
Entwurf des Berichtsteils zu Teil B – Kapitel 5 (ohne 5.4 und 5.6.3) (Entsorgungsoptionen und ihre Bewertung)

Vorlage der AG 3 für die 24./25. Sitzung der Kommission am 4./5. April 2016

ZWEITE LESUNG BEARBEITUNGSSTAND: 30.03.2016

Diese Version ist die Weiterentwicklung der K-Drs. 160 (Verfasser: Prof. Dr. Armin Grunwald, Dr. Robert Habeck, Michael Sailer), die in der Kommission am 21./22.1.2016 beraten wurde.

(Bitte beachten: Aufgrund von Änderungen im Gesamtinhaltsverzeichnis ist das damalige „Kapitel 4“ inzwischen „Kapitel 5“ geworden.)

Gemäß der Beschlusslage dieser Sitzung wird das in K-Drs. 160 noch enthaltene Kapitel „4.2 Ethische Prinzipien zur Festlegung von Entscheidungskriterien“ nicht mehr in diesem Kapitel enthalten sein, sondern weiter vorne aufgegriffen. Außerdem wird gemäß der Beschlusslage dieser Sitzung das in K-Drs. 160 noch enthaltene Kapitel „4.6.4 Haltepunkte und Zwischenbewertungen durch ein unabhängiges Gremium“ nicht mehr in diesem Kapitel enthalten sein, sondern in der detaillierteren Prozessbeschreibung aufgegriffen; hierzu ist auch noch eine Diskussion zwischen den verschiedenen AGs erforderlich.

In der Beratung in der Kommission am 21./22.1.2016 wurden große Teile der Texte - vor allem ganze Kapitel - in „eckige Klammern“ gesetzt. Aus diesem Grund schlagen die Bearbeiter vor, diese aktualisierte Version ganz zu lesen und dabei erneut festzulegen, welche Teile ggf. „noch in eckigen Klammern verbleiben“. Deshalb sind im folgenden Text keine eckigen Klammern markiert, sondern die Beschlusslage aus dieser Sitzung durch entsprechende Kommentare an den Anfängen der Unterkapitel dargestellt.

Bearbeiter dieser Version: Prof. Dr. Armin Grunwald, Michael Sailer

1	5 Entsorgungsoptionen und ihre Bewertung	
2		
3		
4	Inhalt	
5	5 Entsorgungsoptionen und ihre Bewertung.....	1
6	5.1 Ziele und Vorgehen	2
7	5.2 Kurzüberblick über Entsorgungsoptionen und ihre Einstufung	3
8	5.3 Nicht weiter verfolgte Optionen	4
9	5.3.1 Entsorgung im Weltraum.....	4
10	5.3.2 Entsorgung im antarktischen oder grönländischen Inlandeis	5
11	5.3.3 Entsorgung in den Ozeanen	6
12	5.3.4 Dauerlagerung an oder nahe der Erdoberfläche ohne Endlagerintention	8
13	5.3.5 Tiefengeologische Bergwerkslösung ohne Rückholbarkeit	9
14	5.4 Alternativen zur Endlagerung?	11
15	5.4.1 Langfristige Zwischenlagerung	11
16	5.4.2 Transmutation	11
17	5.4.3 Tiefe Bohrlöcher.....	11
18	5.5 Priorität: Endlagerbergwerk mit Reversibilität/Rückholbarkeit/Bergbarkeit ..	12
19	5.5.1 Grundlagen und Prämissen	12
20	5.5.2 Reversibilität, Rückholbarkeit und Bergbarkeit - Begriffsklärungen.....	13
21	5.5.3 Zeitliche Struktur: Etappenmodell	14
22	5.5.4 Begründung der Priorität	16
23	5.6 Zeitbedarf zur Realisierung	18
24	5.6.1 Zeitz	19
25	5.6.2 Mögden	20
26	5.6.3 Notwendige Zwischenlagerung vor der Endlagerung	20
27		
28		

5.1 Ziele und Vorgehen

Der mit dem StandAG verbundene Neuanfang zur Lösung der Frage nach einer sicheren, gerechten und friedlichen Entsorgung der radioaktiven Abfälle (insbesondere der hoch radioaktiven) besteht nicht nur aus einem Neustart der Standortauswahl. Vielmehr geht es auch darum, grundsätzlich neu über die Art und Weise des Umgangs mit und der Verbringung von diesen Abfällen nachzudenken. Dies bedeutet insbesondere, auch mögliche andere Optionen als die bislang in Deutschland favorisierte Verbringung in einem Endlagerbergwerk in einer tiefen geologischen Formation zu betrachten.

Das Ziel dieses Kapitels ist es, die Optionen, die in der internationalen Debatte um den Umgang mit radioaktiven Abfällen eine Rolle gespielt haben oder noch spielen, zunächst in ihrer Breite darzustellen, um sodann auf der Basis des aktuellen Wissensstandes und nachvollziehbaren Kriterien diejenige Option oder auch diejenigen Optionen zu identifizieren, die im weiteren Prozess neben der bevorzugten Lösung ggf. als Alternativen von Bedeutung sein könnten. Auf diese Weise soll der Auswahlprozess in Bezug auf die letztlich empfohlene Option transparent dargestellt werden.

Dieser Auswahlprozess wurde in der Kommission, vorbereitet durch die Arbeitsgruppe 3, in mehreren vollständig und transparent dokumentierten Schritten vollzogen. Im Beratungsprozess wurde externe Kompetenz in folgenden Formen mit einbezogen:

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Entsorgungspfade der sogenannten Kategorie C: Wissensstand und maßgebliche Aspekte zur Begründung der Einordnung (K.-Drs. AG3-75)
- Anhörung der AG3 zum Thema „Tiefe Bohrlöcher“ am 8. Juni 2015 (K.-Drs. AG3-24, K.-Drs. AG3-25 und K.-Drs. AG3-26)
- Zwei Gutachten zur Transmutation (K-MAT 45 und K-MAT 48)
- Diskussionspapier der ESK Partitioning und Transmutation (K-MAT 35)
- Gutachten Langzeitzwischenlagerung (K-MAT 44)
- DAEF-Kurzstellungnahme zu Endlagerung in tiefen Bohrlöcher (K-MAT 27)
- Report des US-NWTRB zu Endlagerung in tiefen Bohrlöcher (K-MAT 50)
- Gutachten Tiefe Bohrlöcher (K-MAT 52)

5.2 Kurzüberblick über Entsorgungsoptionen und ihre Einstufung

Die Entsorgung radioaktiver Abfälle muss so erfolgen, dass kurz-, mittel- und langfristig keine Gefahren für Mensch und Umwelt entstehen. Bedingt durch die lange Halbwertszeit einiger Radionuklide soll diese Sicherheit für eine Million Jahre gewährleistet werden. Diese extreme Langzeitigkeit der Herausforderung, die radioaktiven Abfälle von der belebten Erdoberfläche fernzuhalten, dominiert die Suche nach verantwortbaren Entsorgungsoptionen. In der Frühzeit der Atomenergie wurde dem Problem der Entsorgung hoch radioaktiver Abfallthema wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Es herrschte der Optimismus vor, dass man zu gegebener Zeit schon eine Lösung finden werde (Radkau 1983¹). In frühen Beiträgen zur Diskussion um Entsorgungsoptionen wurden auch Ideen kolportiert, die aus heutiger Sicht gegenüber den Herausforderungen extrem unangemessen erscheinen. Die Verbringung in unterirdischen Kavernen, die Auflösung und entsprechende Verdünnung im Wasser der Ozeane, oder auch das Vertrauen in den technischen Fortschritt, von dem erwartet wurde, dass dadurch die Probleme auf technische Art gelöst werden könnten, dominierten den Umgang mit dem Problem der radioaktiven Abfälle. Erst im Laufe der Zeit wurde deutlich, wie groß die wissenschaftliche und technische, aber auch die gesellschaftliche Herausforderung eines sicheren, gerechten und friedlichen Umgangs mit diesem Problem ist. Das Ziel, die radioaktiven Abfälle von der belebten Erdoberfläche fernzuhalten, hat einige Optionen wie die Entsorgung im Weltraum, in den Tiefen der Erdkruste (z.B. durch tiefe Bohrlöcher in 3000 - 5000 m Tiefe), in der Tiefsee oder im antarktischen oder grönländischen Inlandeis motiviert. Eine weitere Gruppe von Optionen setzt auf den Faktor Zeit, also auf eine mehrere Jahrhunderte dauernde Zwischenlagerung, in der Erwartung, dass sich bis dahin neue Lösungsoptionen ergeben. Von der Transmutation, also der Umwandlung langlebiger Radionuklide in weniger langlebige oder stabile Nuklide, wird erwartet, das Entsorgungsproblem zumindest vereinfachen zu können. Bergwerkslösungen in tiefen geologischen Schichten können nach dem Maß der Rückholbarkeit der Abfälle unterschieden werden und reichen von einem möglichst raschen und praktisch irreversiblen Verschluss bis hin zur Sicherstellung der Rückholbarkeit für längere Zeiträume und sogar der Bergbarkeit nach Verschluss des Bergwerks. Diese Optionen sind aufgrund ihrer Unterschiedlichkeit mit einer hohen Vielfalt an Randbedingungen, Voraussetzungen, Unsicherheiten und Implikationen verbunden. In diesem Kapitel werden diese Optionen nach ihren Aussichten, zur Problemlösung beitragen zu können, in folgende Kategorien eingeteilt:

Nicht weiter zu verfolgen (Kapitel 5.3): angesichts des derzeitigen und absehbaren Wissensstandes empfiehlt die Kommission, diese Optionen unter Angabe der Argumente und Kriterien nicht weiter zu verfolgen.

Denkbar, aber nicht unmittelbar verfügbar oder nicht vorteilhaft (Kapitel 5.4): Optionen dieser Kategorie könnten in unterschiedlicher Ausprägung ggf. Beiträge zu einer sicheren Lagerung der hoch radioaktiven Abfälle leisten, sie sind aber nach Auffassung der Kommission derzeit technisch nicht hinreichend ausgereift oder verfügbar, um hierauf eine Strategie zum Umgang mit hoch radioaktiven Abfälle aufzubauen. Sie bieten außerdem keinen derzeit sichtbaren Vorteil gegenüber der von der Kommission als prioritär angesehenen Entsorgungsoption.

Aussichtsreich (Kapitel 5.5): diese Optionen (bzw. Optionenfamilie) erscheinen angesichts des gegenwärtigen wissenschaftlich-technischen Wissensstandes als

¹ Zitat muss noch vervollständigt werden

aussichtsreich. Sie sollen aktiv weiterverfolgt und im Detail ausgearbeitet werden, und sie werden dem Deutschen Bundestag zur Umsetzung empfohlen.

Die in den folgenden Kapiteln von der Kommission vorgenommene Zuordnung der Optionen zu den Kategorien erfolgt nach Maßgabe folgender Randbedingungen, Ausschlusskriterien, Einschätzungen und Bewertungen:

- Erfolgsaussicht zur Erreichung des Ziels, die radioaktiven Abfälle dauerhaft von der belebten Erdoberfläche zu isolieren
- Beherrschbarkeit von Technologien und Verfahren, insbesondere von Risiken und Havarien
- geltende völkerrechtliche Vereinbarungen

Auf diese Weise wird der gegenwärtige und absehbare Stand von Wissenschaft und Technik, aber auch von gesellschaftlichen Randbedingungen, z.B. rechtlichen Festlegungen, berücksichtigt, um eine transparente Argumentationslinie für die als aussichtsreich angesehene Option bzw. Optionen zu entwickeln.

5.3 Nicht weiter verfolgte Optionen

Die Kommission hat sich hinsichtlich der als eher unrealistisch eingestuften Entsorgungsoptionen anhand einer Literaturrecherche der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)² über den internationalen Wissensstand informiert und ist nach Diskussion der verfügbaren Informationen zu einer differenzierten, im Tenor ablehnenden Sichtweise bezüglich der im folgenden beschriebenen Optionen gelangt. Angesichts des derzeitigen und absehbaren Wissensstandes und unter Angabe klarer Argumente werden die im Folgenden genannten Entsorgungsoptionen von der Kommission nicht weiter verfolgt und auch nicht für eine zukünftige Beobachtung oder aktive Verfolgung empfohlen.

5.3.1 Entsorgung im Weltraum³

Die Option der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Weltraum wurde besonders in den 1970er und 1980er Jahren untersucht. Federführend waren Wissenschaftler der National Aeronautics and Space Administration (NASA) und der Boeing Aerospace Corporation in den USA. Der Transport in den Weltraum wurde meistens als komplementäre Alternative zur Endlagerung auf der Erde betrachtet und sollte vornehmlich für kleinere Abfallmengen aus separierten langlebigen Nukliden angewendet werden. Für große Abfallmengen kommt die Verbringung in den Weltraum allein aus Kostengründen nicht in Frage.

Die untersuchten Konzepte variieren von der Verbringung der Abfälle in die Sonne über den Transport aus dem Sonnensystem heraus bis hin zur Lagerung auf dem Mond oder in einem hohen Erdbit. Die Umlaufbahnen im inneren Sonnensystem (Erde, Mond) wie auch die Verbrennung in der Sonne wurden schlechter bewertet als z. B. die Verbringung in eine Sonnenumlaufbahn, auf die Mondoberfläche oder ganz aus dem Sonnensystem heraus. Die

² vgl. BGR (2015), Entsorgungspfade der sogenannten Kategorie C: Wissensstand und maßgebliche Aspekte zur Begründung der Einordnung, K-Drs. /AG3-75

³ vgl. im Folgenden BGR (2015), Kapitel 1

1 Verbrennung in der Sonne würde die gefährlichen Substanzen zwar sicher zerstören, wäre
2 aber extrem kostspielig. Erd- und Mondumlaufbahnen wären für die Langzeitlagerung nicht
3 stabil genug.

4 Beim Transport in den Weltraum sind zentrale Probleme in Bezug auf die Sicherheit zu lösen.
5 Rettungsfunktionen müssen vorgesehen werden, die bei Fehlstarts oder anderen
6 Fehlfunktionen während der Versendung zum Einsatz kommen können. Eine Verteilung der
7 radioaktiven Abfälle in der Atmosphäre oder am Boden in der Folge von Havarien muss
8 vermieden werden. Die Abfallstoffe könnten in Form von Cermet, einem hitzebeständigen
9 Material aus Keramik und gesintertem Metall, transportiert werden, um die Ausbreitung von
10 Radionukliden im Fall eines Unfalls zu minimieren. Von Möglichkeiten einer
11 "Fehlerkorrektur" kann man hier wohl nicht sprechen.

12 Die National Academy of Sciences der USA (NAS) hat festgestellt, dass die Option der
13 Endlagerung im Weltraum nicht sicher und praktikabel sei und wohl auch nie sein werde. Sie
14 gilt allgemein als Hochrisikotechnologie. Zusätzlich würden die Kosten um einen Faktor 10
15 über denen der geologischen Endlagerung liegen. Die Wahrscheinlichkeit eines
16 Raketenfehlstarts liegt im Bereich von 1 bis 10 Prozent. Es wäre auch zu berücksichtigen,
17 dass die Separierung langlebiger Radionuklide ein aufwändiges und teures kerntechnisches
18 Verfahren mit Gefährdungsrisiken für das eingesetzte Personal ist. Deutschland könnte
19 aufgrund seiner ungünstigen geographischen Lage diese Abfälle nicht von eigenem
20 Hoheitsgebiet aus in den Weltraum bringen. Für die Endlagerung im Weltraum wären
21 Transporte der Abfälle zu einem Weltraumbahnhof in der Nähe des Äquators erforderlich.

22 Ein völkerrechtlicher Hinderungsgrund ist schließlich Artikel IX des sogenannten
23 *Weltraumvertrages*⁴, in dem sich die Unterzeichner verpflichten, dass bei
24 Forschungsaktivitäten eine schädliche Kontamination des Weltraumes einschließlich des
25 Mondes und anderer Himmelskörper vermieden werden soll. Dieses am 10.10.1967 in Kraft
26 getretene Übereinkommen ist für die Bundesrepublik Deutschland seit dem 10.02.1971
27 rechtsverbindlich.

28
29 Fazit: Die Kommission ist zu der Auffassung gelangt, dass eine Entsorgung radioaktiver
30 Abfälle im Weltraum mit einem inakzeptabel hohen Risiko massiver Radionuklidfreisetzung
31 in der Biosphäre behaftet ist. Dies allein genügt, um eine Verfolgung dieser Option
32 abzulehnen. Die ungelösten technischen und sicherheitlichen Fragen, die selbst im Erfolgsfall
33 erwartbar immensen Kosten und völkerrechtliche Implikationen stützen und bestärken diese
34 Ansicht.

35 36 37 5.3.2 Entsorgung im antarktischen oder grönländischen Inlandeis ⁵

38
39 Bereits 1957 wurde von der National Academy of Sciences der USA (NAS) eine Lagerung in
40 Eis und Permafrost in Betracht gezogen. Das Konzept wurde in verschiedenen Studien
41 entwickelt und anschließend vom US Department of Energy (DoE) bewertet. Vorgeschlagen
42 wurden Zonen in der Antarktis und Grönland, die beide von mächtigen Eiskappen bedeckt
43 sind. Grönland wurde, obwohl es für Schiffstransporte besser erreichbar ist und die
44 Umweltbedingungen weniger extrem sind, aufgrund der Zugehörigkeit zu Dänemark und des
45 Vorhandenseins von Siedlungsbereichen nicht näher betrachtet. Auch in Deutschland wurde

⁴ "Vertrag über die Grundsätze zur Regelung der Tätigkeiten von Staaten bei der Erforschung und Nutzung des Weltraums einschließlich des Mondes und anderer Himmelskörper" vom 10. Oktober 1967, ratifiziert für die Bundesrepublik Deutschland am 10. Februar 1971.

⁵ vgl. im Folgenden BGR (2015), Kap. 2

Ende der 1950er Jahre über die Entsorgung in den polaren Eiskappen nachgedacht, der Ansatz aber Anfang 1960 endgültig vom damaligen Bundesministerium für Atomfragen verworfen. Aufgrund der erwartbar hohen Transport- und Konditionierungskosten kämen vornehmlich hoch radioaktive Abfälle in Betracht. Sie sollten entweder von einem 50-100 m tiefen Bohrloch im Eis aus durch ihre Wärmeentwicklung selbstständig bis zur Gesteinsoberfläche unterhalb des Eises absinken, oder müssten durch Verankerungen an der Oberfläche in einer bestimmten Position gehalten werden. Es liegen hierzu auch patentierte Konzepte vor. Dabei wurde angenommen, dass die Antarktis seit 200 Millionen Jahren auch während wärmerer Klimaperioden ununterbrochen vereist war. Zweifel an der sicheren Vorhersagbarkeit der für eine sichere Endlagerung notwendigen klimatischen Bedingungen wurden allerdings schon in den 70er Jahren geäußert und in der Zwischenzeit ja auch bestätigt. Gegenwärtig wird die Idee der Lagerung in Eis und Permafrost wegen der anhaltenden globalen Erwärmung mit abschmelzenden Eismassen und der sehr empfindlichen arktischen und antarktischen Ökologie stark in Zweifel gezogen. Frühere Annahmen zur Ausdehnung von Eisflächen, die über mehr als 10.000 Jahre existieren können, sind nach heutigem Erkenntnisstand nicht haltbar. Es bestehen nach wie vor Wissenslücken z.B. zur Gletscherdynamik oder zu den (sicherheits-) technischen Voraussetzungen. Beispielsweise ist die Wirkung einer starken Hitzequelle im Eis oder an seiner Basis nur schwer abschätzbar. Nach Artikel 5 des am 23.06.1961 in Kraft getretenen Antarktisvertrags und seinen zahlreichen Folgeverträgen ist die Lagerung radioaktiver Abfälle in der Antarktis bislang völkerrechtlich ausgeschlossen. Hinzu kommt, dass eine Einlagerung in Eis außerhalb der Grenzen Deutschlands erfolgen müsste und damit entsprechende Transporte erforderlich machen würde.

Fazit. Die Kommission sieht in der Verbringung hoch radioaktiver Abfälle in arktische oder antarktische Inlandeisregionen keine im Hinblick auf den langen Nachweiszeitraum hinreichend sichere Form der Endlagerung und lehnt sie aus diesem Grund ab.

5.3.3 Entsorgung in den Ozeanen⁶

Ozeane als mögliche Orte einer Entsorgung des radioaktiven Abfalls wurden bereits in der Frühzeit der Erforschung der Kernenergie in Betracht gezogen, und zwar (a) in Bezug auf die Verdünnungswirkung in den riesigen Wassermengen, (b) mit Blick auf große Sedimentschichten am Grund der Ozeane, und (c) zur Verbringung der Abfälle in Subduktionszonen. Diese drei Optionen werden im Folgenden einzeln kurz diskutiert, gefolgt von der Darstellung der alle drei gleichermaßen betreffenden rechtlichen Lage.

(a) Verdünnungsprinzip:

Die erste Meeresversenkung radioaktiver Abfälle wurde von den USA bereits 1946 durchgeführt. Im Rahmen von Regelungen durch die Internationale Atomenergiebehörde (IAEA) wurden noch bis in die 1980er Jahre von einigen kernenergienutzenden OECD-Staaten vornehmlich schwach radioaktive Abfälle im Meer entsorgt. In Containern oder Fässern verpackte Abfälle wurden zumeist im Nordatlantik und nordöstlichen bzw. westlichen Pazifik versenkt. Die Abwurfzonen befanden sich weit entfernt von Küsten und aktiven Plattenrändern in Wassertiefen zwischen 2000 und 4000 m. Das Gefährdungsrisiko des Verfahrens wurde noch 1985 in einem Bericht der Nuclear Energy Agency der OECD (NEA) für einige Abfallarten als relativ gering eingestuft, in der Annahme, dass die Schadstoffe mit

⁶ vgl. im Folgenden (BGR 2015), Kapitel 3

1 ihrer Aktivität schnell in einer sehr großen Wassermenge verdünnt und weiträumig verteilt
2 werden, wodurch die geforderten Grenzwerte eingehalten werden könnten.
3 Ein Moratorium der Unterzeichnerstaaten der *London Dumping Convention*⁷ beendete diese
4 Praxis, und seit 1994 ist die Versenkung schwach radioaktiver Abfälle untersagt. Gegen das
5 Verdünnungsprinzip spricht zum einen, dass es schwierig ist, eine gänzlich unschädliche
6 Konzentration anzugeben. Zum anderen könnte die Verdünnung durch verschiedene
7 Anreicherungseffekte in Sedimenten oder der Nahrungskette aufgehoben werden, was dann
8 wegen der praktisch irreversiblen Methode kaum korrigierbar wäre.
9

10 (b) Sedimentschichten unterhalb des Meeresbodens:

11 Als mögliche Methoden für die Lagerung in Sedimentschichten unterhalb des Meeresbodens
12 wurden in der Fachwelt bisher zwei Verfahren näher betrachtet. Bei dem einen werden
13 speziell angefertigte stromlinienförmige und mehrere Tonnen schwere Abfallbehälter von
14 Bord eines Schiffes abgeworfen, die sich bis zu 30 Meter tief in unverfestigte weiche
15 Sedimente am Meeresboden bohren sollen. Dies wurde in den 1980er Jahren erfolgreich in
16 der atlantischen Tiefsee getestet

17 Bei einem anderen (nicht in der Praxis getesteten) Verfahren sollen die Abfälle in
18 Bohrlöchern von einigen hundert Metern Tiefe in verfestigten oder unverfestigten Sedimenten
19 gelagert werden, die abschließend mit Beton zu versiegeln wären. Als Ergebnis von
20 Untersuchungen der Nuclear Energy Agency (NEA) der OECD liegen eine Reihe von
21 Abschlussberichten zur Machbarkeit der Einlagerung von hochradioaktiven Abfällen in
22 Tiefseesedimenten vor.

23 Für diese Versenkung in marinen Sedimentschichten sprechen aus technischer Sicht die
24 relativ geringe Störfallwahrscheinlichkeit und die günstigen Eigenschaften von
25 Tiefseesedimenten mit hohem Rückhaltevermögen⁸. Kritisch sind allerdings lange
26 Transportwege, eine höhere Unfallwahrscheinlichkeit auf See, das Risiko von Havarien und
27 von Korrosionsleckagen an Metallcontainern im Salzwassermilieu, die praktisch nicht
28 vorhandene Möglichkeit der Fehlerkorrektur bzw. Rückholung sowie Risiken für das
29 eingesetzte Personal während des Transportes und der Einlagerung. Weiterhin gibt es große
30 Wissenslücken bezüglich der Tiefseebedingungen, in denen die Last der Entsorgung auf die
31 internationale Gemeinschaft abgeschoben wird. Hinzu kommt, dass Störfälle nicht
32 beherrschbar sind und hoher technischer Entwicklungsaufwand betrieben werden muss, um
33 die Machbarkeit zu gewährleisten Nach Einschätzung des AkEnd⁹ stehen für die Erschließung
34 derartiger Endlagerstandorte und die nachfolgende Einlagerung keine erprobten
35 Techniken zur Verfügung.
36

37 (c) Entsorgung in Subduktionszonen:

38 Die Überlegung, radioaktive Abfälle in Subduktionszonen¹⁰ zu entsorgen, verdankt sich vor
39 allem dem Argument, dass die Abfälle durch den Prozess des Abtauchens einer tektonischen
40 Platte in den Erdmantel von der Biosphäre isoliert werden könnten. Das „Abtauchen“ erfolgt
41 mit einer Rate von einigen Zentimetern pro Jahr relativ langsam. Dies reiche aber aus, um die
42 Diffusionsgeschwindigkeit von Radionukliden zu übertreffen, so dass mit ihrer Freisetzung in
43 die Ozeane hinein nicht zu rechnen sei.
44 Allerdings erhöht sich durch die tektonische Aktivität entlang der Grabenzonen auch die
45 Wahrscheinlichkeit, dass die Sicherheit eines derartigen Endlagers schon frühzeitig und vor

⁷ London Dumping Convention: Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, LC72)

⁸ vgl. AkEnd (2002)

⁹ vgl. AkEnd 2002

¹⁰ Subduktionszonen sind „Abtauchzonen“, in denen Teile der Erdkruste aufgrund der geotektonischen Plattenbewegungen an „aktiven Plattenrändern“ in den Erdmantel abtauchen

dem Eindringen in den Erdmantel beeinträchtigt werden könnte und Radionuklide freigesetzt würden. Diese Unsicherheit bei der Prognose der geologischen Abläufe und damit des Weges, den die Abfälle letztendlich nehmen, stellte ein Problem dar. Schließlich wären bei einem derartigen Verfahren Fehlerkorrektur und ggf. Rückholung der Abfälle kaum vorstellbar.

Die Versenkung von festen radioaktiven Abfällen auf oder in den Meeresgrund ist mittlerweile durch mehrere internationale Abkommen untersagt. Dies beruht auf Zweifeln hinsichtlich des letztendlichen Verbleibs des Abfälle und auf der Einsicht, dass einige wenige Länder nicht die von allen geteilte marine Umwelt verunreinigen sollten. Die *London Dumping Convention* (s.o.) ist seit 1975 in Kraft. Durch die 1996 erfolgte Ergänzung durch das *London Protocol*¹¹ ist nicht nur die Entsorgung auf, sondern auch im Meeresboden und im tieferen Meeresuntergrund ausgeschlossen. Die einzige Ausnahme wäre ein von Land aus erreichbarer Bereich unterhalb des Meeresbodens. Damit sind einer möglichen Endlagerung radioaktiver Abfälle in den Ozeanen in allen oben genannten Formen - auch unbeschadet der oben genannten Sicherheitsbedenken, mangelnder technischer Nachweise und geologischer Unsicherheiten - klare völkerrechtliche Riegel vorgeschoben.

Transportnotwendigkeiten und die Notwendigkeit der Nutzung internationaler Gewässer sprechen genauso gegen diese Optionen wie die schlechten bis gar nicht vorhandenen Methoden der Fehlerkorrektur und Rückholung.

Fazit: Die Kommission ist der Auffassung, dass eine mit anderen Formen der Endlagerung vergleichbare Sicherheit für marine Entsorgungsstrategien wie die Verdünnung oder die praktisch irreversible Versenkung in Tiefseesedimenten oder Subduktionszonen nicht nachweisbar sein wird. Nach heutiger internationaler Meinung sind sie als Entsorgungsstrategie für hoch radioaktive Abfälle nicht akzeptabel. Die Kommission sieht keinen Grund, die diesbezüglich geltenden internationalen Verbote aufzukündigen und lehnt daher ein Weiterentwicklung mariner Entsorgungsstrategien für radioaktive Abfälle ab.

5.3.4 Dauerlagerung an oder nahe der Erdoberfläche ohne Endlagerintention¹²

Die oberflächennahe Lagerung hochradioaktiver Abfälle ist derzeit zur Zwischenlagerung als Vorstufe zur späteren Endlagerung gängige Praxis. In einigen Ländern wird auch über eine oberflächennahe Langzeitlagerung nachgedacht, bis eine geeignete Endlagermethode zur Verfügung steht (vgl. Kapitel 5.4.1). An dieser Stelle soll es jedoch nur um Lagerungsoptionen gehen, die *keine* spätere Endlagerung in den Blick nehmen (daher „Dauerlagerung“).

Für eine Dauerlagerung der Abfälle auf unabsehbare Zeit in Form eines oberirdischen oder oberflächennahen und ständig zu kontrollierenden und kontrollierbaren Lagers sind nicht nur, wie bei Endlagerkonzepten, zeitlich begrenzte Kontroll- und Monitoringmaßnahmen eingeplant, sondern die Abfälle sollen *jederzeit* inspizier- und problemlos rückholbar sein. Die Aufrechterhaltung des Sicherheitskonzepts ist nur im Rahmen einer langfristigen gesellschaftlichen Kontrolle zu gewährleisten.

Vorteile des Verfahrens sind die permanente Zugänglichkeit der Abfälle, ihre Überwachbarkeit und die Möglichkeit sofortiger Intervention bei Störfällen.

Im Falle eines technischen Fortschrittes bei den Einlagerungsmethoden oder der Abfallbehandlung könnten die radioaktiven Substanzen entweder teilweise wieder nutzbar oder in ihrem Risikogehalt vermindert werden. Zudem führen die Optionen, die Abfälle

¹¹ London Protocol: "1996 protocol to the convention on the prevention of marine pollution by dumping of wastes and other matter, 1972 (as amended in 2006)"

¹² vgl. im Folgenden BGR 2015, Kap. 4

1 zukünftigen fortschrittlicheren Methoden zuführen zu können und die Möglichkeit
2 Maßnahmen bei Störfällen ergreifen zu können, oftmals zu höherer Akzeptanz in der
3 Bevölkerung.

4 Der entscheidende Faktor hierbei ist jedoch die Langlebigkeit und Stabilität des
5 Überwachungskonzepts einschließlich der beauftragten Institutionen. In dem in der Schweiz
6 sogenannten *Hüte-Konzept* soll die Verantwortung zur Überwachung eines oberirdischen
7 Lagers über Generationen weitergegeben werden. In einem an schwedische Verhältnisse
8 angepassten Ansatz sollen die Abfälle in trockenen Gesteinsschichten knapp unter der
9 Erdoberfläche eingelagert werden. Beide Ansätze wurden nicht weiterverfolgt.

10 Die Dauerlagerung widerspricht der aus den ethischen Prinzipien abgeleiteten Forderung, dass
11 die Entsorgungslösung so auszugestalten ist, dass sie kein dauerhaftes aktives Tun für
12 kommende Generationen auslöst, sondern ohne eine gegenläufige Entscheidung auf einen
13 sicheren Endzustand für die Entsorgung zuläuft (s. Kapitel 4.2.5). Im Übrigen stellt die
14 Verlässlichkeit der beauftragten Institutionen über eine extrem lange Zeitspanne den größten
15 Unsicherheitsfaktor dar. Aus diesem Grund geht die IAEA davon aus, dass derartige
16 Verfahren nur für kurzlebige Isotope sinnvoll anwendbar ist
17 In die gleiche Richtung tendiert auch die Schweizer Nationale Genossenschaft für die
18 Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA), die die gesellschaftliche der geologischen Stabilität
19 gegenüberstellt

20 Daher ist die baldige Endlagerung gegenüber Optionen mit Überwachung zu bevorzugen, da
21 weder bezüglich der (Langzeit-)Sicherheit noch der ethischen Begründbarkeit Vorteile der
22 Dauerlagerung erkennbar sind. Die *Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive*
23 *Abfälle* kommt zu dem Schluss, dass die Langzeitsicherheit nicht durch eine überwachte
24 Dauerlagerung, sondern nur durch geologische Konzepte gewährleistet werden. Ein plausibler
25 Nachweis der Funktion gesellschaftlich-institutioneller Schutzsysteme über den erforderlichen
26 Zeitraum erscheint nicht möglich. Stabile gesellschaftliche Verhältnisse über Jahrtausende
27 oder länger anzunehmen widerspricht der historischen Erfahrung, während viele geologische
28 Konstellationen eine hohe zeitliche Stabilität haben, die als passive Schutzsysteme genutzt
29 werden können.

30 Weitere Kritikpunkte neben der unsicheren Prognose hinsichtlich gesellschaftlicher und
31 politischer Entwicklungen sind die Gefahr von Unfällen (z.B. durch mangelnde Wartung) und
32 Angriffen durch Krieg oder Terrorismus, die Proliferationsgefahr, der große organisatorische
33 und finanzielle Aufwand für zukünftige Generationen und klimatische Unwägbarkeiten.

34
35 Fazit: Die Kommission sieht in einer überwachten Dauerlagerung keine realistische Option
36 für den nachweisbar sicheren, langzeitigen Umgang mit radioaktiven Abfällen. Eine aktive
37 Verfolgung einer derartigen Strategie wird von der Kommission daher abgelehnt.

38 39 40 5.3.5 Tiefengeologische Bergwerkslösung ohne Rückholbarkeit

41
42 Das Verbringen der radioaktiven Abfälle in einem eigens dazu angelegten Bergwerk in einer
43 tiefen geologischen Formation gehört zu den bestuntersuchten Entsorgungsoptionen. Die
44 meisten Ansätze sehen vor, ein Endlagerbergwerk in einer Tiefe von 500 - 1000 Meter in
45 einer geeigneten geologischen Formation zu errichten, deren langzeitige Stabilität den weitaus
46 größten Teil der Erfüllung der Sicherheitsanforderungen übernehmen soll¹³. Als Wirtsgestein
47 kommen nach gegenwärtigem Wissensstand Salz, Tonstein und Kristallingestein (z.B. Granit)
48 in Frage, deren Wahl jeweils Auswirkungen auf die erforderliche Bergwerkstechnologie und
49 die notwendigen Sicherheitsnachweise hat.

¹³ vgl. AkEnd 2002

Kommentiert [sal1]: Das Kapitel "Ethische Prinzipien"
wurde hier gelöscht. Neuer Verweis muss noch geprüft werden

1 Die Option eines Endlagerbergwerks wird auch von der Kommission als verfolgenswerte
2 Option empfohlen (Kapitel 5.5), jedoch mit einem zentralen Unterschied zu der Version, die
3 hier als nicht verfolgenswert eingestuft wird. Dieser Unterschied betrifft die *Rückholbarkeit*
4 der Abfälle. Man kann zwar sagen, dass die Rückholbarkeit der Abfälle nur eine Frage des
5 Aufwandes sei. In jeder tiefeingeologischen Konstellation ist „im Prinzip“ eine Rückholung
6 möglich. Der Aufwand für und die Risiken von einer Rückholung können jedoch extrem
7 unterschiedlich sein. Dementsprechend macht es einen großen Unterschied, ob die
8 Rückholbarkeit bereits von Anfang an unter bestimmten Bedingungen und in bestimmten
9 Zeiträumen vorgesehen wird, oder ob ein möglichst schneller Verschluss des
10 Endlagerbergwerks ohne Rücksicht auf eine Rückholbarkeit angestrebt wird.
11 Für einen schnellen und endgültigen Verschluss spricht vor allem das Argument, dass keine
12 Nachsorge erforderlich wäre. Idealer Weise gäbe es keine Anforderungen an eine länger
13 dauernde Kontrolle des Endlagerbergwerks, weil die geologische Formation die geforderte
14 Sicherheit garantieren soll. Zukünftigen Generationen würden weder Kosten durch Nachsorge
15 noch Belastungen durch Risiken entstehen. Die notwendige Wissensweitergabe wäre
16 beschränkt auf die Kenntnis des Standortes, damit dort nicht in späteren Zeiten Nutzungen
17 vorgesehen würden, die mit dem Risiko radiologischer Freisetzungen verbunden sein
18 könnten.
19 Die Kritik an diesem Ansatz betrifft vor allem die Frage, ob die Prämissen überhaupt erfüllbar
20 sind. Die zentrale Prämisse ist, dass eine technisch/geologisch *absolut sichere* Lösung
21 möglich ist, dass also Sicherheitsnachweise so verlässlich geführt werden können, dass
22 zukünftige Generationen vor möglichen Schädigungen durch die Abfälle garantiert geschützt
23 sind. Diese Prämisse entstammt einem technisch/naturwissenschaftlichen Machbarkeitsideal,
24 das durch die Bewusstwerdung der Ambivalenz von Technik¹⁴, insbesondere im Auftreten
25 nicht intendierter Folgen, in grundlegende Zweifel geraten ist. In einer ethischen Analyse
26 wurde sogar das Ergebnis erzielt, dass eine Endlagerung ohne Rückholbarkeit, die ja
27 eigentlich zukünftige Generationen von Belastungen möglichst freihalten soll, zu besonders
28 großen Risiken für diese führen könne¹⁵.
29 Wenn jedoch die Machbarkeit einer garantierten sicheren Lösung in Zweifel gerät, muss es
30 unter ethischen Gesichtspunkten kommenden Generationen grundsätzlich möglich bleiben,
31 Einschätzungen aus früherer Zeit zu revidieren und durch eigene Bewertungen zu ersetzen (s.
32 Abschn. 4.2.5). Erst recht müssen Vorkehrungen getroffen werden, um mit unerwarteten
33 Entwicklungen verantwortlich umgehen zu können. Genau diese Argumentation führt auf die
34 auch im StandAG genannten Anforderungen an die Möglichkeit von Fehlerkorrekturen und
35 Rückholbarkeit und somit zu einem Ausschluss von Optionen, die keine Rückholbarkeit
36 vorsehen.
37
38 Fazit: Die Kommission ist der Auffassung, dass eine geologische Endlagerung ohne
39 Vorkehrungen, die eine Rückholung der Abfälle zur Fehlerkorrektur ermöglichen, nicht mehr
40 den heutigen Anforderungen und dem Bedürfnis nach Kontrollierbarkeit entspricht und
41 empfiehlt daher, Überlegungen zur Endlagerung ohne Rückholoption nicht weiter zu
42 verfolgen.
43
44
45

Kommentiert [sal2]: Das Kapitel "Ethische Prinzipien" wurde hier gelöscht. Neuer Verweis muss noch geprüft werden

¹⁴ vgl. Grunwald, A. (2010): Technikfolgenabschätzung. Eine Einführung. Berlin: edition sigma

¹⁵ vgl. Kalinowski, M., Borchert, K. (1999): Die Langfristlagerung hochradioaktiver Abfälle als Aufgabe ethischer Urteilsbildung. Teil 1: ETHICA 7, S. 7-28, Teil 2: ETHICA 7, S. 115-142

1 **5.4 Alternativen zur Endlagerung?**

2 Einleitung zu Kapitel 5.4: aktuelle Version s. K-Drs. Xxx (parallel verteilt zur Diskussion in
3 der Kommission am 04.04.2016)

4
5 5.4.1 Langfristige Zwischenlagerung

6 aktuelle Version s. K.-Drs. 182 (am 13.03.2016 in der Kommission diskutiert)

7
8 5.4.2 Transmutation

9 aktuelle Version s. K.-Drs. 183 (am 13.03.2016 in der Kommission diskutiert)

10
11 5.4.3 Tiefe Bohrlöcher

12 aktuelle Version s. K-Drs. Xxx (parallel verteilt zur Diskussion in der Kommission am
13 04.04.2016)

14

Kommentiert [MS3]: Hieß früher: Optionen zur weiteren Beobachtung und ggf. Erforschung

Kommentiert [sal4]: geänderte Reihenfolge: 5.4.2
Wird bei Zusammenstellung geändert

Kommentiert [sal5]: geänderte Reihenfolge: 5.4.3
Wird bei Zusammenstellung geändert

Kommentiert [sal6]: geänderte Reihenfolge: 5.4.1
Wird bei Zusammenstellung geändert

5.5 Priorität: Endlagerbergwerk mit Reversibilität/Rückholbarkeit/Bergbarkeit

Die Kommission kommt nach Diskussion über die Entsorgungsoptionen zu dem Schluss, dass die bislang in Deutschland verfolgte Option eines Endlagerbergwerks die beste Möglichkeit zu einer sicheren Entsorgung bietet - allerdings mit einer erheblichen konzeptionellen Änderung. Gegenüber früheren Ansätzen, in denen ein möglichst rascher Verschluss ohne besondere Berücksichtigung einer späteren Rückholbarkeit der Abfälle vorgesehen war, nimmt die Kommission eine veränderte Perspektive ein. Sie misst der Reversibilität von Entscheidungen und der Rückholbarkeit bzw. Bergbarkeit der Abfälle hohe Bedeutung bei (anders als in der Option in Kapitel 5.3.5), z.B. um Fehlerkorrekturen (wie im StandAG gefordert) zu ermöglichen, aber auch um zukünftigen Generationen Handlungsoptionen und Entscheidungsspielräume offen zu halten.

Im Folgenden werden zunächst die Grundannahmen und Prämissen der Option erläutert (5.5.1), um sodann die hier maßgeblichen Begriffsklärungen vorzunehmen (5.5.2), ihre Phasen entlang der Zeitachse kurz zu beschreiben (5.5.3). Schließlich werden die zentralen Argumente genannt, die die Endlagerkommission bewogen haben, auf diese Option zu setzen (5.5.4).

5.5.1 Grundlagen und Prämissen

Mit dieser Option wird das letztendliche Ziel verbunden, ein Endlager in einer tiefen geologischen Formation in Form eines Bergwerks zu errichten, das in einer (mehr oder weniger fernen) Zukunft verschlossen werden soll und keine Belastungen der Biosphäre und zukünftiger Generationen verursacht. Diese Option ist in sich selbst vielgestaltig und kann aus sehr unterschiedlichen Prozesswegen bestehen. Unter Prozesswegen versteht die Kommission klar angebbare Schritte und Abläufe im Gesamtprozess der Suche nach einem Standort mit der bestmöglichen Sicherheit, der Errichtung eines Endlagerbergwerks, der Befüllung mit den Abfällen und dem Verschluss. Dabei sind eingeschlossen alle Schritte der Beobachtung und Auswertung, also des Prozess- und Endlagermonitoring (vgl. Kapitel 6.4.6). Diese Prozesswege müssen zu Beginn des Verfahrens in allen Schritten plausibel dargestellt werden, um die Erwartung zu begründen, auf diesem Weg eine nachhaltige, verantwortliche und sichere Lösung für den Umgang mit den hoch radioaktiven Abfällen zu ermöglichen.

Selbstverständlich bleibt es zukünftigen Generationen offen, die Prozesswege im Detail zu gestalten. Dies gilt auch für die Festlegung wichtiger Zeitpunkte und die Modalitäten, ja sogar dafür, über das „ob überhaupt“ eines ‚endgültigen‘ Verschlusses zu befinden. Das heutige von der Kommission mit dieser Option verbundene Ziel ist jedoch *ein sicher verschlossenes Endlagerbergwerk*. Nur dies entspricht der aus den ethischen Prinzipien abgeleiteten Forderung, dass der eingeschlagene Weg von künftigen Generationen durch bloßes Unterlassen von Kurskorrekturen zu Ende geführt werden können muss und dass Reversibilität nur ein Angebot an künftige Generationen sein darf, das diese bei Normalverlauf nicht annehmen müssen (s. Abschn. 4.2.5). Entscheidungskriterien und Verfahrensschritte sind so festzulegen, dass dieses Ziel erreicht werden kann (hierzu im Detail Kapitel 6).

Die Gestaltung der Prozesswege bis hin zu einem verschlossenen Endlagerbergwerk soll die Realisierung eines Endlagers in einem Zeitrahmen ermöglichen, der sich am StandAG orientiert, und ein Höchstmaß an Lernmöglichkeiten und Möglichkeiten der Reversibilität garantieren. Reversibilität, also die Möglichkeit zur Umsteuerung im laufenden Verfahren, ist erforderlich, (1) um Fehlerkorrektur zu ermöglichen, (2) um Handlungsoptionen für

Kommentiert [sal7]: Das Kapitel "Ethische Prinzipien" wurde hier gelöscht. Neuer Verweis muss noch geprüft werden

1 zukünftige Generationen offenzuhalten, z.B. zur Berücksichtigung neuer Erkenntnisse, und
2 kann (3) zum Aufbau von Vertrauen in den Prozess beitragen. Konzepte der Rückholbarkeit
3 oder Bergbarkeit der Abfälle bzw. der Reversibilität von Entscheidungen sind dafür zentral.
4 Bevor unumkehrbare oder nur unter großem Aufwand revidierbare Entscheidungen getroffen
5 werden, muss an Meilensteinen im Prozess eine transparente und wissenschaftlich gestützte
6 Evaluation unter Beteiligung von Gremien und der Öffentlichkeit durchgeführt werden (zur
7 institutionellen Absicherung s. Kapitel 5.5.4). Um die Notwendigkeit von Umsteuerungen im
8 Prozess, z.B. zur Fehlerkorrektur, überhaupt erkennen zu können, bedarf es geeigneter
9 Formen des Monitoring (vgl. dazu Kapitel 6.4.6).

10 Die (insbesondere) hoch radioaktiven Abfälle werden von der Kommission als *Abfälle zur*
11 *Entsorgung* angesehen, die dauerhaft sicher gelagert werden müssen. Dass eine
12 Rückholbarkeit der Abfälle vorgesehen wird, geschieht ausschließlich in Hinblick auf die
13 dauerhaft sichere Lagerung der Abfälle (s. Abschn. 4.2.5), keinesfalls dahingehend, die
14 Abfälle möglicherweise in Zukunft als Wertstoffe zu nutzen. Freilich stünde es zukünftigen
15 Generationen frei, dies anders zu sehen.

16 Bei der Auswahl des Standorts mit der bestmöglichen Sicherheit (Kapitel 6.3) kommt es
17 grundsätzlich nicht nur auf das Wirtsgestein an, sondern auch auf die geologische
18 Gesamtsituation und die standortangepasste Kombination von Wirtsgestein und zugehörigem
19 technischem wie organisatorischem Endlagerkonzept. Die Frage, ob Salz, Tonstein oder
20 Kristallingestein am besten geeignet sind, kann ohne Angabe des jeweiligen
21 Endlagerkonzeptes nicht abschließend beantwortet werden und stellt sich auf dieser Ebene
22 nicht.

23 In dem ab etwa 2017 vorgesehenen Standortauswahlverfahren müssen alle für die möglichen
24 Prozesswege hin zu einem verschleißbaren Endlagerbergwerk relevanten Aspekte bedacht
25 werden. Dazu gehören neben der Festlegung der Entscheidungskriterien und der
26 Verfahrensschritte auch die Berücksichtigung der Anforderungen der
27 Rückholbarkeit/Bergbarkeit der Abfälle. Andererseits sollen möglichst wenige
28 Vorentscheidungen getroffen werden, damit den zukünftigen Generationen Möglichkeiten des
29 Umschwenkens auf andere Optionen offen bleiben. Damit wird dem Umstand Rechnung
30 getragen, dass es nicht möglich ist, die ethischen Prinzipien bereits heute abschließend in
31 einen Ausgleich zu bringen, sondern dies bis auf weiteres eine Daueraufgabe bleibt (vgl.
32 Kapitel 4.2.5). Heute angestellte Gedanken über teils weit entfernte zukünftige Entwicklungen
33 dienen deshalb nicht dem Zweck, diese vorweg festzulegen, sondern herauszufinden, was
34 alles bereits zu Beginn des Standortauswahlverfahren bedacht werden muss, damit im
35 Ergebnis des Verfahrens der Standort mit bestmöglicher Sicherheit ausgewählt wird, und zu
36 zeigen, wie der Prozessweg dorthin aus heutiger Sicht gestaltet werden kann.

39 5.5.2 Reversibilität, Rückholbarkeit und Bergbarkeit - Begriffsklärungen

40 Die Gestaltung des Prozessweges bis hin zu einem verschlossenen Endlagerbergwerk soll die
41 Realisierung eines Endlagers in einem Zeitrahmen ermöglichen, der sich am StandAG
42 orientiert, und ein Höchstmaß an Lernmöglichkeiten und Möglichkeiten für Fehlerkorrektur
43 und zur Berücksichtigung neuer Erkenntnisse garantieren. Konzepte der Rückholbarkeit oder
44 Bergbarkeit der Abfälle bzw. der Reversibilität von Entscheidungen sind dafür zentral.
45 Folgende Begriffsverständnisse liegen den weiteren Ausführungen zugrunde:

- 46 • **Reversibilität** von Entscheidungen bedeutet, einmal getroffene Entscheidungen
47 rückgängig machen und auf ggf. andere Entsorgungspfade umsteigen zu können, z.B.
48 aufgrund neuer und attraktiver erscheinender technischer Möglichkeiten oder aufgrund
49
50

Kommentiert [sal8]: Das Kapitel "Ethische Prinzipien" wurde hier gelöscht. Neuer Verweis muss noch geprüft werden

Kommentiert [sal9]: Verweis auf ethische Prinzipien muss neu verortet werden.

neu erkannter Probleme mit dem ursprünglichen Plan. Entscheidungsumkehr ist in der Regel mit Zeitbedarf und Kosten verbunden. Die Kosten dürften umso höher sein, in je späterem Stadium die Umkehr erfolgt.

- **Rückholbarkeit** ist die Fähigkeit, hochradioaktiven Abfall aus einem Endlager wieder zurückzuholen, wenn dieser bereits in einem Endlager eingelagert ist und die Einlagerungsstrecken bzw. die Einlagerungsbohrlöcher teilweise endgültig verfüllt bzw. technisch verschlossen sind. Rückholung ist die konkrete Handlung, mit der die Abfallbehälter aus dem Endlager zurückgeholt werden. Rückholbarkeit setzt voraus, dass Vorkehrungen getroffen worden sind, die – ohne Beeinträchtigung der Sicherheit – eine Rückholung der Abfallbehälter erleichtern bzw. gewährleisten, dass also entsprechende Technologien von der Infrastruktur bis hin zu den Behältern verfügbar sind.
- **Bergbarkeit** wird als die Möglichkeit der Rückholung von Behältern mit hochradioaktivem Abfall verstanden, wenn das Endlagerbergwerk bereits vollständig verschlossen ist. Dies kann z.B. durch das Auffahren eines zweiten Bergwerks in Nachbarschaft zu dem ursprünglichen Endlagerbergwerk erfolgen, über das die Bergung erfolgen kann. Voraussetzungen dafür sind die genaue Kenntnis der Lage der Abfälle zum Zeitpunkt der Einlagerung sowie der intakte Zustand der Behälter.

Die Sicherstellung von Reversibilität im Prozess sowie Rückholbarkeit und Bergbarkeit der Abfälle bedeutet nicht, dass irgendetwas davon zum heutigen Zeitpunkt bereits beabsichtigt wäre. Es geht ausschließlich darum, diese Möglichkeiten offen zu halten. Warum spätere Generationen vielleicht die Abfälle rückholen wollen, kann und darf heute nicht entschieden werden. Das Anliegen der Kommission ist es, Möglichkeiten der Reversibilität (z.B. zur Fehlerkorrektur), zur Rückholbarkeit (z.B. um auf andere Pfade zu wechseln) und zur Bergbarkeit (im Falle unvorhergesehener negativer Entwicklungen im verschlossenen Endlager) in den Prozess einzubauen, um entsprechend den sich aus den ethischen Prinzipien abgeleiteten Anforderungen (siehe **Kapitel 4.2.5**) den Prozess möglichst lernfähig zu machen und zukünftigen Generationen Handlungsmöglichkeiten offen zu halten. Dazu ist es notwendig festzulegen, wann eine Beobachtung bzw. Entwicklung als Fehlentwicklung interpretiert wird und eine Fehlerkorrektur eingeleitet wird. Ebenso ist es notwendig festzulegen, welche Institution diese Zuständigkeit hat und wie entsprechende Prozesse mit Beteiligung der Zivilgesellschaft durchgeführt werden können.

5.5.3 Zeitliche Struktur: Etappenmodell

Unter den angegebenen Rahmenbedingungen sind durchaus unterschiedliche konkrete Realisierungen vorstellbar. Die Option „Endlagerbergwerk mit Rückholbarkeit“ ist daher nicht ein einzelner Pfad, sondern in sich eine Pfadfamilie. Die folgende Darstellung soll zeigen, wie diese aus heutiger Sicht in Etappen eingeteilt werden kann.

Etappe 1: Standortauswahlverfahren

Der Start des Auswahlverfahrens möglicher Endlagerstandorte kann nach StandAG gegebenenfalls ab etwa 2017 nach einer Entscheidung des Deutschen Bundestages erfolgen. Notwendig sind hier vor allem wissenschaftlich klar definierte und demokratisch legitimierte Auswahlkriterien und Sicherheitsanforderungen, sowie klare Regeln für Verfahrensschritte, Beteiligung der Öffentlichkeit, Behördenstruktur und Entscheidungsprozesse. Die Standortauswahl erfolgt in mehreren Schritten der allmählichen Eingrenzung von in Frage kommenden Regionen bzw. Standorten bis hin zur Bestimmung des Standorts mit bestmöglicher Sicherheit. Während dieses Prozesses lagern die hoch radioaktiven Abfälle

Kommentiert [sal10]: Verweis auf ethische Prinzipien muss neu verortet werden

weiter in Zwischenlagern. Im Falle eines hohen Zeitbedarfs der Auswahl eines Endlagerstandorts oder wenn auf andere Pfade umgeschwenkt werden soll, müssen möglicherweise technisch, ökonomisch und institutionell aufwändige Prozesse der sicheren Aufbewahrung eingeleitet werden (z.B. Transport an andere Standorte oder die Umladung in andere Behälter, s. dazu [Kapitel 5.6.3](#)). Während des Auswahlprozesses kann das Verfahren jederzeit abgebrochen und es kann auf (auch ganz) andere Pfade umgeschwenkt werden. Ggf. müssten die bereits eingesetzten Mittel zur Standortauswahl abgeschrieben werden. Mit der Festlegung eines Endlagerstandortes durch eine Entscheidung des Deutschen Bundestages wird diese Etappe abgeschlossen (vgl. die detaillierte Beschreibung dieser Etappe in [Kapitel 6](#)).

Etappe 2: Bergtechnische Erschließung des Standortes

Die bergtechnische Erschließung des Standortes für die Einlagerung der radioaktiven Abfälle umfasst zunächst das vorlaufende erforderliche Planungs- und Genehmigungsverfahren und die Erbringung der erforderlichen Langzeitsicherheitsnachweise in der Kombination von geologischen Barrieren und technischem Endlagerkonzept. Sodann geht es um den Bau des Endlagers mit allen erforderlichen ober- und untertägigen technischen Anlagen einschließlich der Transportwege für die spätere Einlagerung. Diese Etappe wird voraussichtlich mit einer „kalten“ Probephase abgeschlossen, in der das technische Funktionieren aller Prozesse der Einlagerung (und des Monitoring) getestet wird. Vorlaufend müssen die technischen Voraussetzungen für die Einlagerung geschaffen werden, z.B. was geeignete Behälter für die Abfälle und die Transportwege betrifft. Während dieser Etappe kann die Erschließung jederzeit abgebrochen und es kann auf andere Pfade umgeschwenkt werden. Die Kosten würden sich darin erschöpfen, die Mittel für die Standortauswahl und für die Erschließung abzuschreiben (vgl. die detaillierte Beschreibung dieser Etappe in [Kapitel 6.4.2](#)).

Etappe 3: Einlagerung der radioaktiven Abfälle in das Endlagerbergwerk

Die Einlagerung der radioaktiven Abfälle beginnt mit dem Einbringen des ersten beladenen Endlagergebundes in das vorbereitete Bergwerk. Die Endlagergebäude werden in eine Reihe von Kammern, Strecken oder Bohrlöcher (von den Strecken aus) verbracht, abhängig vom jeweiligen Endlagerkonzept. Sobald einer dieser Lagerorte gefüllt ist, wird er verfüllt, damit die sich hinter dem Verschluss befindlichen Abfälle vom Bergwerk, insbesondere von dort arbeitenden Menschen, isoliert werden. Die Behälter werden vor dem Verfüllen in ihre endgültige Lage gebracht. Das Verfüllen geschieht unter den Anforderungen der Langzeitsicherheit, aber so, dass eine Wiederöffnung und Rückholung der Abfälle in angemessener Zeit, d.h. in einer Zeitdauer ähnlich wie die Dauer der Einlagerung, nach einem vorhandenen technischen Konzept möglich ist. Auch die Gebinde/Behälter müssen so ausgelegt sein dass eine Rückholung möglich ist. Das Bergwerk selbst verbleibt in dieser Etappe in einem betriebsbereiten Zustand. Die Einlagerung kann jederzeit unterbrochen und später fortgesetzt werden oder auch endgültig aufgegeben werden. Es ist auch möglich, zunächst einen Teil der Abfälle in eine Art Pilotendlager einzulagern und z.B. eine Strecke zu verfüllen, dann einige Zeit, z.B. 20 Jahre, zu warten, wie sich die Konstellation Wirtsgestein/Abfallbehälter entwickelt, um abhängig vom Ergebnis dieser Untersuchung über das weitere Vorgehen zu entscheiden. Bereits eingelagerte Gebinde können je nach Ergebnis dort verbleiben oder rückgeholt werden. Das Verfahren kann komplett abgebrochen werden und es kann auf andere Pfade umgeschwenkt werden, da das Bergwerk funktionsfähig bleibt. Die noch nicht eingelagerten Abfälle verbleiben in Zwischenlagern mit entsprechenden Anforderungen an die Gewährleistung der Sicherheit. Das Ende der Einlagerung ist mit dem Einbringen des letzten beladenen Endlagergebundes erreicht. Die Endlagergebäude sind in verschiedene Kammern oder Strecken verbracht, die verfüllt sind, damit die Strahlenbelastung

im Bergwerk minimiert wird (vgl. die detaillierte Beschreibung dieser Etappe in Kapitel 6.4.3).

Etappe 4: Beobachtung vor Verschluss des Endlagerbergwerks

In der Etappe nach Abschluss der Einlagerung ist das Bergwerk weiterhin voll funktionsfähig und zugänglich. Die Beobachtung der weiteren Entwicklung (z.B. Temperatur, Stabilität der geologischen Formation, Gasbildung) ist durch Monitoring möglich (vgl. hierzu Kapitel 6.4.6). Die Ziele für das Monitoring müssen möglichst früh festgelegt werden. Die eingelagerten Gebinde verbleiben im Bergwerk, können bei Bedarf aber weiterhin rückgeholt werden. Auch in diesem Stadium kann das Verfahren noch abgebrochen werden und es kann auf andere Pfade umgeschwenkt werden. In diesem Fall müssen die eingelagerten Abfälle rückgeholt und an einen sicheren oberirdischen Ort verbracht werden. Der Zeitpunkt des Verschlusses des Endlagerbergwerks als Abschluss dieser Etappe bzw. die Dauer der Offenhaltung nach Ende der Einlagerung der Abfälle ist abhängig von Entscheidungen zukünftiger Generationen. Das Verschlussverfahren kann gestoppt werden, es bleiben dann die Optionen wie in der Phase nach Abschluss der Einlagerung. Der Aufwand einer Umsteuerung steigt dann wahrscheinlich weiter an; die Umsteuerung bleibt aber weiter technisch möglich (vgl. die detaillierte Beschreibung dieser Etappe in Kapitel 6.4.4).

Etappe 5: Verschluss des Endlagerbergwerks

Mit dem Zustand eines verschlossenen Endlagerbergwerks ist das Ziel eines sicheren und wartungsfreien Einschlusses der radioaktiven Abfälle im Bergwerk erreicht. Das verschlossene Endlagerbergwerk kann weiter von außen beobachtet werden. Inwieweit auch die Vorgänge im Inneren weiter beobachtet werden können, hängt von im Zuge der Einlagerung oder in der Phase vor Verschluss vorgesehenen Monitoring-Maßnahmen ab (s.a. Kapitel 6.4.6). Bei Bedarf können die Gebinde über die Auffahrung eines neuen Bergwerks und unter Nutzung der vorhandenen Dokumentation geborgen werden. Die Bergung ist möglich, solange der Standort des Endlagerbergwerks bekannt ist, solange die Dokumentation auffindbar und lesbar ist, solange die Endlagergebäude (Behälter) selbst in bergbarem Zustand sind (vgl. hierzu die Anforderungen in Kapitel 6.7), und solange die technischen und gesellschaftlichen Voraussetzungen einer Bergung (d.h. Auffahren eines parallelen Bergwerks) gegeben sind (vgl. die detaillierte Beschreibung dieser Etappe in Kapitel 6.4.5).

Auf diese Weise kann das Ziel einer sicheren und wartungsfreien Endlagerung mit den Wünschen nach Reversibilität von Entscheidungen, Rückholbarkeit der Abfälle, Ermöglichung von Fehlerkorrekturen und Lernmöglichkeiten im Prozess verbunden werden.

5.5.4 Begründung der Priorität

Die zentralen Argumente, die oben geschilderte Option „Endlagerbergwerk mit Rückholbarkeit“ weiter auszuarbeiten und dem Deutschen Bundestag zu empfehlen, sind zusammengefasst:

- Diese Lösung ist in Deutschland in absehbarer Zeit machbar (anders als die meisten der in Kapitel 5.3 und 5.4 diskutierten Optionen).
- Die technischen Voraussetzungen (Behälter, Auffahren und Betrieb des Endlagerbergwerks, Einlagerung und Verschluss) sind zum Teil heute Stand der Technik, zu anderen Teilen erscheinen sie einlösbar.

- Diese Option kollidiert nicht mit Bestimmungen des Völkerrechts (wie einige der in **Kapitel 5.3** diskutierten Optionen).
- Mit dieser Option werden zukünftige Generationen von einem bestimmten (allerdings möglicherweise recht weit entfernten) Zeitpunkt an von Belastungen durch die radioaktiven Abfälle befreit (anders als beispielsweise im Konzept der oberflächennahen Dauerlagerung, **Kapitel 5.3.4**).
- Diese Option erlaubt hohe Flexibilität zur Nutzung neu hinzukommender Wissensbestände. Ein Umschwenken auf andere Entsorgungspfade bleibt über lange Zeit im Prozess mit überschaubarem Aufwand und ohne Sicherheitsprobleme möglich (anders als bei den meisten der in **Kapitel 5.3** diskutierten Optionen).
- Ebenso ermöglicht diese Option weitgehende Möglichkeiten des Lernens aus den bisherigen Prozessschritten und von Fehlerkorrekturen (z.B. durch Maßnahmen des Monitoring).
- Sie entspricht damit aus heutiger Sicht am besten den aus den ethischen Prinzipien abgeleiteten Anforderungen (siehe **Kapitel 4.2.5**).
- Über die erforderlichen geologischen Voraussetzungen (passive Sicherheitssysteme, Barrieren) liegen weit reichende wissenschaftliche Kenntnisse vor, welche die Realisierung als aussichtsreich erscheinen lassen.

Damit ist die Option „Endlagerbergwerk mit Reversibilität/Rückholbarkeit/Bergbarkeit“ nach Auffassung der Kommission der aussichtsreichste Weg, mit den hochradioaktiven Abfällen in Deutschland verantwortlich umzugehen.

Kommentiert [sal11]: Verweis auf die ethischen Prinzipien muss neu verortet werden

5.6 Zeitbedarf zur Realisierung und notwendige Zwischenlagerzeiten

5.6.1 Zeitplan beim favorisierten Ansatz

Die hohe Flexibilität des geschilderten Verfahrens (siehe Kap. 5.5.) bringt es mit sich, dass über die Zeitbedarfe der einzelnen Schritte und die Zeiten bis zu den jeweiligen Entscheidungsfindungen nur wenig ausgesagt werden kann. Die im Folgenden dargestellte Zeitstruktur ist am StandAG orientiert, erscheint aber als sehr optimistisch (die Zahlenangaben dürfen nur als grobe Orientierung verstanden werden). Aufgrund von längeren Abläufen, von beabsichtigten oder nicht beabsichtigten Wartezeiten, von Änderungen im Prozessablauf bis hin zu Planänderungen etc. können sich die Zeitspannen erheblich weiter in die Zukunft erstrecken. Es ist jedoch müßig, darüber bereits heute zu spekulieren. Für heute ist entscheidend, den Beginn des Prozesses, also die Standortauswahl, mit dem wissenschaftlich bestmöglichen, gesellschaftlich legitimierten und verantwortbaren Satz an Auswahlkriterien und Verfahrensschritten zu beginnen. Alles Weitere obliegt Gesellschaft und Entscheidungsträgern in Zukunft.

Der **Start des Auswahlverfahrens** möglicher Endlagerstandorte kann nach StandAG gegebenenfalls ab 2017 erfolgen. Die Voraussetzungen dafür sind gegeben, wenn Bundestag und Bundesrat das StandAG aufgrund dieses Berichts der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe evaluiert haben (§ 4 Abs. 4 StandAG) und wenn die Kriterien und Entscheidungsgrundlagen als Gesetz beschlossen wurden (§ 4 Abs. 5 StandAG).

Die **Festlegung eines Endlagerstandortes** soll nach StandAG bis 2031 erfolgt sein (§ 1 Abs. 3 StandAG). Es ist davon auszugehen, dass das Standortauswahlverfahren diesen Zeitraum brauchen wird und dass eine ehrgeizige Projektdurchführung erforderlich ist um den Zeitplan einzuhalten.

Anschließend wird das Genehmigungsverfahren gestartet mit dem Ziel eine Baugenehmigung für das Endlager zu erhalten. Nach erhaltener Genehmigung wird die **bergtechnische Erschließung** des Standortes für die Einlagerung der hoch radioaktiven Abfälle weitere Jahre dauern. Sie würde abgeschlossen mit einer „kalten“ Probephase, in der das bergtechnische Funktionieren aller Prozesse getestet werden muss. Bei einer stringenten Verfolgung des Projektes könnte diese Phase etwa Ende der 2040er Jahre abgeschlossen sein.

Die heiße **Inbetriebnahme des Endlagers** (also das Einbringen des ersten beladenen Endlagergebindes) wäre damit etwa im Jahr 2050 denkbar.

Aus heutiger Sicht wird der **Einlagerungsbetrieb des Endlagers** von der Einlagerung des ersten bis zur Einlagerung des letzten Endlagergebindes etwa 20 - 30 Jahre dauern. Grundlage für solche Schätzungen sind üblicherweise die Zeitdauern für die einzelnen Prozessschritte bei der Überprüfung der befüllten Endlagerbehälter vor deren Einlagerung und bei der Einlagerung selbst, multipliziert mit der Anzahl der einzulagernden Endlagergebäude. Diese zeitliche Prognose geht von einem kontinuierlichen nicht unterbrochenen Einlagerungsprozess aus. Damit würde der Einlagerungsbetrieb des Endlagers von etwa 2050 bis etwa 2070/2080 dauern.

Die Einlagerung könnte aber auch unterbrochen werden und später fortgesetzt werden. Es ist auch möglich, zunächst einen Teil einzulagern und z.B. eine Strecke zu befüllen und zu verschließen, dann einige Zeit, z.B. 20 Jahre, zu warten, wie sich die Konstellation Wirtsgestein/Abfallbehälter entwickelt und abhängig vom Ergebnis dieser Untersuchung über

Kommentiert [LOG12]: Im Lichte der Diskussion in der Kommissionssitzung überarbeiten, z. B. im Sinne einer „wenn-dann-Darstellung“.

MS: Dies ist durch den jetzt hier stehenden Text geschehen.

Kommentiert [MS13]: Dreistellige Überschrift entfällt, wenn 5.6.3 zu „5.7“ wird

das weitere Vorgehen zu entscheiden (solche Überlegungen spielen z.B. in der Schweiz eine Rolle). Im Falle von solchen Unterbrechungen ist mit einem deutlich längeren Einlagerungsbetrieb von einigen zusätzlichen Jahrzehnten zu rechnen.

Das **Ende der Einlagerung** ist mit dem Einbringen des letzten beladenen Endlagergebindes gekommen und wäre frühestens denkbar etwa um die Jahre 2070/2080. Abhängig von den beschriebenen Vorgängen, die zur Verzögerung führen könnten, kann dies aber auch Jahrzehnte später sein.

Der **Verschluss des Endlagerbergwerkes** erfordert zunächst eine Entscheidung, ob verschlossen wird und wenn ja, nach welcher Technik. Nach der Entscheidung für den Verschluss dauern die eigentlichen Verschlussarbeiten einige Jahre. Wenn eine Beobachtungszeit vor dem Verschluss unterstellt wird, könnte die Gesamtzeit für Beobachtung, Entscheidungsfindung und Ausführung der Verschlussarbeiten etwa 20 Jahre benötigen.

Der Zustand eines **verschlossenen Endlagerbergwerks** wäre damit denkbar zu einem Zeitpunkt 2090 bis 2100. Damit ist das Ziel, ein sicherer und wartungsfreier Einschluss der hoch radioaktiven Abfälle im Bergwerk, erreicht. Das verschlossene Endlagerbergwerk kann weiter von außen (und ggf. auch von innen mit entsprechender Messtechnik) beobachtet werden.

Die beschriebenen Zeitabläufe benötigen einen langen Zeitraum. Man könnte daher die Frage stellen, ob es mit anderen Optionen (Kap. 5.3 und 5.4) als dem Endlagerbergwerk mit Reversibilität/Rückholbarkeit/Bergbarkeit schneller eine Lösung für die hochradioaktiven Abfälle geben könnte. Dies ist aber nicht der Fall. Denn für alle Optionen gibt es derzeit weder entwickelte Technologien noch Standorte. Deshalb wäre der Prozess bis zur Behandlung des ersten Abfallgebindes bei anderen Optionen im besten Fall genauso lang wie bei der oben beschriebenen Vorgehensweise; wegen der schwierigeren Standortuntersuchung und wegen notwendiger Technologieentwicklungszeiten würde dies aber voraussichtlich eher deutlich länger dauern. Auch nach funktionsfähig implementierter Technik einer anderen Option würden mindestens einige Jahrzehnte zur „Verarbeitung“ der vorhandenen Abfälle erforderlich sein. Insgesamt ist festzuhalten, dass aus Sicht des Zeitbedarf alle anderen Optionen keinen Vorteil gegenüber der Option des Endlagerbergwerks mit Reversibilität/Rückholbarkeit/Bergbarkeit bringen.

5.6.25.6.1 Zeitplan beim favorisierten Ansatz

Phase	Beginn	Abschluss
Standortauswahl	2017	2031 (nach StandAG)
Bergtechnische Erschließung	2031	2050
Einlagerung der Abfälle	2050	2070
Beobachtung vor Verschluss	2070	2100
Verschluss	2100	offen

Kommentiert [MS14]: Tabelle zum Vergleich mit früherem Text – wird im finalen Text entfernt

| 1 **5.6.35.6.2 Mögliche Zeitpläne bei anderen Pfaden**

2
3 *Hinweis: Dass Kapitel 5.6.2 entfällt; das Thema ist in den Schlusspassagen des*
4 *vorhergehenden Kapitels enthalten.*

5
6 | **5.6.45.6.3 Notwendige Zwischenlagerung vor der Endlagerung** |

7 aktuelle Version s. K.-Drs. 177a (am 13.03.2016 in der Kommission diskutiert)

8 *Hinweis: Es stellt sich die Frage, ob dieses Kapitel 5.6.3 nicht als 5.7 nummeriert wird, da*
9 *der Zeitbedarf („5.6“) und die notwendige Zwischenlagerung („5.7“) zwei wichtige separat*
10 *wahrgenommene Gesichtspunkte sind, die damit auf einer höheren Ebene – der zweistelligen*
11 *– im Inhaltsverzeichnis verortet sind*