sollten. Ziel b. beschreibt die grundlegenden Anforderungen an die Strategie.

Ziffer 2 enthält die Anforderung, eine Strategie für alle Dosisabschätzungen zu entwickeln, lässt unter bestimmten Voraussetzungen aber auch mehrere Strategien zu. Alternativ könnte ggf. auch die Formulierung einer einzigen Strategie gefordert werden, die unter bestimmten Voraussetzungen eine Untergliederung in Teilstrategien zulässt.

Ziffer 3 umfasst «Prinzipien, Schlüsselemente und Inhalte einer Strategie». Hier werden Elemente der Dosisabschätzung angesprochen, die in der Strategie adressiert werden sollen. Noch nicht ganz klar ist die Abgrenzung zwischen den erwähnten «Prinzipien» und den «Grundsätzen» aus Kapitel 2 der Berechnungsgrundlage. Während im Deutschen Prinzipien und Grundsätze oft synonym gebraucht werden, wird in Dokumenten internationaler Organisationen wie der IAEA oder der NEA im Allgemeinen von «principles» gesprochen, wenn Grundsätze gemeint sind. Gemäß Ziffer 1 soll mit der Strategie eine Struktur geschaffen werden, «welche die unterschiedlichen Komponenten (insbesondere Modelle und beeinflussende Erkenntnisse aus anderen Schritten der jeweiligen vSu), ihre Beziehungen untereinander sowie die grundlegenden Prinzipien, welche die Ausgestaltung beeinflussen, beschreibt». Die unter a. bis k. aufgeführten Anforderungen werden dann in dieser Struktur entweder direkt als Strukturelemente abgebildet oder auch an anderer Stelle im Strategiedokument behandelt.

In Kapitel 8.2 Ziffer 2 werden spezifische Anforderungen an die Strategie formuliert, die den Umgang mit Ungewissheiten betreffen. Diese Anforderungen könnten ggf. in Kapitel 5 übernommen oder zumindest in Kapitel 5 Ziffer 3 i ein Querverweis angebracht werden, damit alle regulatorischen Aspekte, die die Strategie betreffen, aus Kapitel 3 ersichtlich sind.

Stand von Wissenschaft und Technik

Eine Strategie für sicherheitsrelevante Abschätzungen zu erstellen, entspricht dem Stand von Wissenschaft und Technik für Sicherheitsuntersuchungen zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle.

Im Kontext internationaler Vorgaben und Dokumente handelt es sich bei der geforderten Strategie am ehesten um eine «assessment strategy» (vgl. IGSC 2020, NEA 2012): « The assessment strategy ensures that events and processes relevant to safety are identified and guides how their consequences will be quantified. The assessment strategy involves the definition of conceptual models and mathematical approaches to be used to evaluate them, and is an integral part of the assessment basis » (NEA 2012, S. 22).

Die in der Berechnungsgrundlage geforderte Struktur wird international häufig als Flussdiagramm dargestellt, das sehr umfassend ausfallen kann (NEA 2012, S. 27f). Elemente aus Flussdiagrammen für Sicherheitsuntersuchungen von Entsorgungsprojekten für radioaktive Abfälle (NEA 2012, S.28f. und S.85f.), die sich auch spezifisch für die Dosisabschätzungen eignen, sind

- der Kontext der Abschätzung
 - die Rahmenbedingungen, insbesondere die rechtlichen Vorgaben und Anforderungen, sowie die getroffenen Annahmen
 - Grundsätze, die bei der Abschätzung zu beachten sind
Anmerkung: vgl. Kapitel 4.2 der Berechnungsgrundlage, evtl. erweitert und um methodisch ausgerichtete Inhalte gemäß Kapitel 5 Ziffer 3 ergänzt
 - Erkenntnisse aus anderen Schritten der jeweiligen vSu (Kapitel 5 Ziffer 1 b)
- die Grundlagen der Abschätzung
 - die Beschreibung des Untersuchungsgegenstands
Anmerkung: Die EndlSiUntV führt wesentliche Grundlagen für die Dosisabschätzungen auf. Es handelt sich dabei um das vorläufige Sicherheitskonzept (EndlSiUntV §3(4)), die vorläufige Endlagerauslegung (EndlSiUntV §6) und die Geosynthese (EndlSiUntV §5).
 - Methoden, Modelle und Datengrundlagen (Kapitel 5 Ziffer 3a)
- die Durchführung der Abschätzung
 - die Synthese des Systemverständnisses (Kapitel 5 Ziffer 3c; NEA 2012, S. 99)
 - der Umgang mit potentiellen Entwicklungen des Endlagers (vgl. Kapitel 7)
 - der Umgang mit Ungewissheiten (vgl. Kapitel 5 Ziffer 3i, Kapitel 8)
 - die Verbindung von quantitativen und verbal-argumentativen Ergebnissen (Kapitel 5 Ziffer 3f; NEA 2012, S. 99)
 - die Überprüfung der Abschätzung und mögliche Iterationen
- die Bewertung der Ergebnisse

Anmerkung zur Strategie

Die Gutachterin regt an, darauf zu verzichten in Kapitel 5 erneut Ziele zu formulieren und stattdessen mit Ziffer (1) in die Thematik einzuführen. Da der Begriff «Prinzip» weitgehend synonym zu «Grundsatz» verwendet wird und um eine klare Abgrenzung zu den Grundsätzen aus Kapitel 2 der Berechnungsgrundlage vorzunehmen, wird vorgeschlagen «Prinzipien» durch «methodische Ansätze» zu ersetzen.

Im Interesse der Vergleichbarkeit der Ergebnisse kann erwogen werden, in jedem Fall eine gemeinsame Strategie für alle Dosisabschätzungen zu fordern und ggf. eine Untergliederung in Teilstrategien zuzulassen. Die Untergliederung betreffe dann zum Beispiel die Beschreibung des Untersuchungsgegenstands, während die Rahmenbedingungen und Grundsätze für die gesamte Strategie dieselben sind.

Mit Bezug auf die spezifischen in Kapitel 5 Ziffer 3 aufgeführten Inhalte wird angeregt, zu prüfen, inwiefern einige dieser Inhalte an anderer Stelle in die Berechnungsgrundlage aufgenommen werden sollen. Stattdessen ließen sich dann unter Ziffer 3 die wesentlichen Elemente aufführen, die die Strategie beinhalten soll.

Kapitel 5 könnte damit beispielsweise wie folgt formuliert werden:

(1) Initial ist eine Strategie zur Durchführung der Dosisabschätzung zu entwickeln und darzulegen. In Phase 3 des Standortauswahlverfahrens ist die Strategie fortzuführen und gegebenenfalls zu korrigieren.

(2) Mit der Strategie ist eine Struktur zu schaffen, welche die unterschiedlichen Komponenten, ihre Beziehungen untereinander sowie die grundlegenden methodischen Ansätze, welche die Ausgestaltung der Dosisabschätzung beeinflussen, beschreibt. Die Strategie soll den Kontext der Dosisabschätzung, die Grundlagen, die Durchführung und die Bewertung der Dosisabschätzung umfassen. Mit der Strategie ist deren Bezug zur Gesamtstrategie der vSu und anderen Elementen der vSu darzulegen.

(3) Es ist eine Strategie zu entwickeln, die in allen vSu der jeweiligen Phase angewendet wird. Ggf. ist eine Untergliederung in Teilstrategien für Untersuchungsräumen mit ähnlichen Charakteristika oder ähnlichen Sicherheitskonzepten zulässig. In diesem Fall ist explizit darzustellen, wie erreicht werden soll, dass in allen Fällen Dosisabschätzungen mit ähnlicher Qualität vorgenommen werden können und somit eine ähnliche Aussagekraft der Ergebnisse zu erwarten ist.

In den weiterentwickelten und den umfassenden vSu nimmt die Einschätzung der zusätzlichen jährlichen effektiven Dosis für Einzelpersonen als integraler und quantifizierbarer Sicherheitsindikator eine wesentliche Rolle ein. Da die Dosisabschätzung Teil der weiterentwickelten und umfassenden vSu ist, liegt es nahe, auch die Strategie für die Dosisabschätzung als Teil einer übergeordneten auf den EndlSiAnfV und EndlSiUntV basierenden Strategie für die gesamten vSu einzuordnen.

5. Potentielle Entwicklungen des Endlagers

Berechnungsgrundlage

Die Berechnungsgrundlage verweist, was die Entwicklungen des Endlagers betrifft, auf die Methodik der Szenarientwicklung (Kapitel 7 Ziffer 1). Sinngemäß wird für die Szenarientwicklung ein top down-Ansatz («unter systematischer Betrachtung der Sicherheitsfunktionen und im Abgleich mit einem FEP-Katalog») gefordert (Kapitel 7 Ziffer 3), und es werden Verknüpfungen mit der Modellierung angesprochen (Kapitel 7 Ziffer 4). Zwischen der Dosisabschätzung und anderen Elementen der vSu muss insbesondere bei der Szenarientwicklung ein Bezug hergestellt werden (Kapitel 7 Ziffer 2).

Stellvertretend für eine Szenariengruppe ist bei der Dosisabschätzung nur jeweils eine Entwicklung zu betrachten (Kapitel 7 Ziffer 5). Diese Bestimmung lehnt sich an die Empfehlung der IAEA an, Untersuchungsfälle (assessment cases) zu definieren, die eine Spannbreite möglicher Entwicklungen repräsentieren oder begrenzen (IAEA 2012, S. 52). In den Begriffsbestimmungen ist die Szenariengruppe als «Aggregation potentieller Entwicklungen zum Zweck der Reduktion der zu betrachtenden Rechenfälle» definiert (Kapitel 3 Ziffer 4).

Auf explizit numerische Dosisabschätzungen für eine Entwicklung kann verzichtet werden, falls plausibel begründet wird, dass die entsprechende Entwicklung nicht relevant für das Ergebnis der Dosisabschätzung ist (Kapitel 7 Ziffer 6).

Stand von Wissenschaft und Technik

In der EndlSiAnfV werden die international gebräuchlichen Begriffe «Szenarium» oder «Szenario» nicht verwendet. Stattdessen wird von «Entwicklungen» gesprochen. §3 EndlSiAnfV zufolge sind darunter klimatische und geologische Entwicklungen sowie Entwicklungen des Endlagersystems zu verstehen.

Die IAEA bezeichnet mögliche Entwicklungen des Endlagersystems und seines Umfelds (environment) als Szenarien (IAEA 2012, S. 30). Bei der Szenarienentwicklung sollen alle Merkmale, Ereignisse und Abläufe berücksichtigt werden, die die Aufgabenerfüllung des Endlagersystems maßgeblich beeinflussen können (IAEA 2012, S. 54). Zu solchen Merkmalen, Ereignissen und Einflüssen werden dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik folgend auch künftige menschliche Aktivitäten gezählt (NEA 2019). Menschliche Aktivitäten können sich unter anderem auf klimatische und geologische Entwicklungen auswirken, zum Beispiel in Form der anthropogenen globalen Erwärmung oder induzierter Seismizität.

Die Definition von «Szenarium» in der Berechnungsgrundlage entspricht dem Gebrauch des Begriffs «Entwicklung» in der EndlSiAnfV (Kapitel 3 Ziffer 2). Die Begriffsbestimmungen zur Berechnungsgrundlage und der Gebrauch der Begriffe in Kapitel 7 legen nahe, dass «Entwicklungen» und «Szenarien» weitgehend synonym verwendet werden können. Das würde ggf. nur dann nicht gelten, falls die Entwicklungen nicht mit der Methode der Szenarienentwicklung untersucht werden sollten (Kapitel 7 Ziffer 1). Auch die Entsorgungskommission verwendet die Begriffe «Entwicklungen» und «Szenarien» synonym (ESK 2021, S. 9).

Szenarien sind Beschreibungen möglicher Entwicklungen des Endlagersystems (IAEA 2012, S. 52) und als solche nicht nur für die Dosisabschätzungen relevant. Die Wahl der Szenarien beeinflusst die Ergebnisse von Sicherheitsuntersuchungen wesentlich (IAEA 2012, S. 53) und muss daher gut begründet werden (IAEA 2012, S. 45).

International wird angestrebt, die Szenarienentwicklung in Sicherheitsuntersuchungen systematisch, strukturiert, transparent und nachvollziehbar zu gestalten. Ein verbreitetes Instrument für die Szenarienentwicklung stellen FEP-Kataloge dar (vgl. zum Beispiel NEA 2019). FEP-Kataloge sind systematisch strukturierte Verzeichnisse der Merkmale, Ereignisse und Abläufe (features, events and processes, FEPs) in einem Endlagersystem. Beim top down-Ansatz der Szenarienentwicklung wird untersucht, wie die Sicherheitsfunktionen des Endlagersystems durch FEP beeinflusst werden (IAEA 2012, S. 54). Beim bottom up-Ansatz werden FEP kombiniert, die Auswirkungen auf die Sicherheit des Endlagersystems haben können und eine Eintrittswahrscheinlichkeit aufweisen, die nicht sehr gering ist. Bei der Entwicklung der Szenarien ist besonders auf Wechselwirkungen zwischen den einzelnen FEP zu achten (IAEA 2012, S. 53).

Die Einordnung von Szenarien als erwartet oder abweichend muss gut begründet und nachvollziehbar dokumentiert sein (IAEA 2012, S. 54). Durch die Gruppierung von Szenarien oder die Ausdifferenzierung

eines übergeordneten Szenariums in mehrere, voneinander leicht abweichende Szenarien wird die Eintrittswahrscheinlichkeit und damit ggf. auch die Einordnung als zu erwartend oder abweichend verändert. Der Ermessensspielraum, über den Vorhabenträgerin und Aufsichtsbehörde bei der Einordnung verfügen, kann zu Kontroversen führen, insbesondere da für zu erwartende Entwicklungen höhere zusätzliche Dosen zulässig sind als für abweichende.

Die Entsorgungskommission verweist in einem Diskussionspapier auf den Bezug zwischen Szenarientwicklung und Robustheit des Endlagersystems (ESK 2021, S. 8) und stellt die Frage, wie ein gutes Abschneiden im Referenzszenarium zusammen mit einer beschränkten Robustheit bewertet werden soll (ESK 2021, S. 15).

Die Entwicklungen des Endlagers sind also von wesentlicher Bedeutung für die vSu als Ganze. Zur Ableitung, zur Einordnung, zur Verwendung und zur Beurteilung von Entwicklungen des Endlagers stellen sich noch grundlegende Fragen, die vor Beginn der vSu beantwortet werden sollten.

Nationale und internationale Dokumente zur Szenarientwicklung legen mögliche Themen für spezifischere Vorgaben zu den potentiellen Entwicklungen des Endlagers nahe (ESK 2021, GRS 2016, IAEA 2012):

- Darlegung von Grundlagen, Randbedingungen und Annahmen der Szenarientwicklung
- Verwendung von top down- und bottom up-Ansätzen der Szenarientwicklung
- Sicherheitsfunktionen, die der Szenarientwicklung zugrunde gelegt werden
- Einordnung von Szenarien als zu erwartend oder abweichend
- Bezug zur Begründung der Robustheit des Endlagersystems
- FEP-Katalog oder FEP-Kataloge, die zur Szenarientwicklung verwendet werden
- Umgang mit Verknüpfungen zwischen FEPs
- Vorgehen beim Einbezug von Expertenmeinungen und -einschätzungen
- Umgang mit unterschiedlicher Qualität und Tiefe standortspezifischer Daten
- Spezifische Aspekte des Umgangs mit Ungewissheiten, die die Szenarientwicklung betreffen
- Sensitivität der Dosisberechnung gegenüber Abweichungen in den Szenarien

Anmerkungen zu den Entwicklungen

Die Gutachterin beurteilt es als sinnvoll, den Umgang mit potentiellen Entwicklungen des Endlagers in dafür einer eigenen Vorgabe zu regeln, die nicht nur für die Dosisabschätzung, sondern für die gesamten vSu gilt. In dieser Vorgabe sollten Aspekte der Ableitung, Einordnung, Verwendung und Beurteilung von Entwicklungen des Endlagers angesprochen werden, die für die vSu wesentlich sind. Wichtige Themen einer Vorgabe zum Umgang mit potentiellen Entwicklungen in den vSu wären:

- (1) Grundlagen und Methodik der Szenarientwicklung
- (2) Zulässigkeit von Annahmen, Umgang mit unterschiedlichen Datenlagen zu Standorten
- (3) Einordnung von Szenarien als zu erwartend oder abweichend
- (4) Bezug zur Begründung der Robustheit des Endlagersystems

In der Vorgabe sollte auch das Verhältnis der Begriffe «Entwicklungen» und «Szenarien» geklärt werden, insbesondere in Bezug auf geologische und klimatische Veränderungen, die durch menschliche Aktivitäten verursacht sind.

Die Vorgabe zu den Entwicklungen des Endlagers könnte sich gemeinsam mit der Berechnungsgrundlage zur Dosisabschätzung in ein Regelungsgefüge eingliedern, das weitere für die vSu grundsätzliche Themen wie die Beschreibung der Endlagersysteme, die den Sicherheitsuntersuchungen zugrunde gelegt werden, umfasst.

6. Umgang mit Ungewissheiten

Berechnungsgrundlage

Der Umgang mit Ungewissheiten ist für die vSu besonders relevant, da noch viele spezifische Standortdaten fehlen und auch das Sicherheits- und Endlagerkonzept bzw. die Sicherheits- und Endlagerkonzepte noch nicht im Detail ausgearbeitet sind. Entsprechend ist dem Umgang mit Ungewissheiten in der Entwurfsfassung der Berechnungsgrundlage eines der umfangreicheren Kapitel gewidmet.

Auf eine Einführung (Kapitel 8.1) folgen übergeordnete (Kapitel 8.2) und spezifische (Kapitel 8.3) Vorgaben, die um Ausführungen zur Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse (Kapitel 8.4) und zu Besonderheiten der Biosphärenmodellierung (Kapitel 8.5) ergänzt werden.

Die gut nachvollziehbare Strukturierung des Kapitels zum Umgang mit Ungewissheiten wird in einzelnen Fällen noch durchbrochen. Nach Ansicht der Gutachterin ist dies beispielsweise bei Kapitel 8.1 Ziffer 3 der Fall, die anders als Ziffer 1 und 2 bereits eine konkrete Vorgabe enthält und daher eher Kapitel 8.2 zuzuordnen wäre.

In Kapitel «8.1 Allgemeines» wird Bezug auf die EndlSiUntV genommen. Reduzierbare und nicht-reduzierbare Ungewissheiten sind zu identifizieren und darzulegen, wie die Zuverlässigkeit der Dosisabschätzung durch eine weitere Verminderung der Ungewissheiten erhöht werden kann. Die folgenden Kapitel enthalten Hinweise darauf, wie die unter Ziffer 1 erwähnte «Bewertung der Ungewissheiten» vorzunehmen ist. Ziffer 3 könnte ggf. auf einen Untersuchungs- und Forschungsplan verweisen, der die vSu begleitet, um reduzierbare epistemische Ungewissheiten zu vermindern. Die Zuordnung von Fehlern zu den Ungewissheiten steht nicht im Einklang mit den Begriffsbestimmungen zur Berechnungsgrundlage. Ungewissheiten und Fehler in der Berechnungsgrundlage getrennt zu behandeln wäre auch insofern sinnvoll, als mit Fehlern anders als mit Ungewissheiten umgegangen werden muss.

Kapitel «8.2 Übergeordnete Vorgaben» enthält Anforderungen an die Einbindung von Ungewissheiten in die Untersuchungs-Strategie und für den grundlegenden Umgang mit Ungewissheiten bei der Modellierung. In der Strategie sollen insbesondere einheitliche Bewertungsmaßstäbe für die Aussagekraft der Daten und Modelle festgelegt werden. Hier besteht, wie bereits erwähnt, ein Bezug zu Kapitel 5. In Ziffer 4 ist festgehalten, dass «bei der Durchführung von Dosisabschätzungen im Rahmen der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen keine Unterschiede im Umgang mit Ungewissheiten für verschiedene Endlagersysteme und Untersuchungsräume bestehen». Die Gutachterin interpretiert diese Aussage so, dass die Vorgaben der Berechnungsgrundlage zum Umgang mit Ungewissheiten auf alle Endlagersysteme und Untersuchungsräume gleichermaßen anzuwenden sind.

Kapitel «8.3 Spezifische Vorgaben» enthält Anforderungen an die Bewertung der Qualität von Informationsquellen, Daten, Experteneinschätzungen und Modellen. In Kapitel 8.3.1 wird die wichtige Anforderung gestellt, die Qualität von Informationsquellen zu bewerten und zu dokumentieren. Offen bleibt, wie mit Informationen umgegangen werden soll, deren Qualität als (noch) nicht ausreichend bewertet wird. Ebenso wie in Kapitel 8.1 könnte hier ggf. ein Bezug zu einem Untersuchungs- und Forschungsplan hergestellt werden. In Kapitel 8.3.1 wird auf «die zur Abschätzung der Dosis herangezogenen Informationen gemäß Kapitel 8.2» verwiesen, wobei nicht ohne Weiteres klar ist, welche Informationen aus Kapitel 8.2 damit gemeint sind. Auch der Begriff «Informationsquellen» wird zwar im Hinweis mit Beispielen erläutert, bleibt aber unscharf.

Kapitel 8.3.2 bezieht sich dem Titel des Kapitels zufolge auf Daten und Modelle, Ziffer 2 aber auch auf Informationen. Bei den Modellen wird spezifisch die Komplexität adressiert, sonst aber nicht weiter auf das weite Feld der Modellungswissheiten eingegangen. Informationen und Ungewissheiten gemäß ihrem Grad an subjektiver Einschätzung einzuordnen, dürfte sich in der Realität als anspruchsvoll und ebenfalls nur schwer objektivierbar erweisen. Fehler sind eines der Themen in Kapitel 8.3.3, dessen Zuordnung zu den Ungewissheiten wie bereits angesprochen, diskutabel ist. Die wiederkehrende Forderung, Ungewissheiten auszuweisen und bei der Dosisabschätzung zu berücksichtigen könnte ggf. durch eine übergeordnete Vorgabe in Kapitel 8.2 ersetzt werden, wonach Ungewissheiten generell zu identifizieren, auszuweisen, einzuschätzen und bei der Dosisabschätzung zu berücksichtigen sind. In Kapitel 8.3 müsste dann nur noch angegeben werden, auf welche Ungewissheiten besonderes Augenmerk zu legen ist.

Kapitel «8.4 Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse» enthält methodische Anforderungen an die Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse. So wird beispielsweise gefordert, deterministische und probabilistische Berechnungen komplementär zueinander durchzuführen, um Unsicherheiten bei der Dosisabschätzung zu ermitteln und darzustellen. Unsicherheiten werden in den Begriffsbestimmungen der Berechnungsgrundlage als «ein Maß an Vertrauen in die Aussagekraft eines Ergebnisses, welches aufgrund von Ungewissheiten einem bestimmten Wertebereich unterworfen ist» definiert. Aus der Definition der IAEA für Unsicherheitsanalysen (IAEA 2018, S. 21) lässt sich ein Verständnis von Unsicherheiten als quantifizierbare Ungewissheiten von Größen, die zur Dosisabschätzung benötigt werden, ableiten.

Kapitel «8.5 Besonderheiten der Biosphärenmodellierung» nimmt Bezug auf die zeitlich beschränkte Vorhersagbarkeit von Entwicklungen der Biosphäre. Wo sich Ungewissheiten nicht mehr aussagekräftig analysieren lassen, darf auf Annahmen und stilisierte Modelle zurückgegriffen werden. Für klimaabhängige Entwicklungen sind Sensitivitätsanalysen durchzuführen.

Stand von Wissenschaft und Technik

Die Integration Group for the Safety Case (IGSC) weist darauf hin, dass die Entwicklung von Sicherheitsuntersuchungen bereits lange von Fragen zum Umgang mit Ungewissheiten begleitet wird, die auch heute noch diskutiert werden: Wie genau muss ein technischer Sachverhalt untersucht werden, bevor die Information als ausreichend beurteilt wird? Wie kann Vertrauen in die Ergebnisse von Sicherheitsuntersuchungen entstehen, auch wenn zwangsläufig Ungewissheiten verbleiben? Wie wird am besten mit verschiedenen Quellen von Ungewissheiten umgegangen (IGSC 2020)?

Die IAEA stellt Ungewissheiten als Querschnittsthema dar, das sich mit vielen Elementen von Sicherheitsuntersuchungen verbindet (IAEA 2012, S. 4). Eine aktuelle Literaturstudie zum Umgang mit Ungewissheiten im Safety Case zeigt Themen auf, die im Sinn von international bewährten Praktiken in Vorgaben auf der Ebene von Richtlinien oder Leitlinien geregelt werden (Eckhardt 2021, S. 139). Diese international bewährten Praktiken sind in der Entwurfsfassung der Berechnungsgrundlage weitgehend umgesetzt: Zum Umgang mit Ungewissheiten in Sicherheitsuntersuchungen eignet sich in Anlehnung an (GRS 2012) ein iteratives und schrittweises Vorgehen, das die Identifikation, Beschreibung und Beurteilung von Ungewissheiten sowie die Festlegung des weiteren Umgangs mit den Ungewissheiten umfasst. Die Identifikation und Dokumentation von Ungewissheiten werden in Kapitel 8.3.1 der Berechnungsgrundlage geregelt. Der inhaltliche Schwerpunkt von Kapitel 8 liegt auf methodischen Vorgaben zum Umgang mit Ungewissheiten bei der Dosisabschätzung, insbesondere bei der Modellierung. Ungewissheiten, die nur begrenzt untersucht werden müssen, sind in Kapitel 8.5 Ziffer 1 für die Biosphärenmodellierung ausgewiesen. Kapitel 8.3.1 und 8.3.2 sehen eine Bewertung der Qualität von Daten und Modellen vor und damit auch eine Bewertung der mit Daten und Modellen verbundenen Ungewissheiten. Der weitere Umgang mit Ungewissheiten wird mit den Minimierungsbestrebungen in Kapitel 8.2 Ziffer 2 angesprochen. Kapitel 4.2 verweist in Ziffer 18 darauf, dass Einschränkungen aufgrund des Kenntnisstands zu analysieren und nachvollziehbar zu begründen seien. Menschliche Einflüsse auf den Umgang mit Ungewissheiten sind in Kapitel 8.3.3 geregelt sowie mit den Vorgaben zu Experteneinschätzungen in den Kapiteln 8.3 und 8.4. Die Anforderung, eine Strategie zu entwickeln, die auch den Umgang mit Ungewissheiten erfasst, ist in Kapitel 5 und Kapitel 8.2 umgesetzt.

Die Berechnungsgrundlage verweist berechtigterweise auf Abbruchskriterien für Bestrebungen zur Minimierung von Ungewissheiten (Kapitel 8.2 Ziffer 2). Nicht geregelt ist dagegen, in welchen Fällen Ungewissheiten als nicht-akzeptabel beurteilt werden und wie in solchen Fällen weiter vorgegangen werden soll. Offen bleibt bisher auch, wie die Ergebnisse von Dosisabschätzungen miteinander verglichen werden sollen, bei denen unterschiedliche Kategorien von Ungewissheiten sowie verbal-argumentative, semi-quantitative und quantitative Einordnungen und Einschätzungen dieser Ungewissheiten vorliegen.

International etablierte Kategorien von Ungewissheiten sind Daten- oder Parameterungewissheiten, Modellungsgewissheiten und Systementwicklungsgewissheiten. Im Fall der vSu sind zudem auch Human Factor-Ungewissheiten relevant (Eckhardt 2021, S. 46f.). Überlegungen zum Umgang mit unterschiedlichen Wissensständen und Ungewissheiten hat die Entsorgungskommission in einem aktuellen Diskussionspapier festgehalten (ESK 2021, S. 12f.).

Anmerkungen zu Ungewissheiten

Dosisabschätzungen werden von Menschen erstellt. Daher unterliegen sie zwangsläufig Einflüssen, die mit den Personen, die an Dosisabschätzungen arbeiten und sie beurteilen, mit den Organisationen, in denen diese Personen arbeiten, und mit gesellschaftlichen Rahmenbedingungen in Zusammenhang stehen – auch wenn rechtliche Vorgaben, internationale Empfehlungen, wissenschaftliche Methoden und Konventionen, Peer Reviews etc. auf eine Objektivierung hinwirken.

In der Berechnungsgrundlage werden solche Human Factor-Einflüsse im Kapitel zum Umgang mit Ungewissheiten wiederholt thematisiert. Nicht-Wissen und Fehler werden angesprochen, Objektivität und Subjektivität, Qualität, Qualitätssicherung und das Managementsystem (der Vorhabenträgerin). Offensichtlich wird in der Berechnungsgrundlage angestrebt, beim Umgang mit Ungewissheiten ein hohes

Maß an Objektivität (also Unabhängigkeit der Ergebnisse von den mit der Dosisabschätzung befassten Personen) zu erreichen, Fehler zu vermeiden und Experteneinschätzungen transparent zu machen. Diese Ausrichtung könnte auch explizit in Kapitel «8.1 Allgemeines» oder in die Grundsätze in Kapitel 4.2 aufgenommen werden.

In der Arbeits- und Organisationspsychologie haben sich differenzierte Sichtweisen herausgebildet, die beispielsweise die Fehlervermeidung zum konstruktiven Umgang mit menschlichen Stärken weiterentwickeln (Safety-II-approach, Hollnagel et al. 2015) oder der Sicherheitskultur (bei der Vorhabenträgerin) und der Sicherheits-gerichtete Aufsichtskultur (bei den Aufsichtsbehörden, NEA 2016, NEA 2021) einen hohen Stellenwert einräumen. Die Gutachterin regt daher an, bei der Weiterentwicklung der Entwurfsfassung der Berechnungsgrundlage auch einen Experten oder einer Expertin im Bereich der Arbeits- und Organisationspsychologie zuzuziehen. Bei der Formulierung von Vorgaben zur Qualitätssicherung und zur Beurteilung der Qualität von Daten, Informationen und Modellen könnte eine Orientierung an etablierten Ansätzen, wie zum Beispiel dem NUSAP-Ansatz (Funtowicz & Ravetz 1990) hilfreich sein.

Die Gutachterin schlägt zudem vor,

- die Verwendung von Begriffen wie «Information», «Daten» und «Wissen» oder «Qualität» nochmals zu prüfen, um eine konsistente Terminologie für die gesamte Berechnungsgrundlage zu gewährleisten
- in Kapitel 8 anzusprechen, wann Ungewissheiten als nicht akzeptabel betrachtet werden (zum Beispiel im Fall widersprüchlicher wissenschaftlicher Ergebnisse) und wie mit solchen Situationen umzugehen ist
- zu erwägen, ob und ggf. wo zum weiteren Umgang mit Ungewissheiten auf einen Untersuchungs- und Forschungsplan verwiesen werden soll
- zu prüfen, ob und ggf. wie nicht-quantitative Einschätzungen von Ungewissheiten in Bezug auf die Ergebnisse der Dosisabschätzungen in der Berechnungsgrundlage adressiert werden sollen
- den Umgang mit Ungewissheiten und den Umgang mit Fehlern in der Berechnungsgrundlage in einem jeweils eigenen Kapitel zu behandeln bzw. für den Umgang mit Fehlern auf eine eigene Vorgabe zu den vSu zu verweisen, die auf menschliche und organisatorische Einflüsse ausgerichtet ist (siehe oben)

Unterschiedliche Wissensstände und der Umgang mit Ungewissheiten werfen im Zusammenhang mit den vSu vielfältige Fragen auf, die nach Ansicht der Gutachterin in einer eigenen Vorgabe geregelt werden sollten. Die Berechnungsgrundlage sollte auf diese Vorgabe Bezug nehmen und sie, sofern erforderlich, um spezifische Anforderungen zum Umgang mit Ungewissheiten bei der Dosisabschätzung ergänzen.

7. Literaturverzeichnis

- Baltes B. 2017: Sachplan geologische Tiefenlager (SGT). Fachbericht zu Etappe 2. Beilage 4: Dosisberechnungen. Arbeitsgruppe Sicherheit Kantone (AG SiKa) / Kantonale Expertengruppe Sicherheit (KES). Zürich.
- BASE & BfS - Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung/Bundesamt für Strahlenschutz 2020: Berechnungsgrundlage für die Dosisabschätzung bei der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen – Entwurfsfassung inklusive Erläuterungen – Stand 31.07.2020.
- Borkel Ch. 2019: 2. Statuskonferenz Endlagerung. Forum 3: Sicherheit definieren: Wie ist der Stand bei den Verordnungen zu Sicherheitsanforderungen und vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen? Impulsvortrag. https://www.endlagersuche-infoplattform.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/fachinfo/soa/191114_Statuskonferenz_2_FORUM_3_Borkel_BfE.pdf?__blob=publicationFile&v=1. Abgerufen am 7.5.2021.
- Eckhardt A. 2021: Sicherheit angesichts von Ungewissheit. Ungewissheiten im Safety Case. Literaturstudie. TRANSENS-Bericht-01. ISSN (Online): 2747-4186; <https://doi.org/10.21268/20210412-0>.
- Endlager-Kommission – Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe 2016: Verantwortung für die Zukunft. Ein faires und transparentes Verfahren für die Auswahl eines nationalen Endlagerstandortes Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe.
- ENSI – Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat 2021: Richtlinien. <https://www.ensi.ch/de/themen/richtlinien-ensi/section/news/page/3/>. Abgerufen am 18.4.2021.
- EndlSiAnfV – Endlagersicherheitsanforderungsverordnung 2020: Verordnung über Sicherheitsanforderungen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle vom 6. Oktober 2020. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020. Teil I Nr. 45.
- EndlSiUntV – Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung 2020: Verordnung über die Anforderungen an die Durchführung der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen im Standortauswahlverfahren für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020. Teil I Nr. 45.
- ESK – Entsorgungskommission 2021: Standortvergleich. Diskussionspapier der Entsorgungskommission vom 18.02.2021.
- Funtowicz, S.O.; Ravetz, J.R. 1990: Uncertainty and quality in science for policy. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- GRS – Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit gGmbH 2016: Vorgehensweise bei der Entwicklung von Szenarien für die Nachverschlussphase. Bericht GRS-425.
- GRS 2012: Grundzüge des Sicherheits- und Nachweiskonzeptes, Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben. Bericht zum Arbeitspaket 4. Juni 2011 mit Corrigendum Dezember 2011 und Änderung der Vorbemerkung Dezember 2012. Mönig, J., Buhmann, D., Rübel, A., Wolf, J., Baltes, B., Peiffer, F., Fischer-Appelt, K. GRS. Braunschweig.
- Hollnagel E., Wears R.L., Braithwaite, J. 2015: From Safety-I to Safety-II: A White Paper. Published simultaneously by the University of Southern Denmark, University of Florida, USA, and Macquarie University, Australia.

- IAEA – International Atomic Energy Agency 2018: IAEA safety glossary. Terminology used in nuclear safety and radiation protection. 2018 Edition. Wien.
- IAEA 2012: The safety case and safety assessment for the disposal of radioactive waste. Specific Safety Guide No. SSG-23. Wien.
- IAEA 2006: Fundamental safety principles. Safety Fundamentals. No. SF-1. Wien.
- IGSC – Integration Group for the Safety Case 2020: Two decades of safety case development. An IGSC 20th anniversary brochure. Paris.
- Leveson N. 2011: The use of Safety Cases in certification and regulation. Massachusetts Institute of Technology. Engineering Systems Division. ESD Working Paper Series. Boston.
- NBG – Nationales Begleitgremium 2020: Unsere Aufgaben. https://www.nationales-begleitgremium.de/DE/WasWirMachen/UnsereAufgaben/unsereraufgaben_node.html. Stand 7.6.2020. Abgerufen am 8.5.2021.
- NEA – Nuclear Energy Agency 2021: Methods for assessing and strengthening the safety culture of the regulatory body. NEA No. 7535. Paris.
- NEA 2019: International features, events and processes (IFEP) list for the deep geological disposal of radioactive waste. Version 3.0. Radioactive Waste Management and Decommissioning NEA/RWM/R(2019)1. Paris.
- NEA 2016: The safety culture of an effective nuclear regulatory body. NEA No. 7247. Paris.
- NEA 2013: Stakeholder confidence in radioactive waste management. An annotated glossary of key terms. NEA No. 6988. Paris.
- NEA 2012: Methods for safety assessment of geological disposal facilities for radioactive waste. Outcomes of the NEA MeSA Initiative. NEA No. 6923. Paris.
- Röhlig, K.J. 2010: Das Konzept des Safety Case – Internationale Entwicklungen zur Demonstration der Langzeitsicherheit von Endlagern. Dokumentation zum Endlagersymposium 2008. Karlsruhe.
- Stand AG Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG) vom 5. Mai 2017 (BGBl. I 2017, Nr.26, S. 1074), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I 2017, Nr. 52, S. 2808).