

Methodik für Sicherheitsuntersuchungen

Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla
Entwurf 3 von 18.02.2016, ergänzt vom 29.02.2016

Vorbemerkung zum Entwurf 3:

In diesem Entwurf 3 wurden gegenüber dem Entwurf 2 ergänzt:

- a) Die Begrifflichkeiten wurden an das Standortauswahlgesetz gemäß dem Ergebnis der Kommissionssitzung am 15.02.2016 erneut angepasst, das heißt der ursprünglich in der Sitzung der AG3 am 17.12.2015 vereinbarte Begriff „Sicherheitsbetrachtung“ für die „repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen“ (§13(2) StandAG) in der Phase 1 wurde wieder zurückgenommen.
- b) Die Ergebnisse des Arbeitskreises 4 in der „Kriterien-Fachkonferenz“ am 29./30.02.2016 wurden aufgenommen.
- c) Die Ausarbeitung ist so formuliert, dass Sie in einen Endbericht übernommen werden könnte.
- d) Die Anmerkungen von Dr. Appel in K.-Drs. 3-95 wurden teilweise übernommen.

x.x Methodik der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen

Die Endlagerkommission hat die Aufgabe, im Zusammenhang mit den Entscheidungsgrundlagen für die Standortauswahl für ein Endlager (für insbesondere wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle und ausgediente Brennelemente) Vorschläge für die "**Methodik für die durchzuführenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen**" zur erarbeiten. Die konkrete Aufgabenstellung ist im § 4 Abs. 2 Nr. 2 StandAG /1/ wie folgt beschrieben:

"(2) Die Kommission soll Vorschläge erarbeiten...

*2. für die Entscheidungsgrundlagen (allgemeine Sicherheitsanforderungen an die Lagerung, geowissenschaftliche, wasserwirtschaftliche und raumplanerische Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen im Hinblick auf die Eignung geologischer Formationen für die Endlagerung sowie wirtsgesteinsspezifische Ausschluss- und Auswahlkriterien für die möglichen Wirtsgesteine Salz, Ton und Kristallin, wirtsgesteinsunabhängige Abwägungskriterien und die **Methodik für die durchzuführenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen**), ..."*

Die Durchführung von vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen ist im StandAG in §13, Satz 2 und 3 dem Vorhabenträger zugewiesen:

"§ 13 Ermittlung in Betracht kommender Standortregionen und Auswahl für übertägige Erkundung

.....

*(2) Der Vorhabenträger hat für die in Betracht kommenden Standortregionen **repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen** gemäß den nach § 4 Absatz 5 gesetzlich festgelegten Anforderungen und Kriterien zu erstellen.*

*(3) Der Vorhabenträger hat den Vorschlag für in Betracht kommende Standortregionen mit den **zugehörigen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen** und eine auf*

dieser Grundlage getroffene Auswahl von Standorten für die übertägige Erkundung an das Bundesamt für kerntechnische Entsorgung zu übermitteln."

„Sicherheitsuntersuchungen“ sind zudem in §6, §12(1), §13(2), §14(1), §16(2), §17(1), §18(3), §19(1) und §21(2) des StandAG genannt.

x.x.1 Inhalt und Kontext von Sicherheitsuntersuchungen

In der Begründung zum StandAG heißt es unter Punkt B. zu § 4 (Bericht der Kommission und Umsetzung der Handlungsempfehlungen):

*"Eine wesentliche Entscheidungsgrundlage stellt die Methodik für die durchzuführen-
den vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen dar. In einer Sicherheitsuntersuchung wird
das Verhalten des Endlagersystems unter den verschiedensten Belastungssituationen
und unter Berücksichtigung von Datenunsicherheiten, Fehlfunktionen sowie zukünftigen
Entwicklungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Sicherheitsfunktionen analysiert.
Unterschiedliche geologische Gesamtsituationen können sehr unterschiedliche Vor-
und Nachteile insbesondere für die Langzeitsicherheit haben. Insofern muss vor einem
Vergleich von Standortregionen mit eventuell unterschiedlichen geologischen Situa-
tionen festgelegt sein, welche Eigenschaften für die Langzeitsicherheit eine besondere
Bedeutung haben und mit welchen Instrumentarien die sicherheitstechnische Bedeu-
tung im Vergleich bewertet wird. Dies kann für die jeweiligen Schritte des Standortaus-
wahlverfahrens unterschiedlich sein. Hierzu soll die Kommission Vorschläge für die
entsprechende Methodik erarbeiten."*

Insofern sind Sicherheitsuntersuchungen im Sinne des StandAG am ehesten vergleichbar mit den in den Sicherheitsanforderungen des BMU von 2010 /2/ genannten **Sicherheitsanalysen**. Zum besseren Verständnis werden zunächst einige Definitionen aus den Sicherheitsanforderungen zitiert z.B.: für Endlagersystem, Sicherheitsfunktion, Sicherheitsnachweis und Sicherheit (aus /2/):

- **Sicherheitsanalyse:**
"In der Sicherheitsanalyse wird das Verhalten des Endlagersystems unter den verschiedensten Belastungssituationen und unter Berücksichtigung von Datenunsicherheiten, Fehlfunktionen sowie zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Sicherheitsfunktionen analysiert. Sie endet mit einer Einschätzung der Zuverlässigkeit der Erfüllung der Sicherheitsfunktionen und damit auch der Robustheit des Endlagers (Sicherheitseinschätzung, safety assessment)."
- **Endlagersystem**
"Das Endlagersystem besteht aus dem Endlagerbergwerk, dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich und aus den diesen Gebirgsbereich umgebenden oder überlagernden geologischen Schichten bis zur Erdoberfläche, soweit sie sicherheitstechnisch bedeutsam und damit im Sicherheitsnachweis zu berücksichtigen sind."
- **Sicherheitsfunktion:**
"Eine Sicherheitsfunktion ist eine Eigenschaft oder ein im Endlagersystem ablaufender Prozess, die bzw. der in einem sicherheitsbezogenen System oder Teilsystem oder bei einer Einzelkomponente die Erfüllung der sicherheitsrelevanten Anforderungen gewährleistet. Durch das Zusammenwirken solcher Funktionen wird die Erfüllung aller sicherheitstechnischen Anforderungen sowohl in der Betriebsphase als auch in der Nachverschlussphase des Endlagers gewährleistet."

- **Sicherheitsnachweis (und letztlich Sicherheitsbewertung):**
"Der Sicherheitsnachweis (safety case) baut auf einer umfassenden Sicherheitsanalyse auf. Er umfasst die Prüfung und Bewertung von Daten, Maßnahmen, Analysen und Argumenten, die die Erfüllung dieser Sicherheitsanforderungen und damit die Sicherheit des Endlagers aufzeigen. Ein umfassender Sicherheitsnachweis beinhaltet die Zusammenführung aller in diesen Sicherheitsanforderungen genannten Nachweise und kann mit einem dem jeweiligen Kenntnisstand entsprechenden Tiefgang für verschiedene Phasen der Endlagerung geführt werden. Es wird insbesondere zwischen Sicherheitsnachweisen für die Betriebsphase und für die Nachverschlussphase des Endlagers unterschieden."
- **Sicherheit:**
"Sicherheit im technischen Sinn ist gewährleistet, wenn die Sicherheitsanforderungen erfüllt sind."

Eine vorläufige Sicherheitsuntersuchung kann demnach als eine in einer bestimmten Phase des Auswahlverfahrens durchzuführende vorläufige Analyse und Einschätzung des künftigen Verhaltens des Endlagersystems unter den in der jeweiligen Phase benennbaren Belastungssituationen und unter Berücksichtigung von Datenunsicherheiten, Fehlfunktionen sowie zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Sicherheitsfunktionen angesehen werden. Die vorläufige Sicherheitsuntersuchung umfasst auch die Beurteilung der Zuverlässigkeit der Erfüllung der Sicherheitsfunktionen und damit auch der Robustheit des Endlagersystems (Sicherheitseinschätzung).

Der Detaillierungsgrad der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen und die Aussagekraft ihrer Ergebnisse nehmen entsprechend dem zunehmenden Informationsgewinn durch die Erkundung der Standortregionen / Standorte von Phase zu Phase des Auswahlverfahrens zu. Entsprechend sind mit der Weiterentwicklung des Kenntnisstandes das Sicherheitskonzept und das Endlagerkonzept zu überprüfen und weiter zu entwickeln. In der Schlussphase des Auswahlverfahrens hat der Vorhabenträger die verbliebenen Standorte auf Grundlage der Prüfkriterien zur Beurteilung von Ergebnissen der untertägigen Erkundung und umfassender vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen für die Betriebsphase und die Nachverschlussphase zu vergleichen und einen Standortvorschlag vorzulegen.

Eine vorläufige Sicherheitsuntersuchung unterscheidet sich auch von einem Sicherheitsnachweis (safety case), weil dafür umfassende Daten/Kenntnisse über das Endlagersystem, den einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG) und die geologische Umgebung erforderlich sind, die aber naturgemäß zu Beginn des Auswahlprozesses bzw. in der jeweiligen Phase noch nicht vorliegen (können). Die abschließende Sicherheitsnachweis / Sicherheitsbewertung (safety case) für den letztlich ausgewählten Standort baut auf einer umfassenden Sicherheitsanalyse auf, für die umfassende Daten/Kenntnisse über das Endlagersystem, den einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG) und die geologische Umgebung erforderlich sind.

Alle (vorläufigen) Sicherheitsuntersuchungen erfolgen auf dem jeweiligen Stand von Wissenschaft und Technik. Dazu gehört auch jeweils das Endlagerkonzept (einschließlich Verschluss- und Versatzmaßnahmen), das die beste Schadensvorsorge nach dem jeweiligen Stand von Wissenschaft und Technik ermöglicht. Es ist selbstverständlich, dass eine Änderung des Standes von Wissenschaft und Technik bei nachfolgenden Sicherheitsuntersuchungen berücksichtigt werden muss. Dies kann dazu führen, dass (vorläufige) Sicherheitsuntersuchungen, die bereits Jahre vorher durchgeführt wurden, neu bewertet und revidiert werden müssen.

x.x.2 Methodischer Ansatz für vorläufige Sicherheitsuntersuchungen

x.x.2.1 Sicherheitsuntersuchungen in den verschiedenen Phase der Standortauswahl

In den verschiedenen Phasen des Standortauswahlverfahrens sind (vorläufigen) Sicherheitsuntersuchungen im Zuge der Einengung auf potenziell geeignete Standorte vorgesehen, die bereits im StandAG sinnvoll festgelegt sind (siehe §13(2) und §16(2) und §18(3)). Nachfolgende Phasen und Schritteinteilung orientiert sich an dem in Abschnitt yy.yy geschilderten Ablauf.

Anmerkungen:

Nachfolgend werden die Sicherheitsuntersuchungen genannt, die der Vorhabenträger auszuführen hat. Auf die Prüfung der Sicherheitsuntersuchungen durch das Bundesamt für kerntechnische Entsorgung wird nicht näher eingegangen.

Im Schritt 1 der Phase 1 werden auf Grund von geowissenschaftlichen Daten die in Deutschland nicht in Frage kommenden Großräume auf Grundlage geowissenschaftlichen Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen (siehe §13(1)). Am Ende der Phase 1 sollen „*Geologischen Suchräume*“ erhalten werden.

Im Schritt 2 der Phase 1 werden „*Teilgebiete*“ mit für die Endlagerung günstigen geologischen Gegebenheiten mit geowissenschaftlichen Abwägungskriterien identifiziert.

Im Schritt 3 der Phase 1 werden aus den Teilgebieten mit Hilfe einer vertiefenden geowissenschaftlichen Abwägung potenzielle „*Standortregionen*“ ausgewiesen. Für diese Regionen mit für die Endlagerung günstigen Eigenschaften sind nach StandAG (erstmalig) repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen vom Vorhabenträger auszuführen, um weiter einengen zu können. Die repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen haben auf Grund der in Phase 1 noch eingeschränkten Datenlage eher den Charakter von Sicherheitsbetrachtungen.

Im Schritt 3 der Phase 1 werden zudem *planerische Abwägungskriterien* einbezogen. Auf Grundlage der vertiefenden geowissenschaftlichen Abwägung, der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen und der *planerische Abwägungskriterien* legt der Vorhabenträger dem BfE einen Vorschlag, welche Standortregionen übertägig erkundet werden sollen.

In der Phase 2 werden für die übertägig erkundeten Standortregionen bzw. Standorte weiterentwickelte vorläufige Sicherheitsuntersuchungen durch den Vorhabenträger ausgeführt (siehe §16(2)). Auf Grundlage der weiterentwickelten vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen und weiterer Daten (siehe §16(2)) erarbeitet der Vorhabenträger einen Vorschlag, welche Standortregionen bzw. Standorte untertägig erkundet werden sollen. Ergänzend schlägt er Prüfkriterien zur Beurteilung der Erkundungsergebnisse vor. Nach Prüfung durch das Bundesamt für kerntechnische Entsorgung werden die vorgeschlagenen Standorte untertägig erkundet.

In der Phase 3 werden für die untertägig erkundeten Standorte umfassende vorläufige Sicherheitsuntersuchungen für die Betriebsphase und die Nachbetriebsphase durch den Vorhabenträger ausgeführt (siehe §18(3)). Auf Grundlage der umfassenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen und weiterer Daten (siehe §19(1)) schlägt das Bundesamt für kerntechnische Entsorgung einen Standort für ein Endlager für insbesondere Wärme entwickelnde Abfälle vor.

In allen Phasen hat die Sicherheit des Endlagers oberste Priorität.

Sicherheitsuntersuchungen verlaufen im Zuge der Phasen des Standortauswahlprozesses iterativ, weil mit Fortschreiten im Standortauswahlprozess die Kenntnisse über die geologischen Verhältnisse in den Standortregionen wachsen und dafür angepasste Endlagerkonzepte immer konkreter und belastbarer entwickelt werden können.

Die gewählten Adjektive für die Sicherheitsuntersuchungen in den verschiedenen Phasen des Auswahlprozesses im StandAG antizipieren diesen Erkenntnisfortschritt bereits, z.B.:

1. §13(2): *repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen*,
2. §16(2): *weiterentwickelte vorläufige Sicherheitsuntersuchungen*,
3. §18(3): *umfassende Sicherheitsuntersuchungen*.

Das bedeutet auch, dass mit fortschreitendem Auswahlprozess die Art der geforderten Sicherheitsuntersuchungen detaillierter werden muss. Damit wird auch deutlich, dass ein Standortauswahlverfahren nicht allein auf einen Vergleich der geologischen Merkmale verschiedener potenzieller Regionen und Standorte reduziert werden kann, sondern immer im Kontext mit dem entsprechenden Endlagersystem gesehen werden muss.

Diese Position wird auch von der DAEF (Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung) in ihrem Papier "Aspekte eines Standortauswahlverfahrens für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle" /3/ vertreten. Dort heißt es mit Blick auf einen methodischen Ansatz:

"Vielmehr können aus Sicht der DAEF nur Endlagersysteme miteinander verglichen werden. Ein Endlagersystem umfasst das Endlagerbergwerk mit seinen technischen Komponenten sowie den geotechnischen und geologischen Barrieren in der jeweiligen geologischen Gesamtsituation."

Weiter heißt es dort:

"Bei jedem einzelnen Schritt des Auswahlverfahrens werden Entscheidungen jeweils nur auf Basis von Vergleichen von Endlagersystemen getroffen werden können. Das bedeutet, dass auch stets mindestens eine vorläufige Planung für ein Endlagerbergwerk in den verschiedenen betrachteten Wirtsgesteinen bzw. Standortgebieten notwendig ist."

Ähnlich, aber nicht dezidiert auf Endlagersysteme ausgerichtet, formuliert es auch der A-kEnd. In seinem Abschlussbericht /4/ heißt es auf Seite 38:

"...dass nur ein vollständiges und abgestimmtes Barrierensystem den Einschluss der Schadstoffe im Endlager dauerhaft gewährleisten kann".

und weiter auf Seite 39:

"... dass zunächst eine günstige geologische Gesamtsituation auszuwählen ist, deren Barrierewirkung durch angepasste technische Barrieren ergänzt werden kann".

Ebenso wird im Bericht /5/ des Bundesamtes für Strahlenschutz eine ähnliche Sichtweise vertreten und in den Schlussfolgerungen geschrieben:

"Die Untersuchungen haben gezeigt, dass für alle in Deutschland relevanten Wirtsgesteinsinformationen angepasste Endlagerkonzepte entwickelt werden können. Da die Verhältnisse auch innerhalb einer Wirtsgesteinsinformation z.T. starken Schwankungen unterliegen, kann ein Vergleich nur standortspezifisch erfolgen und ist daher erforderlich. Insbesondere die Diskussionen zur Bewertung und zum Vergleich von Barrierensystemen und zum damit verbundenen Isolationszeitraum haben dies verdeutlicht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einzelne Barrieren unterschiedliche Funktionen übernehmen und daher ihre Wirkung nur mit standortspezifischen Sicherheitsanalysen dargestellt und vergleichend bewertet werden kann."

Kommentiert [WK1]: Kommentar Kudla: Dieser Teil könnte eventuell gekürzt oder gestrichen werden.

x.x.2.2 Grundlagen für Sicherheitsuntersuchungen im Rahmen des Standortauswahlverfahrens

Vor Beginn der Sicherheitsuntersuchungen sollten folgende Festlegungen getroffen werden:

- Übergeordnete sicherheitliche Ziele der Endlagerung insbesondere hoch radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen in Abhängigkeit von den charakteristischen sicherheitsrelevanten Eigenschaften der nach StandAG in Frage kommenden Wirtsgesteinstypen Salz, Ton und Kristallin: Vollständiger Einschluss der Abfälle (Salz) bzw. sicherer Einschluss (Ton, Kristallin) mit allenfalls geringfügiger Freisetzung innerhalb des Nachweiszeitraums von 1 Mio Jahren nach /4/ bzw. /2/.
- Generische Sicherheitskonzepte für Endlagersysteme bzw. Endlagersystemtypen in charakteristischen Erscheinungsformen der Wirtsgesteinstypen (z.B. Salz in flacher Lagerung bzw. Salzstöcken) bzw. mit vom ewG-Konzept abweichender Sicherheitskonfiguration (z.B. Kristallin unter Salz), deren Umsetzung zur Einhaltung der Schutzziele und sicherheitstechnischen Anforderungen nach /2/ führen soll.
- An die zu betrachtenden Endlagersystemtypen und die zugehörigen Sicherheitskonzepte angepasste technische Lagerkonzepte mit angepassten technischen und geotechnischen Barrieren, die im Laufe des Auswahlverfahrens auf Grundlage des zunehmenden Informations- und Erkenntnisgewinns standortspezifisch weiter zu entwickeln sind.

Kommentiert [WK2]: Einschub von Dr. Appel:
Kommentar Kudla: Hier müsste noch der „vollständige“ und der „sichere Einschluss“ definiert werden, ebenfalls müsste definiert werden, was „geringfügig Freisetzungen“ sind.

Kommentiert [WK3]: Einschub von Dr. Appel:
Kommentar Kudla: Sind überhaupt vom ewG-Konzept abweichende Konzepte von der Endlagerkommission gewünscht? Wenn Ja mit welcher wissenschaftlich haltbaren Begründung? Wie sehen diese Konzepte aus?

Kommentiert [WK4]: Einschub von Dr. Appel
Kommentar Kudla: Das wird doch alles später erläutert und passt hier nicht. In diesem Abschnitt geht es doch um die Grundlagen.

Folgende Grundlagen sind für die Sicherheitsuntersuchungen erforderlich:

- a) Informationen zu Menge, Art und Eigenschaften der radioaktiven Abfälle,
- b) Kenntnisse der geologischen Gegebenheiten in den potenziellen Standortregionen bzw. an den Standorten,

Entsprechende Informationen müssen in den einzelnen Phasen (siehe Abschnitt 3.1) im jeweils erforderlichen Tiefgang vorliegen oder sind zu erarbeiten, bevor im Rahmen des Auswahlverfahrens Entscheidungen, z.B. bezüglich eines Ausschlusses oder einer Rückstellung von potenziellen Standortregionen oder Standorten getroffen werden können.

Zu a)

Informationen über Art und Menge der Wärme entwickelnden radioaktiven Abfälle und ausgedienten Brennelemente in Deutschland liegen vor, z.B. im Nationalen Entsorgungsprogramm von Anfang 2015 /6/. Sofern der Vorhabenträger die Einlagerung weiterer, vernachlässigbar Wärme entwickelnder Abfälle am betrachteten Standort vorsieht, müssen diese Abfälle nach Art und Menge spezifiziert werden. Ihre Einlagerung ist im Endlagerkonzept (s. u.) zu berücksichtigen.

Zu b)

Information und Kenntnisse über die geologischen Verhältnisse in einer Region oder an einem Standort können zunächst entweder aus vorhandenen Daten (Bohrprofilen, geophysikalischen Aufschlüssen usw.) und Kartenmaterial gewonnen werden, die den Geologischen Landesämtern und Bundesbehörden vorliegen. Dabei helfen insbesondere die in der Erdöl- und Erdgas-

industrie gewonnenen Erkenntnisse aus seismischen Untersuchungen und aus Explorationsbohrungen, sofern diese öffentlich zugänglich sind oder gemacht werden können. Im weiteren Einengungsprozess sind gezielt die geologischen Verhältnisse zu erkunden.

x.x.2.3 Vorgehen bei Sicherheitsuntersuchungen

Mit diesen Grundlagen sind die Voraussetzungen geschaffen, (vorläufige) Sicherheitsuntersuchungen durchzuführen. Bei der Standortauswahl müssen die in Betracht kommenden Standortregionen / Standorte bzw. Endlagersysteme an Hand vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen vergleichend gegenübergestellt werden. Dabei wird die Gesamtheit des Endlagersystems mit allen seinen sicherheitsrelevanten Bestandteilen betrachtet und unmittelbar hinsichtlich seiner Sicherheit bewertet. Dabei werden sie mit ihren sicherheitsrelevanten Bestandteilen betrachtet und hinsichtlich der Wirksamkeit ihrer Sicherheitsfunktionen beurteilt. Soweit auf Grund der phasenabhängigen Informationslage überhaupt möglich / sinnvoll – werden außerdem die Aussichten auf die im weiteren Verfahrensverlauf schrittweise zu bestätigende und im Genehmigungsverfahren abschließend zu belegende Einhaltung der Schutzziele und der weiteren sicherheitlichen Anforderungen gemäß /2/ bewertet.

Für einen belastbaren Vergleich von Endlagersystemen mittels standortspezifischer Sicherheitsuntersuchungen sollen nach Stand von Wissenschaft und Technik vorrangig Kriterien herangezogen werden, die auf Sicherheitsindikatoren beruhen. Hierzu zählen in den Phasen 2 und 3 (nicht in Phase 1) auch solche zur Beurteilung möglicher Freisetzungen aus dem Endlager hinsichtlich Menge, Art und insbesondere zu deren Wahrscheinlichkeit sowie daraus resultierender radiologischer Konsequenzen. In Anbetracht der Dosisberechnungen innewohnenden sehr unterschiedlich gearteten konservativen Annahmen und Ungewissheiten sollten Standorte, bei denen ein gewisser Dosisgrenzwert unterschritten wird, als gleichwertig angesehen werden (siehe Abschnitt 3.4). Ferner müssen zum Zeitpunkt des Vergleiches bestehende Ungewissheiten in die Abwägung ebenso miteinfließen wie die Robustheit der Sicherheitsaussage und der Sicherheit des Endlagersystems, d.h. bestehende konservative Annahmen und Sicherheitsreserven.

(Einschub Dr. Appel aus K.-Drs.AG3-95 nicht übernommen, dazu erst Diskussion)

Ziel der Endlagerung ist es, durch das geeignete Zusammenwirken geologischer, geotechnischer und technischer Barrieren den langfristig sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle zu gewährleisten, um Freisetzungen in die Biosphäre zu vermeiden bzw. auf ein möglichst niedriges geringfügiges Niveau unterhalb festgesetzter Grenzwerte zu begrenzen. **Gegenstand der (vorläufigen, vorläufig weiterentwickelten und umfassenden) Sicherheitsuntersuchungen ist in diesem Zusammenhang grundsätzlich die Überprüfung, inwieweit dieses Ziel, d. h. der vollständige oder langfristig sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle unter Ausnutzung der geologischen Standortgegebenheiten gewährleistet werden kann.**

Während die Abfalldaten aufgrund der zeitlich begrenzten Kernenergienutzung in Deutschland weitgehend feststehen, unterscheiden sich Art und Umfang der zur Verfügung stehenden Informationen und Kenntnisse zu den jeweiligen geologischen Verhältnissen in den verschiedenen Phasen des Standortauswahlprozesses und für die entsprechenden Sicherheitsuntersuchungen erheblich.

Bei (vorläufigen) Sicherheitsuntersuchungen in den verschiedenen Phasen wird grundsätzlich vom gleichen, nachfolgend dargelegten Ablauf ausgegangen wie bei den späteren Sicherheitsanalysen. Daher sollte grundsätzlich auch von einer gleichen Vorgehensweise ausgegangen werden, die nachfolgend skizziert und erläutert wird. Auch wenn es zur Durchführung von Sicherheitsuntersuchungen bzw. Sicherheitsanalysen hinsichtlich der Langzeitsicherheit eines Endlagers radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen keinen einheitlichen Standard gibt, beinhalten sie im Wesentlichen folgende Schritte (aufbauend auf den in Abschnitt x.x.2.2 genannten Grundlagen). Insbesondere die Schritte 1 und 2 laufen dabei nicht zeitlich streng hintereinander ab:

1. Phasengerechte Erstellung eines Sicherheitskonzeptes und eines Nachweiskonzeptes für die jeweilige geologische Situation in Abhängigkeit des Wirtsgesteins.
2. Erarbeitung eines (vorläufigen) Endlagerkonzeptes zur Umsetzung des Sicherheitskonzeptes.
3. Identifikation und Bewertung von Einwirkungen auf die Integrität der einschlusswirksamen geologischen, geotechnischen und technischen Barrieren sowie der Prozesse, die zu Freisetzungen bzw. zur Rückhaltung der Radionuklide führen können. Betrachtung von „What-If-Szenarien“.
4. Bewertung möglicher Freisetzungen hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens und ihres Ausmaßes. Bewertung radiologischer Konsequenzen aus möglichen Freisetzungen (nur in Phase 2 und 3, nicht in Phase 1).
5. Bewertung von Ungewissheiten und Sicherheitsreserven sowie der Robustheit des Endlagersystems und seiner Sicherheit.
6. Ableitung des Erkundungs- und FuE-Bedarfs sowie von Optimierungsmöglichkeiten für das Endlagerkonzept.

Unter „Bewertung“ wird dabei eine verbal qualitative und teilweise auch quantitative Argumentation verstanden, bei der alle relevanten Gesichtspunkte (z.B. hinsichtlich möglicher Freisetzungspfade über technische oder geotechnische und geologische Barrieren) behandelt werden und die insbesondere Bezug auf die lange Zeitdauer des notwendigen sicheren Einschlusses nimmt. Werden verschiedene Standortregionen sowohl mit gleichem als auch mit verschiedenem Wirtsgestein miteinander verglichen, erfolgt die Bewertung im Rahmen der Sicherheitsuntersuchungen qualitativ.

Zu 1. Erstellung eines Sicherheitskonzeptes für die jeweilige geologische Situation

Das Sicherheitskonzept beschreibt verbalargumentativ, wie die natürlichen Gegebenheiten (das Wirtsgestein), die Prozesse (z.B. die Kompaktion des Salzversatzes unter einem aufkriechenden Salzgebirge) und die technischen Maßnahmen (z.B. die Behälter) in ihrer Gesamtheit dazu führen sollen, dass der langzeitsichere Einschluss der endgelagerten Abfälle am betrachteten Standort bzw. in der Standortregion gewährleistet werden soll.

Bei der Gestaltung des Sicherheitskonzeptes kann in der zunächst (**insbesondere in der Phase 1**) in Anlehnung an bereits vorliegende Konzepte für Endlager insbesondere Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Wirtsgesteinsformationen zurückgegriffen werden, die den in Deutschland verfolgten Wirtsgesteinstypen annähernd vergleichbar sind und die den internationalen Stand von Wissenschaft und Technik verkörpern. Hierzu zählen für Tonstein die Endlagerprojekte in der Schweiz und in Frankreich (z.B. Arbeiten der ANDRA (Dossier de

Argile, 2005 und 2013)), im Kristallin die Genehmigungsanträge für Endlager für abgebrannte Brennelemente in Schweden (Arbeiten der SKB 2011 am Standort Forsmark) und in der Finnland (Arbeiten von Posiva Oy 2012 am Standort Olkiluoto) sowie in Deutschland im Steinsalz die „Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben 2013“. Darüber hinaus sind im Hinblick auf die in Deutschland zu entsorgenden Wärme entwickelnden radioaktiven Abfälle und herrschenden geologischen Verhältnisse die Arbeiten im Auftrage des BMWi zu folgenden FuE-Vorhaben hervorzuheben:

- für Kristallin
 - Machbarkeitsstudie zur Entwicklung einer Sicherheits- und Nachweismethodik für ein Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle in einer Kristallingesteinsformation in Deutschland (**CHRISTA**)
- für Tonstein
 - Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein High Active Waste (HAW)-Endlager in Tonstein (**ANSICHT**) (GRS-Heft 338, 2014/08)
 - Referenzkonzept für ein Endlager für radioaktive Abfälle in Tongestein (**ERATO**)
- für Salzstöcke
 - Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW (**ISIBEL**)
- für flachlagernde Salzformationen
 - Konzeptentwicklung für ein generisches Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle in flach lagernden Salzschichten in Deutschland sowie Entwicklung und Überprüfung eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes (**KOSINA**)

In nachfolgenden Phasen des Standortauswahlprozesses kann das Sicherheitskonzept auf der Grundlage der dann zur Verfügung stehenden geologischen Daten sowie unter Berücksichtigung der aus vorangegangenen (vorläufigen) Sicherheitsuntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse weiterentwickelt werden. Kern des Sicherheitskonzeptes ist die Zuweisung von Sicherheitsfunktionen (vgl. die Sicherheitsanforderungen des BMU /2/) zu den Systemkomponenten.

Zu 2. Erarbeitung eines (vorläufigen) Endlagerkonzeptes zur Umsetzung des Sicherheitskonzeptes

Als nächstes ist eine (Konzept-)Planung für das Endlagerbauwerk zu erstellen. Dies beinhaltet Konzept für

- a) die Behälter (Art, Größe) (technische Barrieren),
- b) die Art der Einlagerung (Strecken oder Bohrlochlagerung) und damit die Anordnung der Einlagerungsstrecken (Anzahl, Längen, Querschnitte) bei Streckenlagerung und die Lage der Bohrlöcher bei Bohrlochlagerung und damit insgesamt die Form und Größe des Grubengebäudes,
- c) die Sicherheitsabstände zum Nebengestein,
- d) die Schachtverschluss und Streckenverschlüsse (geotechnischen Barrieren),
- e) das Versatzkonzept für die Strecken,
- f) den Umgriff für den später auszuweisenden einschlusswirksamen Gebirgsbereich,
- g) Überlegungen zum gebirgsschonenden Auffahren der Einlagerungsstrecken (z.B. mit Teilschnittmaschinen)

- h) Sofern auch nicht Wärme entwickelnde Abfälle eingelagert werden: Konzeptplanung für einen zweiten Einlagerungsbereich für die nicht Wärme entwickelnden Abfälle
- i) den zeitlichen Ablauf der Einlagerung

Die o.g. Aufzählung a) bis f) ist beispielhaft und nicht vollständig. Sie enthält aber die wesentlichen Punkte.

Bei der Gestaltung des Endlagerkonzeptes kann zunächst wiederum auf unter 1. Genannten Endlagerkonzepte zurückgegriffen werden, die den internationalen Stand von Wissenschaft und Technik verkörpern. Sie sind in geeigneter Weise an Spektrum und Mengengerüst der endzulagernden Abfälle sowie an die Lage und Ausdehnung des Wirtsgesteinskörpers bzw. der den ewG bildenden geologischen Formationen anzupassen. Dabei muss für jeden Wirtsgesteinstyp ein Endlagerkonzept entworfen werden bzw. die vorhandenen generischen Endlagerkonzepte sind unter Berücksichtigung der Standortgegebenheiten zu modifizieren. Wenn möglich sollten auch an einer Standortregion bzw. an einem Standort mehrere Endlagerkonzepte entworfen werden und diese miteinander verglichen werden (Variantenvergleich und Optimierung)

In nachfolgenden Phasen des Standortauswahlprozesses ist das Endlagerkonzept auf der Grundlage der dann zur Verfügung stehenden geologischen Daten sowie unter Berücksichtigung der aus vorangegangenen Sicherheitsuntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse weiterzuentwickeln.

Zu 3. Identifikation und Bewertung von Einwirkungen auf die Integrität der einschlusswirksamen geologischen, geotechnischen und technischen Barrieren sowie der Prozesse, die zu Freisetzungen bzw. zur Rückhaltung der Radionuklide führen können

Dieser Teil von (vorläufigen) Sicherheitsuntersuchungen bzw. –analysen setzt sich unmittelbar damit auseinander, inwieweit das Ziel der Endlagerung, der langfristig sichere Einschluss der Abfälle, gewährleistet werden kann. Hierzu sind sowohl die Wirksamkeit der einschlusswirksamen geologischen, geotechnischen und technischen Barrieren, deren mögliche Beeinträchtigungen sowie Prozesse, die zur Mobilisierung als auch zur Rückhaltung der Radionuklide und anderer Schadstoffe führen können, zu analysieren.

Hierzu sind zunächst die Einwirkungen, die die Integrität der einschlusswirksamen geologischen, geotechnischen und technischen Barrieren und damit deren Wirksamkeit beeinträchtigen können sowie Prozesse, die zu Freisetzungen bzw. zur Rückhaltung der Radionuklide führen können zu identifizieren. Dazu ist eine Szenarienanalyse aufzustellen, die auf einer Vielzahl von angenommenen FEPs (features, events, processes) beruht. Entsprechende FEP-Zusammenstellungen sind aus den unter „zu 1.“ genannten, nationalen und internationalen Arbeiten für alle in Betracht kommenden Wirtsgesteine verfügbar. Ein übergreifender FEP-Katalog wird bei der OECD/NEA geführt und mit deutscher Beteiligung zu einer Datenbank weiterentwickelt.

Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist die **standort- bzw. regionsspezifische geowissenschaftliche und klimatische Langzeitprognose**. Sie beschreibt die wesentlichen zu berücksichtigenden geologischen und klimatischen Veränderungen im Nachweiszeitraum von wenigstens einer Million Jahren mit dem Schwerpunkt möglicher Beeinträchtigungen der einschlusswirksamen Barrieren. Die geowissenschaftliche Langzeitprognose baut vor Beginn der Standorterkundung zunächst im Wesentlichen auf der Kenntnis der regionalgeologischen Entwicklung und geeigneten Analogiebetrachtungen auf und ist in nachfolgenden Phasen des Auswahlverfahrens anhand gezielt erhobener Erkundungsdaten fortzuschreiben.

Die geowissenschaftliche Langzeitprognose fließt unmittelbar in die Szenarienanalyse ein, die mögliche Entwicklungen des Endlagersystems im Betrachtungszeitraum mit dem Schwerpunkt möglicher Einwirkungen auf die Integrität der einschlusswirksamen Barrieren sowie der Prozesse, die zu Freisetzungen bzw. zur Rückhaltung der Radionuklide führen können, beschreibt und analysiert.

In (vorläufigen) Sicherheitsuntersuchungen vor Beginn der Standorterkundung erscheint es jedoch nicht angemessen, eigenständige Szenarienanalysen durchzuführen, sondern auf bereits vorliegende Sicherheitsanalysen für Endlager in vergleichbaren Wirtsgesteinsformationen zurückzugreifen und zu überprüfen, inwieweit unter Berücksichtigung der jeweiligen Standortgegebenheiten und der vorläufigen geowissenschaftlichen Langzeitprognose die relevanten Einwirkungen und Prozesse übertragen werden können.

Für jeden Wirtsgesteinstyp soll dazu ein Set relevanter Einwirkungen und Prozesse abgeleitet werden und dafür die jeweiligen standortspezifischen Unterschiede ausgewiesen werden. Grundsätzlich ist es empfehlenswert, für jeden Wirtsgesteinstyp eine prototypische Sicherheitsuntersuchung zu erarbeiten, und auf dieser Grundlage für jeden betrachtenden Standort bzw. für jedes betrachtete Gebiet Differenzbetrachtungen durchzuführen. Anschließend sollen anhand der konkreten standort- bzw. gebietsspezifischen Merkmale die Unterschiede hinsichtlich der zu untersuchenden Sicherheitsaspekte herausgearbeitet werden.

Die identifizierten Einwirkungen auf die einschlusswirksamen Barrieren und freisetzungrelevanten Prozesse sind dahingehend zu bewerten, inwieweit sie zu Freisetzungen in die Biosphäre führen können. Während hierzu in nachfolgenden Sicherheitsuntersuchungen numerische Integritätsanalysen (z. B. mit Überprüfung des Dilatanzkriteriums oder des Fluidruckkriteriums) der einschlusswirksamen Barrieren sowie Mobilisierungs- und Transportrechnungen unverzichtbar sind, werden für Sicherheitsuntersuchungen in der ersten Phase des Standortauswahlverfahrens (vor Beginn von Standorterkundungen) die Nutzung von überschlägigen Abschätzungen und Analogiebetrachtungen anhand der „zu 1.“ genannten nationalen und internationalen Arbeiten bereits vorliegender Sicherheitsanalysen als angemessen angesehen.

In der **Phase 1** gehören beispielhaft zu den vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen:

1. Abschätzung des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches und damit der Bereiche, in dem das Fluidruckkriterium und des Dilatanzkriterium eingehalten ist
2. Untersuchungen zum Temperaturanstieg im Wirtsgestein über die Zeit durch die eingelagerten Abfälle
3. Überlegungen und Untersuchungen zur Robustheit der eingesetzten Komponenten

Als Robustheit wird die Zuverlässigkeit und Qualität und somit die Unempfindlichkeit der Sicherheitsfunktionen des Endlagersystems und seiner Barrieren gegenüber inneren und äußeren Einflüssen und Störungen sowie die Unempfindlichkeit der Ergebnisse der Sicherheitsanalysen gegenüber Abweichungen zur zugrunde gelegten Annahmen bezeichnet.

In der **Phasen 2 und 3** gehören beispielhaft zusätzlich zu den für Phase 1 genannten Sicherheitsuntersuchungen, (wobei die nachfolgenden Untersuchungen auch je nach Kenntnisstand in der Phase 1 bereits teilweise sinnvoll sein können):

1. Nachweis der Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches durch Überprüfung des Fluidruckkriteriums und des Dilatanzkriteriums
2. Ausweis von Bereichen, in denen außerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches das Fluidruckkriterium verletzt ist
3. Untersuchungen zur Kompaktion des Versatzmaterials über die Zeit

4. Thermo-Mechanische Auslegungsberechnungen des Grubengebäudes (und damit auch zur Hebung des Geländeoberfläche)
5. Entwurf Schachtverschluss und Ermittlung von Grundwasserzutrittsraten über die Zeit in Abhängigkeit der Ausbildung des Verschlusses und der umgebenden Auflockerungszone
6. Nachweis der Tragfähigkeit und der Rissebeschränkung bei den Schachtverschlüssen
7. Untersuchungen zu Einwirkungen von Erdbeben auf das Grubengebäude, speziell die Schachtverschlüsse
8. Konzeptentwicklung zur Rückholung von Behältern
9. Untersuchungen zur Gasentwicklung über die Zeit auf Grundlage der Restfeuchte in den Behältern und der Versatzfeuchte (im Tonstein und Kristallingestein zusätzlich: unter Berücksichtigung der Eigenfeuchte und zutretenden Wässern)
10. Untersuchungen zur Korrosion der Behälter
11. Radiologische Freisetzungsberechnungen (Ergebnisse sind nur Sicherheitsindikatoren!)
12. Untersuchungen zur Mobilisierung von natürlich im Endlagersystem vorkommenden radioaktiven oder sonstigen grundwasser- oder bodenrelevanten Stoffen
13. Untersuchungen zur Veränderung der geochemischen Bedingungen auf Grund der Temperaturerhöhung im Einlagerungsbereich
14. Untersuchungen zur Temperaturerhöhung und darauf aufbauend zur Änderung der geochemischen Verhältnisse im Grundwasserleiter des Deckgebirges
15. Untersuchungen zur Kritikalität und Nachweis des Kritikalitätsausschlusses
16. Überlegungen zur Verhinderung des menschlichen Eindringens nach dem Verschluss (*human intrusion*)
17. Untersuchungen zur technische Auslegung und Optimierung der Einlagerungsmaschinen
18. Untersuchungen zur betriebssicherheitlich und strahlenschutztechnisch günstigen Wetterführung
19. Überlegungen zu einem Monitoringkonzept
20. Überlegungen zur Optimierung aller Endlagerkomponenten

Die genannten Sicherheitsuntersuchungen Nr. 1 bis 20 sind nur beispielhaft aufgelistet und sind auf keinen Fall vollständig! Der Vorhabenträger hat selbst alle Sicherheitsuntersuchungen auszuführen, um sämtliche als relevant erkannten Auslegungsfälle zu berücksichtigen und sämtlich in den Sicherheitsanforderungen des BMU /2/ genannten Sicherheitsanforderungen zu erfüllen (jeweils angepasst an die Phase).

Im Rahmen der Sicherheitsuntersuchungen werden auch Untersuchungen hinsichtlich der Standorteignung der oberirdischen Anlagen und hinsichtlich der Betriebssicherheit durchgeführt. Zur Überprüfung der Standorteignung der oberirdischen Anlagen zählen beispielsweise die Prüfung hinsichtlich des Hochwasserschutzes, hinsichtlich Störfällen aus benachbarten Industrieanlagen, hinsichtlich Flugzeugabsturz usw. . Die Sicherheitsuntersuchungen zu den genannten Punkten haben damit auch Einfluss auf die Standortauswahl der oberirdischen Anlagen.

Zu 4. Bewertung möglicher Freisetzungen hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens und ihres Ausmaßes; Bewertung radiologischer Konsequenzen aus möglichen Freisetzungen

Für die im vorangegangenen Bearbeitungsschritt ermittelten Fälle der möglichen Entwicklung des Endlagersystems, die zu Freisetzungen in die Biosphäre führen können, ist ihr Ausmaß und die Wahrscheinlichkeit des Auftretens zu ermitteln.

Die Quantifizierung der Wahrscheinlichkeiten stößt in der Regel auf erhebliche Probleme. Daher hat sich in der Praxis und in Analogie zu den Sicherheitsanforderungen des BMU von 2010 eine Klassifizierung des Auftretens von Freisetzungen in die Biosphäre in

- *wahrscheinliche Einwirkungen,*
- *weniger wahrscheinlich Einwirkungen,*
- *unwahrscheinliche Einwirkungen*

bewährt, die aus der Wahrscheinlichkeit des Auftretens der relevanten Einwirkungen und Prozesse, bzw. deren Kombinationswahrscheinlichkeit abgeleitet wird.

Für die Bewertung des Ausmaßes von Freisetzungen in die Biosphäre sind in der Regel numerische Transport- und Ausbreitungsrechnungen erforderlich. Für (vorläufige) Sicherheitsuntersuchungen in der ersten Phase des Standortauswahlverfahrens noch vor Beginn von gezielter Erkundungsmaßnahmen muss jedoch davon ausgegangen, dass für eine quantitative Bewertung noch keine geeignete Datenbasis zur Verfügung steht. Anhand von überschlägigen Abschätzungen und Analogiebetrachtungen sind daher eher qualitative Einordnungen zum Ausmaß der in den betrachteten Fällen zu erwartenden Freisetzungen vorzunehmen. Hierzu kann es hilfreich sein, den Anteil des betroffenen Radionuklidinventars sowie den möglichen Zeitpunkt und die mögliche Transportdauer bis zum Erreichen der Biosphäre zusammen mit dem fortschreitenden Zerfall der Radionuklide zu betrachten.

Die Bewertung der aus den möglichen Freisetzungen resultierenden radiologischen Konsequenzen erfolgt in der Regel, indem die berechneten Dosisraten einschlägigen regulatorischen Grenzwerten gegenübergestellt werden. Hierzu wird meist die hypothetische Exposition einer angenommenen kritischen Gruppe mit bestimmten Lebens- und Verzehrgeohnheiten zugrunde gelegt. Ungeachtet dessen, dass die so ermittelten Dosiswerte einen wichtigen **Sicherheitsindikator** darstellen, sind sie mit erheblichen Prognoseunsicherheiten behaftet, da sich weder die Lebens-, noch Verzehrgeohnheiten der Menschen noch die erheblichen Umgestaltungen unterliegenden Ausbreitungspfade im oberen Teil der Geosphäre über einen derart langen Betrachtungszeitraum in geeigneter Weise prognostizieren.

Daher werden in der Praxis zunehmend **vereinheitlichte stilisierte Expositionsszenarien** für die Bewertung radiologischer Konsequenzen aus möglichen Freisetzungen verwendet. Ein entsprechender Ansatz wurde in den Sicherheitsanforderungen des BMU von 2010 auch mit dem sogenannten "vereinfachten Nachweis" (genau: „*vereinfachte radiologische Langzeitaussage*“) verfolgt, der hinsichtlich seiner Handhabung jedoch einige Probleme aufwirft und von einigen Experten bei der Anhörung zu den Sicherheitsanforderungen des BMU 2010 als überarbeitungsbedürftig angesehen wurde. Seinem Wesen nach stellt die „*vereinfachte radiologische Langzeitaussage*“ eher einen Nachweis der Geringfügigkeit der Freisetzungen und der entsprechenden radiologischen Konsequenzen dar, da ihr extrem konservative Annahmen zugrunde liegen, bei denen unterstellt wird, dass die kleinste betrachtete Referenzgruppe von 10 Personen in ihrer gesamten Lebenszeit durch die Gesamtheit der aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich in die Biosphäre freigesetzten Radionuklide aufnimmt und somit die größtmögliche Exposition erfährt. Um die Vergleichbarkeit verschiedener potentieller Endlagerstandortorte bzw. -systeme anhand von Dosisindikatoren nicht durch die genannten Prognoseunsicherheiten zu erschweren, sollen zur Gegenüberstellung der Ergebnisse der (vorläufigen) Sicherheitsuntersuchungen gleichartige stilisierte Expositionsszenarien verwendet werden, die möglichst in einer Berechnungsvorschrift festgeschrieben werden.

Bei den (vorläufigen) Sicherheitsuntersuchungen in der Phase 1 des Standortauswahlverfahrens noch vor Beginn gezielter Erkundungsmaßnahmen sollte in Ermangelung einer geeigneten Datenbasis auf die Ermittlung von Dosisindikatoren verzichtet werden. Sie können in die-

sem Stadium des Auswahlprozesses wegen der zwangsläufig noch bestehenden Informationsdefizite nur sehr eingeschränkt einen Beitrag zur Entscheidungsfindung leisten und sind auch/eher geeignet Fehlinterpretationen hervorzurufen.

Zu 5. Bewertung von Ungewissheiten und Sicherheitsreserven sowie der Robustheit des Endlagersystems und seiner Sicherheit

Wie bereits ausgeführt, können die Bewertung der Sicherheit eines Endlagersystems und insbesondere eine vergleichende Gegenüberstellung nicht ausschließlich anhand möglicher Freisetzen in die Biosphäre und daraus resultierender radiologischer Konsequenzen erfolgen. Im Rahmen der (vorläufigen) Sicherheitsuntersuchungen müssen zwangsläufig Ungewissheiten in Kauf genommen werden, die mit zielgerichteten Erkundungsprogrammen abgebaut, aber nicht gänzlich beseitigt werden können. **Diese Ungewissheiten sind daher explizit auszuweisen und in die Bewertung und vergleichende Gegenüberstellung mit einzubeziehen.**

Gemäß § 13 (2) StandAG sind in Phase 1, also vor Beginn der übertägigen Erkundung "*repräsentative vorläufige Sicherheitsuntersuchungen*" durchzuführen. Im Unterschied zu Sicherheitsuntersuchungen in nachfolgenden Phasen des Standortauswahlverfahrens kann dabei noch nicht auf unmittelbar dafür erhobene, sondern nur auf bereits bei den einschlägigen Bundes- und Landesbehörden verfügbaren Daten zurückgegriffen werden, die eher allgemeiner Natur sind. Einen guten Überblick zu diesen Daten geben die Listen 2 bis 4 in der BGR-Unterlage "Geologische Informationen für das spätere Suchverfahren – Datenlisten zum Vortrag von Dr. Bräuer bei der Sitzung der AG3 am 24.11.2015 (K-Drs. AG3-50).

Diese eingeschränkte Datenbasis hat zweifellos unmittelbare Auswirkungen auf den möglichen Tiefgang und die Aussagekraft entsprechender Sicherheitsuntersuchungen und die Sinnfälligkeit der Verwendung einiger **Sicherheitsindikatoren** bis hin zu Dosisberechnungen für kritische Referenzgruppen.

Darüber hinaus müssen im Zuge der Sicherheitsuntersuchungen eine Reihe von in der Regel konservativen Annahmen getroffen werden, die ebenso Sicherheitsreserven darstellen können, wie zusätzlich bisher nicht in Betracht gezogene Eigenschaften des Endlagersystems, die einer Freisetzung in die Biosphäre entgegenwirken. Sie sollten ebenfalls in die Abwägung mit einbezogen werden.

Im Übrigen wird zur Bewertung von Endlagersystemen regelmäßig die Robustheit des Endlagersystems und seiner Sicherheit herangezogen. Darunter wird die Unempfindlichkeit gegenüber inneren und äußeren Auswirkungen bzw. deren Kombination, die in der Regel als weniger wahrscheinlich oder unwahrscheinlich angesehen werden, sowie gegenüber Abweichungen von zugrunde gelegten Annahmen verstanden.

Erst die Zusammenführung und gesamtheitliche Gegenüberstellung aller dieser Gesichtspunkte ermöglicht eine sicherheitsgerichtete Abwägung. Die losgelöste Gegenüberstellung einzelner geologischer Merkmale verschiedener Standorte oder Regionen wird diesem Anspruch nicht gerecht.

Die (vorläufigen) Sicherheitsuntersuchungen bieten ein Gesamtverständnis für das sicherheitsgerichtete Zusammenwirken der verschiedenen Komponenten des Endlagersystems und dabei auch der Auswirkungen dieser oder jener geologischen Merkmale eines Standortes bzw. einer Region und ihrer Ausprägungen auf seine Sicherheit. Ohne sie ist eine belastbare Gewichtung von auf geologische Merkmale bezogenen Abwägungskriterien, eine geeignete quantitative Klassifizierung und insbesondere eine begründete Abwägung untereinander als nicht zielführend.

Abwägungskriterien, die auf sehr unterschiedliche, ggf. wirtsgesteinsspezifische geologische Merkmale abstellen, sind im Sinne bestmöglicher Sicherheit zusammen mit Berechnungen zu den radiologischen Konsequenzen in der Gesamtbewertung in jeder Phase miteinzubeziehen. Die (häufig qualitativen) Abwägungskriterien müssen in der Phase 2 und 3 bei der Gesamtbewertung der Sicherheitsuntersuchung zusammen mit den (quantitativen) Dosisberechnungen berücksichtigt werden.

Ein ähnliches Vorgehen wird auch in der Schweiz angewandt. Eine Bestätigung der Angemessenheit des o.g. Vorschlages und eine konkrete Beschreibung, welches Ziel mit vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen verfolgt wird, welchen Umfang die Sicherheitsuntersuchungen haben sollen und wie sie durchzuführen sind, findet man im Bericht der Schweizerischen ENSI "Anforderungen an provisorische Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich" /7/. Dort heißt es u.a.

"...die geforderte provisorische Sicherheitsanalyse (Anm.: dieser Begriff ist ein Synonym für die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß StandAG) hat zum Ziel, über die Wirkung und das Verhalten der einzelnen Barrieren nach ordnungsgemäßem Verschluss des geologischen Tiefenlagers Auskunft zu geben und zu zeigen, ob die berechneten Dosen unterhalb der Dosis-Schutzkriteriums der Richtlinie ENSI-G03 liegen. Numerische Berechnungen sind Teil der provisorischen Sicherheitsanalysen für den jeweiligen Standort...."

Zu 6. Ableitung des Erkundungs- und FuE-Bedarfs sowie von Optimierungsmöglichkeiten für das Endlagerkonzept

Bei der Implementierung von Endlagerprogrammen haben sich international in Übereinstimmung mit entsprechenden Empfehlungen (siehe u. a. The Nature and Purpose of the Post-closure Safety Cases for Geological Repositories, NEA/RWM/R(2013)1, Seite 15; IAEA Safety Standards, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste for protecting people and the environment, No. SSG-23 Specific Safety Guide, Seite 19) vorläufige Sicherheitsuntersuchungen bzw. -analysen, die mit Fortschreiten des Standortauswahlverfahrens bzw. der Endlagerimplementierung sukzessive weiterentwickelt werden als geeignetes Werkzeug bewährt für die

- zielgerichtete Standorterkundung,
- Steuerung von FuE-Programmen und
- Optimierung von Endlagerkonzepten.

Die Gründe dafür sind naheliegend. Bei der Durchführung vorläufiger Sicherheitsuntersuchungen werden mehr oder weniger zwangsläufig die maßgeblichen Kenntnisdefizite zur Geologie der betrachtenden Standorte, offene Fragestellungen, die in weiterführenden FuE-Arbeiten zu untersuchen sind, und die Optimierungsmöglichkeiten der angesetzten Endlagerkonzepte offenkundig. Die daraus resultierende Steuerungsfunktion der (vorläufigen) Sicherheitsuntersuchungen müssen daher in allen Phasen der Standortauswahl zielgerichtet genutzt werden.

xxx.2.4 Bewertung der Sicherheitsuntersuchungen

Als Bewertungsmaßstab für die Sicherheit werden aus den Sicherheitsanforderungen des BMU für die Phasen zwei und drei jeweils zwei Schutzkriterien wie folgt zu Grunde gelegt (siehe BMU /2/ Abschnitte 6.2 und 6.3):

1. Für die Nachverschlussphase ist nachzuweisen, dass für wahrscheinliche Entwicklungen durch Freisetzung von Radionukliden, die aus den eingelagerten radioaktiven Abfällen stammen, für Einzelpersonen der Bevölkerung nur eine zusätzliche

effektive Dosis im Bereich von 0,01 mS/a (Millisievert pro Jahr) auftreten kann. Dabei sind Einzelpersonen mit einer heutigen Lebenserwartung, die während der gesamten Lebenszeit exponiert werden, zu betrachten.

Unterhalb von 0,01 mS/a gelten alle Standortregionen bzw. Standorte hinsichtlich dieses Schutzkriteriums als gleichwertig.

2. In der Nachverschlussphase ist nachzuweisen, dass für weniger wahrscheinliche Entwicklungen die durch Freisetzung von Radionukliden, die aus den eingelagerten radioaktiven Abfällen stammen, verursachte zusätzliche effektive Dosis für die dadurch betroffenen Menschen 0,1 mS/a (Millisievert pro Jahr) nicht überschreitet. Dabei sind ebenfalls Einzelpersonen mit einer heutigen Lebenserwartung, die während der gesamten Lebenszeit exponiert werden, zu betrachten.

In der Phase 1 sind die Ergebnisse der vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen nur als orientierende Größen zu verstehen, die wegen geringer Kenntnisse zu den standortspezifischen geologischen Verhältnissen noch mit Unsicherheiten behaftet sind und damit keine hinreichend robuste Sicherheitsaussage zulassen (weitgehend nur generische Untersuchung).

Die Ergebnisse der (vorläufig weiterentwickelten oder umfassenden) Sicherheitsuntersuchungen in der Phase 2 und 3 (einschließlich Dosisberechnungen) werden zusammen mit der Bewertung der Abwägungskriterien zur Sicherheit und technischen Machbarkeit dargelegt. Auf diese Weise erfolgt eine sicherheitstechnische Gesamtbewertung der Standortregionen bzw. Standorte unter Berücksichtigung der jeweiligen Vor- und Nachteile. Dadurch kann ein Vergleich von Standortregionen bzw. Standorten erfolgen. Dabei werden die erwartete Entwicklung des Gesamtsystems (Nahfeld und Fernfeld, Geosphäre) sowie seine Robustheit berücksichtigt. Die Variabilität und die Unsicherheit in den Eingangsdaten sind dabei ebenfalls zu berücksichtigen. Des Weiteren sind Modellunsicherheiten darzulegen und aufzuzeigen, wie diesen Rechnung getragen wird.

Beim Vergleich von Standorten dürfen Standorte nicht aufgrund von Dosisdifferenzen ausgeschlossen werden, die nur durch Ungewissheiten der zugrunde gelegten Daten verursacht werden.

Für die Gesamtbeurteilung von Standortregionen bzw. Standorten im Rahmen des Vergleichs solle eine vierstufige qualitative Bewertungsskala („sehr geeignet“, „geeignet“, „bedingt geeignet“, „weniger geeignet“) zu verwenden.

Anmerkung:

Eine grobe Richtzahl für die zu untersuchende Anzahl der Standortregionen bzw. der Standorte in den jeweiligen Phasen muss von der Endlagerkommission noch festgelegt werden (bzw. minimal x Standortregionen und maximal y Standortregionen bzw. Standorte sollen in der Phase 1 (oder 2 oder 3) untersucht werden).

1 Literatur

- /1/ Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und zur Änderung anderer Gesetze – (Standortauswahlgesetz – StandAG) vom 23. Juli 2013
- /2/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle, Stand 30. September 2010

- /3/ Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF): Aspekte eines Standortauswahlverfahrens für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle, Köln, Oktober 2014,
- /4/ Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte, Empfehlungen des AkEnd , Abschlussbericht, Köln, 2002,
- /5/ Bundesamt für Strahlenschutz: Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle. Wirtsgesteine im Vergleich, Salzgitter 2005
- /6/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit und Bau (BMUB): Programm für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (Nationales Entsorgungsprogramm), ENTWURF vom 06. Januar 2015
- /7/ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI (Bericht ENSI 33/075): Anforderungen an provisorische Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich; Sachplan Geologische Tiefenlager, Etappe 2, Brugg, April 2010
- /8/ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI (Bericht ENSI 33/154): Präzisierung zur sicherheitstechnischen Methodik für die Auswahl von mindestens zwei Standortgebieten je für HAA und SMA in Etappe s SGT, Sachplan Geologische Tiefenlager, Etappe 2, Brugg, Januar 2013

und weitere im Text genannte Literatur.