

Geschäftsstelle

Kommission
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

Arbeitsgruppe 3
Entscheidungskriterien sowie Kriterien
für Fehlerkorrekturen

Kapitel 4: Entsorgungsoptionen und ihre Bewertung

Entwurf, 7. Januar 2016

Verfasser: Michael Sailer, Prof. Dr. Armin Grunwald, Min Dr. Robert Habeck

<p>Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-Drs. /AG3-69 A</p>

4. Entsorgungsoptionen und ihre Bewertung

Verfasser: Michael Sailer, Prof. Dr. Armin Grunwald, Dr. Robert Habeck, 7.01.2016

(auf Grundlage des Entwurfs der AG3-Vorsitzenden vom 29.10.2015, ersetzt K-Drs. AG3-69)

Achtung: dieser Entwurf enthält in keinem seiner Teile bereits abschließend beratene Aussagen. Diese Beratung muss noch in AG3 und Kommission geleistet werden! Änderungen gegenüber der Fassung vom 29.10.2015 sind grau unterlegt.

4.1 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 Standortsuche. 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 seriösen 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 herauszufinden, die im weiteren Beratungsprozess vertieft untersucht werden sollen. 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 und wie üblich vollständig und transparent dokumentierten Schritten vollzogen (hier ggf. wichtige Schritte nennen). 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 (Auftrag BMWi Az. IIA5 – 32507/7 vom 08.06.2015)
- Anhörung der AG3 zum Thema „Tiefe Bohrlöcher“ am 8. Juni 2015
- Gutachten Transmutation (2x)
- Gutachten Langfristzwischenlagerung
- Gutachten Tiefe Bohrlöcher
-

4.2 Ethische Prinzipien zur Festlegung von Entscheidungskriterien

Die Festlegung der Kriterien für Endlagerstandorte unterliegt unterschiedlichen ethischen Prinzipien. An erster Stelle steht zweifellos das verantwortungsethische Postulat der Sicherheit des Endlagers heute und in Zukunft (4.2.1). Dies impliziert die Vermeidung unzumutbarer Belastungen für zukünftige Generationen (4.2.2). Die Anforderung der Reversibilität von Entscheidungen mit der Aspekten der Rückholbarkeit und Bergbarkeit der Abfälle setzt einen anderen Akzent, in dem sie die Entscheidungshoheiten zukünftiger Generationen und die Notwendigkeit des Vorsehens von Möglichkeiten der Fehlerkorrektur betont (4.2.3). Die An-

forderung, die Prozesswege einschließlich der Machbarkeit der benötigten technischen Lösungen bis hin zum Verschluss des Endlagerbergwerks vorausschauend zu betrachten („Denken bis zum Ende“), ermöglicht die Angabe von Forschungs- und Entwicklungsbedarfen (4.2.4). Schließlich müssen Fälle betrachtet werden, in denen es zu Zielkonflikten zwischen diesen Prinzipien kommt (4.2.5).

4.2.1 Sicherheit für Mensch und Umwelt heute und in Zukunft

Die radioaktiven Abfälle müssen kurz-, mittel- und langfristig sicher von der Biosphäre ferngehalten werden. Dies erfordern konvergent ethische Gebote, Schaden für Mensch und Umwelt zu vermeiden. Sie betreffen das gesamte zeitliche Spektrum im Umgang mit den Abfällen, von der Einlagerung in Behälter, Transportvorgängen, notwendiger Zwischenlagerung, Einlagerung in das Endlagerbergwerk bis hin zum Zustand des verschlossenen Bergwerks und für die Zeit danach, Zeitspanne eine Million Jahre. In den „*Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle*“ (Stand 30.09.2010) des BMU wird dieses allgemeine Schutzziel, das mit der Endlagerung verfolgt werden soll, in Abschnitt 3 wie folgt genannt:

Dauerhafter Schutz von Mensch und Umwelt vor der ionisierenden Strahlung und sonstigen schädlichen Wirkungen dieser Abfälle

Dieses Schutzziel bedarf der weiteren Konkretisierung, um bei der Entwicklung des Auswahlverfahrens einbezogen werden zu können. Hierzu schlägt der AkEnd auf Basis vorangegangener Arbeiten vor:

- Die Endlagerung muss sicherstellen, dass Mensch und Umwelt angemessen vor radiologischer und sonstiger Gefährdung geschützt werden.
- Die potenziellen Auswirkungen der Endlagerung für Mensch und Umwelt sollen das Maß heute akzeptierter Auswirkungen nicht übersteigen.
- Die potenziellen Auswirkungen der Endlagerung für Mensch und Umwelt dürfen außerhalb der Grenzen nicht größer sein als dies innerhalb Deutschlands zulässig ist.

Diese Darstellung enthält eine Präzisierung in Bezug auf die Zukunftsdimension (keine höhere Belastung zukünftiger Generationen als für heute akzeptiert) und die räumliche Dimension (Bezug auf Deutschland). Weitere Sicherheitsprinzipien ergeben sich insbesondere aus der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) dadurch, dass jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden ist und jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten ist.

4.2.2 Vermeidung unzumutbarer Belastungen für zukünftige Generationen

In den „*Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle*“ (Stand 30.09.2010) des BMU wird das oben genannte allgemeine Schutzziel durch ein zweites ergänzt:

Vermeidung unzumutbarer Lasten und Verpflichtungen für zukünftige Generationen

Dieses Schutzziel (gelegentlich als Nachsorgefreiheit bezeichnet) hat einen völlig anderen Charakter. Hier geht es um die Verteilung von Belastungen auch jenseits möglicher Risiken

(denn diese sind in 4.2.1 bereits erfasst), also z.B. von Belastungen in wirtschaftlicher Hinsicht oder in Bezug auf Beobachtungs- und Kontrollnotwendigkeiten.

Der zentrale allerdings auch problematische Begriff ist das Wort „unzumutbar“, da dieser erstens erheblich interpretationsfähig ist und zweitens wir heute darüber entscheiden müssen, was wir für spätere Generationen als zumutbar oder unzumutbar einstufen, ohne diese selbst befragen zu können. Demzufolge handelt es sich nicht um ein klares Schutzziel, sondern um eine Art Absichtserklärung, die (z.B. ökonomischen, politischen oder psychologischen) Belastungen durch die Endlagerung in die Zukunft hinein möglichst gering zu halten. Dahinter steht die Idee eines „Verursacherprinzips“ der gegenwärtigen Generation, die die Kernenergie genutzt hat und daher auch so weit wie möglich für die Entsorgung der Abfälle verantwortlich sei. Alle Entsorgungsoptionen, die auf eine Endlagerung zielen, in der es nach einer gewissen (wenn auch möglicherweise längeren) Zeit keiner Nachsorge mehr bedarf, dürften dieses Prinzip erfüllen. Je nach Zeitdauer bis zu einem Verschluss werden allerdings zukünftige Generationen eine Nachsorge betreiben müssen.

4.2.3 Reversibilität von Entscheidungen

Das Prinzip der Reversibilität von Entscheidungen resultiert aus zwei ethischen Argumenten. Das eine ist der Wunsch nach Möglichkeiten der Fehlerkorrektur im Falle unerwarteter Entwicklungen, das andere das generelle zukunftsethische Prinzip, zukünftigen Generationen Entscheidungsoptionen offen zu halten oder sie zu eröffnen. Es ist ein zentrales Prinzip, um im Fall von erkannten Fehlern oder anderen Entwicklungen, die einen Neuanfang nahelegen oder erfordern, umsteuern zu können. Fehlerkorrekturen oder Umsteuerungen aus anderen Gründen systematisch als Möglichkeiten vorzusehen und nicht „alles auf eine Karte zu setzen“, beugt Sorgen vor, im Falle von Havarien oder neu auftretenden Risiken diesen einfach ausgeliefert zu sein, weil es dann keine andere Option mehr gäbe. So gesehen ist dieses Prinzip verantwortungsethisch geboten.

Zwar wird im Laufe des gesamten Prozessweges die Reversibilität zusehends eingeschränkt bzw. der Aufwand für ein Umsteuern erhöht werden, weil Fakten geschaffen werden müssen, sie soll jedoch nach Maßgabe dieses Prinzips „prinzipiell“ erhalten bleiben. Für welche Zeiträume welche Arten von Reversibilität (Rückholbarkeit der Abfälle, Bergbarkeit) erhalten bleiben sollen, muss eigens festgelegt werden. Solange nicht eingelagert wurde, ist ein Umsteuern nicht prinzipiell schwierig. Dies ändert sich erst mit dem Verschließen der ersten Strecke bzw. des ersten Lagers. Aber auch dann bietet das noch funktionsfähige Bergwerk die Möglichkeit der kontrollierten Rückholung der Abfallbehälter. Noch aufwendiger, aber nicht unmöglich, wird ein Umsteuern (welches z.B. aufgrund besorgniserregender Ergebnisse des Endlagermonitoring erforderlich werden könnte) nach Verschluss nach dem Bergwerk. Die Forderung nach Bergbarkeit der Abfälle nach Verschluss des Bergwerks hat zur Folge, dass ein Parallelbergwerk errichtet werden können muss, um von dort aus die Abfälle zu bergen - also muss die jeweilige geologische Konstellation es erlauben, ein solches Parallelbergwerk aufzufahren.

Das Endlagerkonzept (bzw. die Wirtsgestein/Endlagerkonzept-Kombination) einschließlich der benötigten Bergwerkstechnologien und der Behälter muss von Anfang an so ausgelegt werden, dass spätere Optionen der Reversibilität durch Rückholung oder Bergung nicht unterlaufen werden. Diese Forderung hat z.B. Einfluss auf die Anforderungen an die langfristige Haltbarkeit der Behälter.

4.2.4 Realistische Annahmen über zukünftige Technologien

Die Standortsuche (bzw. die Suche nach geeigneten Kombinationen aus Wirtsgestein und Endlagerkonzept) muss so gestaltet sein, dass wir mit heutigem Wissen eine belastbare Vorstellung über die Gangbarkeit des gesamten Weges haben. Zwar können und sollen wir heute nicht Details für die Zukunft planen. Es ist aber eine plausible und nachvollziehbare Evidenz erforderlich, dass der von der Kommission empfohlene Weg technisch, institutionell und gesellschaftlich realistisch und gangbar ist.

Diese Anforderung erstreckt sich insbesondere auf die Verfügbarkeit der erforderlichen Technologien zu den jeweils relevanten Zeitpunkten. Vor allem die Behältertechnologie einschließlich möglicher Umhüllungen und der erforderlichen Materialien, die eine langzeitige Haltbarkeit der Behälter sicherstellen sollen, ist zentral, um die Wünsche nach Rückholbarkeit und Bergbarkeit zu realisieren. Hingegen erscheinen Transport- und Bergwerkstechnologien als Stand der Technik. Eine weitere offene Frage betrifft den eventuellen Wunsch nach in situ Monitoring-Technologien auch nach dem Verschluss einzelner Strecken oder des ganzen Bergwerks.

In der Prozessgestaltung ist hierbei auf zwei Aspekte zu achten: ethisch ist es erstens unverantwortlich, ‚blind‘ auf den technischen Fortschritt zu setzen, falls es keine belastbare und in Reviews geprüfte realistische Aussicht gibt, das betreffende technische Problem in adäquater Zeit zu lösen. Zweitens, wenn es diese Aussicht gibt, muss der entsprechende Forschungs- und Entwicklungsbedarf mit den benötigten Zeiträumen und Ressourcen im Gesamtprozess angemessen berücksichtigt werden. Es geht hier also letztlich darum, keine ‚ungedeckten Schecks‘ auf die Zukunft zu verwenden, sondern den Prozess realistisch bis zum Ende zu denken.

4.2.5 Zielkonflikte und Abwägungsnotwendigkeiten

Die genannten Prinzipien verdanken sich teils unterschiedlichen Argumenten. Von daher kann es zu Zielkonflikten kommen, in denen Abwägungen vorgenommen werden müssen. Absehbare Zielkonflikte sind:

- der Wunsch, zukünftige Generationen möglichst wenig zu belasten (Nachsorgefreiheit), kann damit in Konflikt geraten, zukünftigen Generationen möglichst viele Optionen offen zu halten. Optionenvielfalt ist ohne Nachsorge nicht denkbar.
- das gewünschte Offenhalten von Handlungsspielräumen für zukünftige Generationen kann in eine Bedrohung für die Sicherheit umschlagen, falls sich die wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Möglichkeiten kommender Generation erheblich verschlechtern und die mit dem verantwortlichen Umgang mit der Optionenvielfalt notwendig verbundene Nachsorge unmöglich gemacht würde (AkEnd 2002).
- der Wunsch nach Langzeitsicherheit kann in einen Konflikt mit Wünschen nach Reversibilität und Monitoring geraten, insbesondere wenn das Monitoring einen vollständigen Verschluss des Bergwerks oder von einzelnen Strecken unmöglich machen würde
- der Wunsch nach Reversibilität und Offenhalten von Optionen ermöglicht zwar Freiheitsgrade, bindet aber Ressourcen und kann dadurch Belastungen erhöhen (z.B. Kosten)

Diese Zielkonflikte lassen sich heute nicht ein für alle Mal auflösen. Das Prinzip der Sicherheit nimmt zwar zweifelsohne eine Vorrangstellung ein. So ließe sich mit dem Prinzip der Nachsorgefreiheit keine Beendigung des Kümmerns um die radioaktiven Abfälle rechtfertigen, sofern nicht ein dauerhaft sicherer Zustand der Abfälle erreicht ist. Und die Sicherheit

steht auch über dem Ziel, künftigen Generationen abweichende Entscheidungen offen zu halten. Denn das Offenhalten von Optionen kann aus heutiger Sicht nur dem Zweck dienen, dass es künftig bessere und damit sicherere Möglichkeiten zum Umgang mit radioaktiven Abfällen gibt. Das kann der Fall sein, weil sich ein eingeschlagener Weg als unsicher erweist (Fehlerkorrektur) oder weil es neue technische Möglichkeiten gibt, welche die Sicherheit gegenüber den heutigen Möglichkeiten weiter erhöht bzw. die geeignet sind, einen dauerhaft sicheren Zustand früher oder einfacher herbeizuführen.

Der Konflikt der Prinzipien der Nachsorgefreiheit und der Reversibilität lässt sich darauf zurückführen, dass jedes Offenhalten von Optionen zugleich – quasi als Kehrseite der Medaille – zumindest die Bürde der Verantwortung in sich trägt, über das Gebrauchmachen oder eben Nichtgebrauchmachen von Alternativen entscheiden zu müssen. Das ist insofern durch den Respekt vor der Entscheidungsfreiheit kommender Generationen gerechtfertigt. Je nachdem, wie aufwändig das Offenhalten von Optionen über das bloße Wissen um die Existenz der radioaktiven Abfälle hinaus für die kommenden Generationen aber ausgestaltet wird (z.B. dauerhaftes Bewachen der Abfälle), kann es sich als Verschiebung von Verantwortung darstellen. Damit dieser – negative – Effekt nicht eintritt, muss der Konflikt so aufgelöst werden, dass die Entscheidungsfreiheit für künftige Generationen möglichst lange erhalten bleibt, andererseits den künftigen Generationen aber möglichst kein aktives Tun abverlangt wird.

Darüber hinaus gibt es keine Notwendigkeit sich derzeit ausschließlich für ein Prinzip zu entscheiden und das Spannungsfeld bereits jetzt endgültig aufzulösen. Für den Zeitraum von noch mindestens einer weiteren Generation wird sich Nachsorgefreiheit ohnehin nicht erreichen lassen und bleiben umgekehrt den jeweils Handelnden ohnehin noch alle jetzt bestehenden Optionen offen; sie werden allenfalls aufwändiger und teurer. Selbst der mit verschiedenen Entsorgungspfaden angestrebte Dauerzustand einer endgültigen sicheren Einlagerung wird noch auf Jahrzehnte nicht zu verwirklichen sein. In der heutigen Situation der neu eingeleiteten Endlagersuche geht es deshalb vielmehr darum, denjenigen Pfad einzuschlagen und, soweit derzeit schon erforderlich und möglich, näher auszugestalten, der den identifizierten ethischen Prinzipien mit den derzeitigen Prognosemöglichkeiten in ihrer Gesamtheit am besten Rechnung trägt. Darüber hinaus bleibt der Ausgleich der ethischen Prinzipien bis auf weiteres eine Daueraufgabe, der durch verfahrensmäßige Maßnahmen Rechnung zu tragen ist. Die Aufgabe endet erst, wenn die technischen Möglichkeiten oder das für Kurskorrekturen benötigte Wissen (z.B. um die Existenz der Behälter oder deren Lagerort) nicht mehr vorhanden sind.

Für die Festlegung von Entsorgungsoptionen und die Entwicklung der zugehörigen Kriterien im vorliegenden Verfahren ergeben sich aus den ethischen Prinzipien die folgenden Anforderungen:

- Die Suche nach Entsorgungspfad, Endlagerstandort und -konzept hat sich in erster Linie an dem Ziel zu orientieren, die aus heutiger Perspektive sicherste Entsorgungslösung für hochradioaktive Abfälle zu finden: Es gilt das Primat der Sicherheit.
- Die Entsorgungslösung ist so auszugestalten, dass sie kein dauerhaftes aktives Tun für kommende Generationen auslöst, sondern ohne eine gegenläufige Entscheidung auf

einen sicheren Endzustand für die Entsorgung aller hochradioaktiven Abfälle zuläuft: Der eingeschlagene Weg muss von künftigen Generationen durch bloßes Unterlassen von Kurskorrekturen zu Ende geführt werden können - Rückholbarkeit darf nur ein Angebot sein.

- Die Möglichkeit, durch eine bewusste Umsteuern von dem jetzt eingeschlagenen Pfad abzuweichen, darf nicht abgeschnitten werden. Unproblematisch ist es, wenn das Umsteuern durch die vorgenannten Anforderungen (Sicherheit, Nachsorgefreiheit) erschwert wird und ein aktives Handeln (z.B. eine Rückholung) sowie u.U. auch einigen Aufwand erfordert. Im Übrigen kann von der jetzigen Generation nur das derzeit technisch Machbare erwartet werden, so dass sich aus heutiger Perspektive zumindest aus der Haltbarkeit der Behälter eine zeitliche Grenze ergibt. Es gilt folglich: Keine unnötige Irreversibilität schaffen.
- Zumindest bis zur Erreichung des Endzustandes des nach diesen Anforderungen gestalteten Entsorgungspfades bedarf es verfahrensmäßiger Vorkehrungen für eine permanente Überprüfung des Entsorgungsprozesses unter dem Blickwinkel der ethischen Prinzipien einschließlich der Belange künftiger Generationen. Das gilt insbesondere für einschneidende Schritte im Entsorgungsprozess, aber auch für einschneidende gesellschaftliche Veränderungen. Teil dieser Überprüfung muss auch die Bewertung des Überprüfungsverfahrens selbst sein, insbesondere die Frage, wie lange dieses ggf. über die Erreichung des nachsorgefreien Endzustandes hinaus noch aufrecht erhalten bleibt: Ethische Prozessbegleitung als Daueraufgabe.

4.3 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 Biosphäre fernzuhalten, dominiert die Suche nach verantwortbaren Entsorgungsoptionen.

In der Frühzeit der Atomenergie wurde dem Abfallthema wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Es herrschte der Optimismus vor, dass man zu gegebener Zeit schon eine Lösung finden werde (Radkau 1983). Teils wurden Ideen kolportiert, die aus heutiger Sicht 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 nuklearen Abfallproblem. 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 atomaren Abfälle von der Biosphäre fernzuhalten, hat einige Optionen wie die Verbringung 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 länger (einige Jahrhunderte) dauernde Zwischenlagerung, in der Erwartung, dass sich bis dahin neue Lösungsoptionen ergeben. Von der Transmutation wird teils erwartet, das Entsorgungsproblem zumin-

dest vereinfachen zu können, was jedoch umstritten ist. 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 drei Kategorien eingeteilt,

Nicht weiter zu verfolgen (Kap. 4.4): angesichts des derzeitigen und absehbaren Wissensstandes empfiehlt die Kommission, diese Optionen unter Angabe der Argumente und Kriterien nicht weiter zu verfolgen

Nicht abschließend beurteilbar (Kap. 4.5): diese Optionen können mangels belastbaren Wissens zurzeit noch nicht abschließend eingestuft werden. Sie werden nicht im Detail ausgearbeitet. Die Kommission empfiehlt, sie weiter systematisch zu beobachten und ggf. durch gezielte Forschung den Wissensstand zu verbessern

Aussichtsreich (Kap. 4.6): diese Option (bzw. Optionenfamilie) erscheint angesichts des wissenschaftlich-technischen Wissensstandes als aussichtsreich. Sie wird aktiv weiterverfolgt, im Detail ausgearbeitet und dem Deutschen Bundestag zur Umsetzung empfohlen (vgl. dazu im Detail Kap. 5)

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

- geltende völkerrechtliche Vereinbarungen
- im StandAG gesetzte Randbedingungen
- Erfolgsaussicht zur Erreichung des Ziels, die radioaktiven Abfälle dauerhaft von der Biosphäre fernzuhalten
- Beherrschbarkeit von Technologien und Verfahren, insbesondere von Risiken und Havarien

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 vorzulegen.

4.4 Nicht weiter verfolgte Optionen

Angesichts des derzeitigen und absehbaren Wissensstandes und unter Angabe klarer Argumente werden Pfade aus dieser Kategorie von der Kommission nicht weiter verfolgt, auch wenn nicht vollständig auszuschließen ist, dass Pfade aus dieser Kategorie in Zukunft wieder diskutiert werden, z.B. aufgrund überraschender technischer Entwicklungen. Hierfür sieht die

Kommission auch bei optimistischer Interpretation des Wissensstandes und der Perspektiven zurzeit keine ernst zu nehmenden Anzeichen.¹

4.4.1 Entsorgung im Weltraum

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 (BOEING 1981, ERDA 1976, RICE & PRIEST 1981, SCHNEIDER & PLATT 1974). 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 (AkEnd 2000). 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 Erdorbit. 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 (BURNS et al. 1978, RICE & PRIEST 1981. Die Verbrennung in der Sonne würde die gefährlichen Substanzen zwar sicher zerstören, wäre aber extrem kostspielig. Erd- und Mondumlaufbahnen wären für die Langzeitlagerung nicht stabil genug (RECHARD et al. 2011).

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

Die National Academy of Sciences der USA (NAS) stellt fest, dass die Option der Endlagerung im Weltraum nicht sicher und praktikabel sei und wohl auch nie sein werde (NAS 2001). Auch MCKINLEY et al. (2007) sprechen von einer Hochrisikotechnologie. Zusätzlich würden die Kosten um einen Faktor 10 über denen der geologischen Endlagerung liegen. Die Wahrscheinlichkeit eines Raketenfehlsstarts liege im Bereich von 1 bis 10 Prozent (so auch MINHANS et al. (2008) sowie (DUTTON et al. 2004)). Es ist auch zu berücksichtigen, dass die Separierung langlebiger Radionuklide ein aufwändiges und teures kerntechnisches Verfahren mit Gefährdungsrisiken für das eingesetzte Personal ist (KRAUSKOPF 1988).

Deutschland könnte aufgrund seiner ungünstigen geographischen Lage diese Abfälle nicht von eigenem Hoheitsgebiet aus in den Weltraum bringen. Für die Endlagerung im Weltraum wären Transporte der Abfälle zu einem Weltraumbahnhof in der Nähe des Äquators erforderlich. Dies würde jedoch in Widerspruch zum §1 des StandAG und zum Nationalen Entsorgungsplan der Bundesregierung stehen, in dem es heißt: „Die Entsorgung von radioaktiven Abfällen erfolgt grundsätzlich in nationaler Verantwortung. Die Endlagerung soll im Inland erfolgen“ (BMBU 2015, S. 5).

Ein völkerrechtlicher Hinderungsgrund ist schließlich Artikel IX des sogenannten *Weltraumvertrages* (United Nations 2008), in dem sich die Unterzeichner verpflichten, dass bei For-

¹ Dieses Kapitel fußt zu wesentlichen Teilen auf einer Ausarbeitung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR 2015).

schungsaktivitäten eine schädliche Kontamination des Weltraumes einschließlich des Mondes und anderer Himmelskörper vermieden werden soll. Dieses am 10.10.1967 in Kraft getretene Übereinkommen ist für die Bundesrepublik Deutschland seit dem 10.02.1971 rechtsverbindlich (HOFMANN 1981).

Resümee: Aufgrund von Sicherheitsbedenken, völkerrechtlichen Bestimmungen und Transportnotwendigkeiten des Abfalls in Äquatornähe empfiehlt die Kommission, diesen Pfad nicht weiter zu verfolgen.

4.4.2 Entsorgung im antarktischen oder grönländischen Inlandeis

Bereits 1957 wurde von der National Academy of Sciences der USA (NAS 1957) eine Lagerung in Eis und Permafrost in Betracht gezogen. Das Konzept wurde in Studien von SCHNEIDER & PLATT (1974) sowie der ERDA (1976) entwickelt und anschließend bewertet (Department of Energy 1980). Vorgeschlagen wurden Zonen in der Antarktis und Grönland, die beide von mächtigen Eiskappen bedeckt sind. Grönland wurde, obwohl es für Schiffs Transporte besser erreichbar ist und die Umweltbedingungen weniger extrem sind, aufgrund der Zugehörigkeit zu Dänemark und des Vorhandenseins von Siedlungsbereichen nicht näher betrachtet (ZELLER et al. 1976). Auch in Deutschland wurde Ende der 1950er Jahre über die Entsorgung in den polaren Eiskappen nachgedacht (PHILBERTH 1958, 1959), 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 (Committee of Science and Technology 1999, MCKINLEY et al. 2007). Patentierte Konzepte liegen vor (VALFELLS 2002). Dabei wurde angenommen, dass die Antarktis seit 200 Millionen Jahren auch während wärmerer Klimaperioden ununterbrochen vereist war (ANGINO et al. 1976, BUDD et al. 1971). Zweifel an der sicheren Vorhersagbarkeit der für eine sichere Endlagerung notwendigen klimatischen Bedingungen wurden allerdings schon zur damaligen Zeit geäußert (BULL 1975) und in der Zwischenzeit bestätigt (MCKINLEY et al. 2007). 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 (WHIPPLE 2010). Frühere Annahmen (KUBO & ROSE 1973) zur Ausdehnung von Eisflächen, die über mehr als 10.000 Jahre existieren können, sind nach heutigem Erkenntnisstand nicht haltbar (FISCHER et al. 2013). Es bestehen nach wie vor Wissenslücken z.B. zur Gletscherdynamik oder zu den (sicherheits-) technischen Voraussetzungen (MINHANS et al. 2008). Beispielsweise ist die Wirkung einer starken Hitzequelle im Eis oder an seiner Basis nur schwer abschätzbar (KRAUSKOPF 1988).

Nach Artikel 5 des am 23.06.1961 in Kraft getretenen Antarktisvertrags (ATCM 1959) 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, entsprechende Transporte erforderlich machen würde und in Widerspruch zum §1 des Stand AG stünde.

Resümee: Aufgrund von Sicherheitsbedenken, klimatischen Unwägbarkeiten, völkerrechtlichen Bestimmungen und Transportnotwendigkeiten des Abfalls zur Antarktis empfiehlt die Kommission, diesen Pfad nicht weiter zu verfolgen.

4.4.3 Entsorgung in den Ozeanen

Ozeane als mögliche Orte einer Entsorgung des atomaren Abfalls wurden bereits in der Frühzeit 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 wurde von den USA bereits 1946 durchgeführt. Im Rahmen von Regelungen durch die IAEA (IAEA 1981) wurden noch bis in die 1980er Jahre von einigen kernenergienutzenden OECD-Staaten vornehmlich schwach radioaktive Abfälle im Meer entsorgt (MCKINLEY et al. 2007). In Containern oder Fässern verpackte Abfälle wurden zumeist im Nordatlantik und nordöstlichen bzw. westlichen Pazifik versenkt (Committee of Science and Technology 1999). Die Abwurfzonen befanden sich weit entfernt von Küsten und aktiven Plattenrändern in Wassertiefen zwischen 2000 und 4000 m. Das Gefährdungsrisiko des Verfahrens wurde in einem Bericht der Nuclear Energy Agency (NEA) für einige Abfallarten als relativ gering eingestuft (NEA 1985), in der Annahme, dass die Schadstoffe mit ihrer Aktivität schnell in einer sehr großen Wassermenge verdünnt und weiträumig verteilt werden, wodurch die geforderten Grenzwerte eingehalten werden können. Ein Moratorium der Unterzeichnerstaaten der *London Convention* beendete diese Praxis, und seit 1994 ist die Versenkung schwachradioaktiver Abfälle untersagt.

MINHANS et al. (2008) nennen verschiedene Argumente, die gegen das Verdünnungsprinzip sprechen. Zum einen sei es schwierig eine gänzlich unschädliche Konzentration anzugeben, wobei auch die Kollektivdosis zu berücksichtigen sei. Zudem könne die Verdünnung durch verschiedene Anreicherungseffekte in Sedimenten oder der Nahrungskette aufgehoben werden, was dann wegen der praktisch irreversiblen Methode kaum korrigierbar wäre.

(b) Sedimentschichten unterhalb des Meeresbodens: Als mögliche Methoden für die Lagerung in Sedimentschichten unterhalb des Meeresbodens wurden zwei Verfahren näher betrachtet. Bei dem einen werden speziell angefertigte stromlinienförmige und mehrere Tonnen schwere Abfallbehälter von Bord eines Schiffes fallen gelassen (KLETT 1997, MOBBS et al. 1988, 1989), die sich bis zu 30 Meter tief in unverfestigte weiche Sedimente am Meeresboden bohren. Dies wurde in den 1980er Jahren erfolgreich in der atlantischen Tiefsee getestet (MCKINLEY 2007). Bei dem anderen (nicht in der Praxis getesteten) Verfahren sollen die Abfälle in Bohrlöchern von einigen hundert Metern Tiefe in verfestigten oder unverfestigten Sedimenten gelagert werden, die abschließend mit Beton zu versiegeln wären. Als Ergebnis von Untersuchungen der Nuclear Energy Agency (NEA) der OECD liegen eine Reihe von Abschlussberichten zur Machbarkeit der Einlagerung von hochradioaktiven Abfällen in Tiefseesedimenten vor (NEA 1988, RECHARD et al. 2011).

Für diese Methode sprechen aus technischer Sicht die relativ geringe Störfallwahrscheinlichkeit und die günstigen Eigenschaften von Tiefseesedimenten mit hohem Rückhaltevermögen (AkEnd 2002). Kritisch sind allerdings lange Transportwege, eine höhere Unfallwahrscheinlichkeit auf See, das Risiko von Havarien und von Korrosionsleckagen an Metallcontainern im Salzwassermilieu, die praktisch nicht vorhandene Möglichkeit der Fehlerkorrektur bzw. Rückholung sowie Risiken für das eingesetzte Personal während des Transportes und der Einlagerung. Weiterhin gibt es große Wissenslücken bezüglich der Tiefseebedingungen, in denen die Last der Entsorgung auf die internationale Gemeinschaft abgeschoben wird, Störfälle nicht beherrschbar sind und hoher technischer Entwicklungsaufwand betrieben werden muss, um die Machbarkeit zu gewährleisten (MINHANS et al. 2008). Nach Einschätzung des AkEnd

(2002) stehen für die Erschließung derartiger Endlagerstandorte und die nachfolgende Einlagerung keine erprobten Techniken zur Verfügung.

(c) Subduktionszonen: Die Überlegung, radioaktive Abfälle in Subduktionszonen („Abtauchzonen“ in der Erdkruste an den Grenzflächen der kontinentalen Plattenverschiebungen) zu entsorgen (BOSTROM & SHERIF 1970), verdankt sich vor allem dem Argument, dass die Abfälle durch den Prozess des Abtauchens einer tektonischen Platte in den Erdmantel von der Biosphäre isoliert werden könnten (RECHARD et al. 2011). Das „Abtauchen“ erfolgt mit einer Rate von einigen Zentimetern pro Jahr relativ langsam. Nach RAO (2001) reiche dies aber aus, um die Diffusionsgeschwindigkeit von Radionukliden zu übertreffen, so dass mit ihrer Freisetzung in die Ozeane hinein nicht zu rechnen sei.

Allerdings erhöht sich durch die tektonische Aktivität entlang der Grabenzonen auch die Wahrscheinlichkeit, dass die Sicherheit eines derartigen Endlagers schon frühzeitig und vor 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, wird auch von MINHANS et al. (2008) und KRAUSKOPF (1988) bemängelt. 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 der Einsicht, dass einige wenige Länder nicht die von allen geteilte marine Umwelt verunreinigen sollten (MCKINLEY 2007). Die *London Dumping Convention (Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, LC72)* ist seit 1975 in Kraft. Durch die 1996 erfolgte Ergänzung durch das *London Protocol (IMO 1972)* 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 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.

Es kommt aus deutscher Sicht hinzu, dass eine Entsorgung in den Ozeanen der im StandAG festgeschriebenen nationalen Entsorgungspflicht widersprechen würde. 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.

Resümee: Aufgrund von Sicherheitsbedenken, mangelnden Möglichkeiten von Fehlerkorrektur und Rückholbarkeit der Abfälle und völkerrechtlichen Bestimmungen empfiehlt die Kommission, diesen Pfad in allen drei Teilpfaden nicht weiter zu verfolgen.

4.4.4 Dauerlagerung an oder nahe der Erdoberfläche ohne Endlagerintention

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. Kap. 4.5.1). 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 (dazu Kap. 4), 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. Dadurch könnte insgesamt die gesellschaftliche Akzeptanz verbessert werden (MINHANS et al. 2008).

Der entscheidende Faktor hierbei ist jedoch die Langlebigkeit und Stabilität des Überwachungskonzepts einschließlich der beauftragten Institutionen. Im sogenannten *Hüte-Konzept* (BUSER 1998) soll die Verantwortung zur Überwachung eines oberirdischen Lagers über Generationen weitergegeben werden. In einem an schwedische Verhältnisse angepassten Ansatz (CRONHJORT et al. 2003) sollen die Abfälle in trockenen Gesteinsschichten knapp unter der Erdoberfläche eingelagert werden. Beide Ansätze wurden nicht weiterverfolgt (MCKINLEY & MUNIER 2003, MÖRNER 2003).

Die Dauerlagerung widerspricht der aus den ethischen Prinzipien abgeleiteten Forderung, dass die Entsorgungslösung so auszugestaltet ist, dass sie kein dauerhaftes aktives Tun für kommende Generationen auslöst, sondern ohne eine gegenläufige Entscheidung auf einen sicheren Endzustand für die Entsorgung zuläuft (s. Abschn. 4.2.5). Im Übrigen stellt die Verlässlichkeit der beauftragten Institutionen über eine extrem lange Zeitspanne laut MCKINLEY et al. (2007) den größten Unsicherheitsfaktor dar. Aus diesem Grund geht die IAEA davon aus, dass derartige Verfahren nur für kurzlebige Isotope sinnvoll anwendbar ist (IAEA 1992, 2002, 2003). In die gleiche Richtung tendiert auch die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA), die die gesellschaftliche der geologischen Stabilität gegenüberstellt (NAGRA 1997). Aus Sicht von APPEL et al. (2001) ist die baldige Endlagerung gegenüber Optionen mit Überwachung zu bevorzugen, da weder bezüglich der (Langzeit-)Sicherheit noch der ethischen Begründbarkeit Vorteile der Dauerlagerung erkennbar sind. Die *Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle* (EKRA 2000) kommt zu dem Schluss, dass die Langzeitsicherheit nicht durch eine überwachte Dauerlagerung, sondern nur durch geologische Konzepte gewährleistet werden kann. Ein plausibler Nachweis der Funktion gesellschaftlich-institutioneller Schutzsysteme über den erforderlichen Zeitraum ist nicht möglich (MINHANS et al. 2008; AkEnd 2002). Stabile gesellschaftliche Verhältnisse über Jahrtausende oder länger anzunehmen widerspricht der historischen Erfahrung, während viele geologische Konstellationen eine hohe zeitliche Stabilität haben, die als passive Schutzsysteme genutzt werden können.

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

Resümee: Aufgrund der mangelnden Erwartbarkeit stabiler gesellschaftlicher Verhältnisse über extrem lange Zeiträume und der Verpflichtung, die Belastung zukünftiger Generationen möglichst gering zu halten, empfiehlt die Kommission, diesen Pfad nicht weiter zu verfolgen.

4.4.5 Tiefengeologische Bergwerkslösung ohne Rückholbarkeit

Das Verbringen der radioaktiven Abfälle in einem eigens dazu angelegten Bergwerk in einer tiefen geologischen Formation gehört zu den bestuntersuchten Entsorgungsoptionen. Die meisten Ansätze sehen vor, ein Endlagerbergwerk in einer Tiefe von 500 - 1000 Meter in einer geeigneten geologischen Formation zu errichten, deren langzeitige Stabilität den weitaus größten Teil der Erfüllung der Sicherheitsanforderungen übernehmen soll (AkEnd 2002). Als Wirtsgestein kommen nach gegenwärtigem Wissensstand Salz, Ton und Kristallingestein (z.B. Granit) in Frage, deren Wahl jeweils Auswirkungen auf die erforderliche Bergwerkstechnologie und die notwendigen Sicherheitsnachweise hat.

Die Option eines Endlagerbergwerks wird auch von der Kommission als verfolgenswerte Option empfohlen (Kap. 4.6), jedoch mit einem zentralen Unterschied zu der Version, die hier als nicht verfolgenswert eingestuft wird. Dieser Unterschied betrifft die *Rückholbarkeit* der Abfälle. Man kann zwar sagen, dass die Rückholbarkeit der Abfälle nur eine Frage des Aufwandes sei. In jeder tiefengeologischen Konstellation ist „im Prinzip“ eine Rückholung möglich. Der Aufwand für und die Risiken von einer Rückholung können jedoch extrem unterschiedlich sein. Dementsprechend macht es einen großen Unterschied, ob die Rückholbarkeit bereits von Anfang an unter bestimmten Bedingungen und in bestimmten Zeiträumen vorgesehen wird (dazu Kap. 4.6), oder ob ein möglichst schneller Verschluss des Endlagerbergwerks ohne Rücksicht auf eine Rückholbarkeit angestrebt wird.

Für einen schnellen und endgültigen Verschluss spricht vor allem das Argument, dass keine Nachsorge erforderlich wäre. Idealerweise gäbe es keine Anforderungen an eine länger dauernde Kontrolle des Endlagerbergwerks, weil die geologische Formation die geforderte Sicherheit garantieren soll. Zukünftigen Generationen würden weder Kosten durch Nachsorge noch Belastungen durch Risiken entstehen. Die notwendige Wissensweitergabe wäre beschränkt auf die Kenntnis des Standortes, damit dort nicht in späteren Zeiten andere Nutzungen vorgesehen würden.

Die Kritik an diesem Ansatz betrifft vor allem die Frage, ob die Prämissen überhaupt erfüllbar sind. Die zentrale Prämisse ist, dass eine technisch/geologisch *absolut sichere* Lösung möglich ist, dass also Sicherheitsnachweise so verlässlich geführt werden können, dass zukünftige Generationen vor möglichen Schädigungen durch die Abfälle garantiert geschützt sind. Diese Prämisse entstammt einem technisch/naturwissenschaftlichen Machbarkeitsideal, das durch die Bewusstwerdung der Ambivalenz von Technik (Grunwald 2010), insbesondere im Auftreten nicht intendierter Folgen, in grundlegende Zweifel geraten ist (dazu Kap. 2). In einer ethischen Analyse wurde sogar das Ergebnis erzielt, dass eine Endlagerung ohne Rückholbarkeit, die ja eigentlich zukünftige Generationen von Belastungen möglichst freihalten soll, zu besonders großen Risiken für diese führen könne (Kalinowski et al. 1999).

Wenn jedoch die Machbarkeit einer garantiert sicheren Lösung in Zweifel gerät, muss es unter ethischen Gesichtspunkten kommenden Generationen grundsätzlich möglich bleiben, Einschätzungen aus früherer Zeit zu revidieren und durch eigene Bewertungen zu ersetzen (vgl. Abschn. 4.2.5). Erst recht müssen Vorkehrungen getroffen werden, um mit unerwarteten Entwicklungen - die in der ersten Zeit nach der Einlagerung aufgrund der Wärmeentwicklung am wahrscheinlichsten sind - verantwortlich umgehen zu können. Genau diese Argumentation führt auf die auch im StandAG genannten Anforderungen an die Möglichkeit von Fehlerkorrekturen und Rückholbarkeit und somit zu einem Ausschluss von Optionen, die keine Rückholbarkeit vorsehen.

Resümee: Aufgrund mangelnder Vorkehrungen für Fehlerkorrekturen und zur Rückholbarkeit der Abfälle empfiehlt die Kommission, diesen Pfad nicht weiter zu verfolgen.

4.5 Optionen zur weiteren Beobachtung und ggf. Erforschung

Einige Optionen können mangels belastbaren Wissens zurzeit noch nicht abschließend eingestuft werden. Sie sind weiter systematisch zu beobachten, ggf. ist durch gezielte Forschung der Wissensstand zu verbessern, um eine spätere abschließende Beurteilung zu ermöglichen. Sie eignen sich jedoch nach dem gegenwärtigen und absehbaren Stand des Wissens nicht als Basis für eine sichere Entsorgung und werden daher nicht weiter ausgearbeitet.

geschätzter Platzbedarf: je ca. 3 Seiten pro Option

4.5.1 Langfristige Zwischenlagerung

Es wird darauf verzichtet, ein Endlagerkonzept in absehbarer Zeit zu entwickeln. Stattdessen wird die Lagerung der Abfälle auf sehr lange Zeit (Größenordnung einige Jahrhunderte) in Form eines oberirdischen oder oberflächennahen und damit ständig zu kontrollierenden und kontrollierbaren Lagers vorgesehen mit der Absicht, irgendwann dennoch auf ein Endlagerkonzept umzusteuern.

Dieses Kapitel wird geschrieben, nachdem das entsprechende Gutachten in der AG3 diskutiert und ausgewertet wurde.

4.5.2 Transmutation

Transmutation ist technisch noch in der Entwicklung. Sie würde das Aufrechterhalten einer kerntechnischen Industrie erfordern (vergleichbar zur Wiederaufbereitung). Auch bei optimistischen Annahmen besteht die Notwendigkeit der Entwicklung eines Entsorgungskonzeptes zum langfristigen Umgang mit hoch radioaktiven Abfällen weiter.

Dieses Kapitel wird geschrieben, nachdem die beiden Gutachten vorliegen und in der AG3 diskutiert und ausgewertet wurden.

4.5.3 Tiefe Bohrlöcher

Diese Option besteht darin, Bohrlöcher mit Durchmesser von einem bis mehreren Metern und mehreren tausend Metern Tiefe zur Endlagerung vorzusehen (ca. 3000 - 5000 m). Nach der Einlagerung der Abfallbehälter sollen diese Bohrlöcher verschlossen werden.

Dieses Kapitel wird geschrieben, nachdem das vergebene Gutachten vorliegt und in der AG3 diskutiert und ausgewertet wurde.

4.6 Priorität: Endlagerbergwerk mit Reversibilität/Rückholbarkeit/Bergbarkeit

Die Kommission kommt nach mehreren intensiven Diskussionen 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 misst die Kommission der Reversibilität von Entscheidungen und der Rückholbarkeit bzw. Bergbarkeit der Abfälle hohe Bedeutung bei (entgegen der Option in Kap. 4.4.5), z.B. um Fehlerkorrekturen (StandAG) zu ermöglichen, aber auch um zukünftigen Generationen Handlungsoptionen und Entscheidungsspielräume offen zu halten.

Im Folgenden werden zunächst die Grundannahmen und Prämissen der Option erläutert (4.6.1), um sodann die hier maßgeblichen Begriffsklärungen vorzunehmen (4.6.2), ihre Phasen entlang der Zeitachse kurz zu beschreiben (4.6.3) und anschließend eine Empfehlung zu geben, wie eine stetige Überprüfung des eingeschlagenen Pfades in Anbetracht der ethischen Prinzipien und der Belange auch künftiger Generationen erfolgen könnte (4.6.4). Schließlich werden die zentralen Argumente genannt, die die Endlagerkommission bewogen haben, auf diese Option zu setzen (4.6.5).

4.6.1 Grundlagen und Prämissen

Die mit dieser Option verbundenen Prozesswege haben als letztendliches Ziel ein Endlager in einer tiefen geologischen Formation in Form eines Bergwerks, das in einer (mehr oder weniger fernen) Zukunft verschlossen werden kann und keine Belastungen der Biosphäre und zukünftiger Generationen verursacht. Selbstverständlich bleibt es zukünftigen Generationen offen, über den Zeitpunkt, die Modalitäten, ja sogar über das „ob überhaupt“ eines ‚endgültigen‘ Verschlusses zu befinden (näher dazu s. Abschn. 4.6.4). Das heutige 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, dass diese eben auch nicht annehmen können (vgl. Abschn. 4.2.5). Entscheidungskriterien und Verfahrensschritte sind so festzulegen, dass dieses Ziel erreicht werden kann (hierzu im Detail Kap. 5).

Die Gestaltung des Prozessweges bis hin zu einem verschlossenen Endlagerbergwerk soll ein Höchstmaß an Lernmöglichkeiten und Möglichkeiten für Fehlerkorrektur und zur Berücksichtigung neuer Erkenntnisse garantieren. Konzepte der Rückholbarkeit oder Bergbarkeit der Abfälle bzw. der Reversibilität von Entscheidungen sind dafür zentral. Bevor unumkehrbare oder nur unter großem Aufwand revidierbare Entscheidungen getroffen werden, muss an Meilensteinen im Prozess eine transparente und wissenschaftlich gestützte Evaluation unter Beteiligung nationaler und internationaler Gremien und der Öffentlichkeit durchgeführt werden (zur institutionellen Absicherung s. Abschn. 4.6.4). Um die Notwendigkeit von Umsteuerungen im Prozess, z.B. zur Fehlerkorrektur, überhaupt erkennen zu können, bedarf es geeigneter Formen des Monitoring (vgl. dazu Kap. 5).

Die (insbesondere) hoch radioaktiven Abfälle werden von der Kommission als *Abfälle* angesehen, die dauerhaft sicher verwahrt werden müssen. Insofern eine Rückholbarkeit der Abfälle vorgesehen werden soll, geschieht dies ausschließlich in Hinblick auf die dauerhaft sichere Lagerung der Abfälle (s. Abschn. 4.2.5), keinesfalls dahingehend, die Abfälle möglicherweise in Zukunft als Wertstoffe zu nutzen. Freilich stünde es zukünftigen Generationen frei, dies anders zu sehen.

In der Suche nach dem Standort mit der bestmöglichen Sicherheit (Kap. 5.3) kommt es grundsätzlich nicht nur auf das Wirtsgestein an, sondern auf Kombinationen von Wirtsgestein und zugehörigem technischem wie organisatorischem Endlagerkonzept. Die Frage, ob Salz, Ton oder Kristallingestein am besten geeignet sind, kann ohne Angabe des jeweiligen Endlagerkonzeptes nicht abschließend beantwortet werden und stellt sich auf dieser Ebene nicht.

In dem ab 2018 vorgesehenen Standortsuchverfahren müssen alle für die möglichen Prozesswege hin zu einem verschließbaren Endlagerbergwerk relevanten Aspekte bedacht werden, vor allem durch die Festlegung der Kriterien und der Verfahrensschritte (Kap. 5). Die Anforderung der Rückholbarkeit/Bergbarkeit der Abfälle bringt dabei eigene Anforderungen mit

sich. Andererseits sollen möglichst wenige Vorentscheidungen getroffen werden, damit den zukünftigen Generationen Möglichkeiten des Umschwenkens auf andere Optionen offen bleiben. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass es nicht möglich ist, die ethischen Prinzipien bereits heute abschließend in einen Ausgleich zu bringen, sondern dies bis auf weiteres eine Daueraufgabe bleibt (vgl. 4.2.5). Heute angestellte Gedanken über teils weit entfernte zukünftige Entwicklungen dienen deshalb nicht dem Zweck, diese vorweg festzulegen, sondern herauszufinden, was alles bereits zu Beginn des Suchverfahrens bedacht werden muss, damit als Ergebnis des Verfahrens der ‚bestmögliche Standort‘ (Kap. 5.3) herauskommt.

4.6.2 Reversibilität, Rückholbarkeit und Bergbarkeit - Begriffsklärungen

Die Gestaltung des Prozessweges bis hin zu einem verschlossenen Endlagerbergwerk soll ein Höchstmaß an Lernmöglichkeiten und Möglichkeiten für Fehlerkorrektur und zur Berücksichtigung neuer Erkenntnisse garantieren. Konzepte der Rückholbarkeit oder Bergbarkeit der Abfälle bzw. der Reversibilität von Entscheidungen sind dafür zentral. Folgende Begriffsverständnisse liegen den weiteren Ausführungen zugrunde:

- *Reversibilität* von Entscheidungen bedeutet, einmal getroffene Entscheidungen rückgängig und auf andere Entsorgungspfade umsteigen zu können, z.B. aufgrund neuer und attraktiver erscheinender technischer Möglichkeiten oder aufgrund 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 Eingangsstrecken und Bohrlöcher teilweise endgültig verschlossen (verwahrt; abgedichtet) sind. Rückholung ist die konkrete Handlung, mit der die Abfallbehälter aus dem Endlager zurückgeholt werden. Rückholbarkeit setzt voraus, dass Vorkehrungen getroffen worden sind, die eine Rückholung der Abfallbehälter erleichtern bzw. gewährleisten, also entsprechende Technologien von der Infrastruktur bis hin zu den Behältern.
- *Bergbarkeit* meint die Möglichkeit der Rückholung von Behältern mit hochradioaktiven Abfall verstanden, wenn das Endlagerbergwerk bereits vollständig verschlossen (verwahrt, abgedichtet) ist. Dies kann z.B. durch das Auffahren eines zweiten Bergwerks in Nachbarschaft zu dem ursprünglichen Endlagerbergwerk erfolgen, über das die Bergung erfolgen kann. Voraussetzung dafür ist die genaue Kenntnis der Lage der Abfälle 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 (s. Abschn. 4.2.5) den Prozess möglichst lernfähig zu machen und zukünftigen Generationen Handlungsmöglichkeiten offen zu halten.

4.6.3 Zeitliche Struktur: Phasenmodell

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 Phasen eingeteilt werden kann.

Phase 1: Standortauswahlverfahren

Der Start des Auswahlverfahrens möglicher Endlagerstandorte kann nach StandAG gegebenenfalls ab 2018 nach einer Entscheidung des Deutschen Bundestages erfolgen. Notwendig sind hier vor allem wissenschaftlich klar definierte und demokratisch legitimierte Suchkriterien, insbesondere Sicherheitskriterien (Kap. 5), sowie klare Regeln für Verfahrensschritte, Beteiligung der Öffentlichkeit, Behördenstruktur und Entscheidungsprozesse. Die Standortsuche erfolgt in mehreren Schritten der allmählichen Eingrenzung von in Frage kommenden Standorten bis hin zur Bestimmung des bestmöglichen Standorts (vgl. Kap. 5.3). In diesem Prozess lagern die hoch radioaktiven Abfälle weiter in Zwischenlagern. Im Falle eines hohen Zeitbedarfs der Suche nach einem Endlagerstandort 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 Abschn. 4.7.3). Während des Suchprozesses kann das Verfahren jederzeit abgebrochen und es kann auf (auch ganz) andere Pfade umgeschwenkt werden. Ggf. müssten die bereits eingesetzten Mittel zur Standortsuche abgeschrieben werden. Mit der Festlegung eines Endlagerstandortes durch eine Entscheidung des Deutschen Bundestages wird diese Phase abgeschlossen (vgl. die detaillierte Beschreibung dieser Phase in Kap.5.5.1).

Phase 2: Bergtechnische Erschließung des Standortes

Die bergtechnische Erschließung des Standortes für die Einlagerung der radioaktiven Abfälle umfasst zunächst die vorlaufenden erforderlichen Planungs- und Genehmigungsverfahren und die Erbringung der erforderlichen Sicherheitsnachweise in der Kombination von geologischen Barrieren und technischem Endlagerkonzept. Sodann geht es um den Bau des Endlagers mit allen erforderlichen technischen Anlagen ober- und untertägig einschließlich der Transportwege für die spätere Einlagerung. Diese Phase wird voraussichtlich mit einer „kalten“ Probe-phase abgeschlossen, in der das bergtechnische Funktionieren aller Prozesse der Einlagerung (und ggf. des Monitoring) getestet wird. Parallel müssen die technischen Voraussetzungen für die Einlagerung geschaffen werden, z.B. was geeignete Behälter für die Abfälle und die Transportwege betrifft. Während dieser Phase kann die Erschließung jederzeit abgebrochen und es kann auf andere Pfade umgeschwenkt werden. Die Kosten würden sich darin erschöpfen, die Mittel für die Suche und für die Erschließung abzuschreiben (vgl. die detaillierte Beschreibung dieser Phase in Kap.5.5.2).

Phase 3: Einlagerung der radioaktiven Abfälle

Die Einlagerung der radioaktiven Abfälle beginnt mit dem Einbringen des ersten beladenen Endlagergebindes 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 verschlossen, damit die Gebinde im Falle eines Wassereintrages geschützt sind. Die Behälter werden in ihre endgültige Lage gebracht. Der Verschluss geschieht so, dass eine Wiederöffnung und Rückholung der Abfälle in angemessener Zeit (Zeitdauer: einige Jahre, ähnlich wie die Einlagerung) möglich ist. Auch die Gebinde/Behälter müssen so ausgelegt sein; dass eine Rückholung möglich ist. Das Bergwerk selbst verbleibt in dieser Phase in einem ordnungsgemäßen

und betriebsbereiten Zustand. Die Einlagerung kann jederzeit unterbrochen werden und später fortgesetzt werden oder auch endgültig aufgegeben 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, 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 gekommen. Die Endlagergebäude sind in verschiedene Kammern oder Strecken verbracht, die verschlossen sind, damit die Gebinde im Falle eines Wassereintrittes geschützt sind (vgl. die detaillierte Beschreibung dieser Phase in Kap.5.5.3).

Phase 4: Beobachtungsphase vor Verschluss

In der Phase nach Abschluss der Einlagerung ist das Bergwerk weiterhin voll funktionsfähig und zugänglich. Die Beobachtung der weiteren Entwicklung (z.B. Temperatur, Stabilität der geologischen Formation) ist möglich. Monitoring-Möglichkeiten. Die eingelagerten Gebinde können im Bergwerk verbleiben, bei Bedarf aber auch 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 Verschluss des Endlagerbergwerkes als Abschluss dieser Phase 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 Phase in Kap.5.5.4).

Phase 5: Verschlossenes Endlagerbergwerk

Mit dem Zustand eines verschlossenen Endlagerbergwerkes 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 (Kap. 4). Bei Bedarf können die Gebinde über die Auffahrung eines neuen Bergwerkes und unter Nutzung der Dokumentation geborgen werden. Die Bergung ist möglich, solange der Standort des Endlagerbergwerkes bekannt ist, solange die Dokumentation auffindbar und lesbar ist, solange die Endlagergebäude (Behälter) selbst in bergbarem Zustand sind, und solange die technischen und gesellschaftlichen Voraussetzungen einer Bergung (d.h. Auffahren eines parallelen Bergwerkes) gegeben sind (vgl. die detaillierte Beschreibung dieser Phase in Kap.5.5.5).

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.

4.6.4 Haltepunkte und Zwischenbewertungen durch ein unabhängiges Gremium

[Vorbem.: Dieser Abschnitt könnte auch an anderer Stelle im Bericht stehen, insbesondere in Kapitel 5]

Schritte, die jeweils zu einer signifikanten Erschwernis hinsichtlich Reversibilität / Rückholbarkeit führen (Beginn mit der Einlagerung, Verschluss der Lagerorte, Verschluss des Endlagers) stellen per se Meilensteine im Verfahren dar. Aus den ethischen Prinzipien (s. Abschn. 4.2.5) ist abzuleiten, dass es sich um Haltepunkte handeln muss, zu denen jeweils der aktuelle Stand des Wissens reflektiert und mögliche Änderungen im Verfahren bis hin zu Rücksprüngen oder einem Umschwenken auf ganz andere Optionen bedacht werden sowie dann eine bewusste Entscheidung unter Beteiligung der breiten Öffentlichkeit bzw. der regional betroffenen Öffentlichkeit getroffen werden sollte. Weitere solcher Haltepunkte sind jederzeit definierbar. Auch in der Zwischenzeit besteht die Notwendigkeit, das Fortschreiten der Entsorgung der HAW vor dem Hintergrund der ethischen Prinzipien laufend zu beobachten und von Zeit zu Zeit und anlässlich neuer Entwicklungen ggf. auch neu zu bewerten (s. Abschn. 4.2.5). Ähnliche Daueraufgaben wurden auf der wissenschaftlichen, der institutionellen und der gesellschaftlichen Ebene identifiziert (s. Abschn. 5.5.7). Für diese Aufgaben und ggf. noch später auftretende vergleichbare Aufgabenstellungen bedarf es einer dauerhaften unabhängigen Institution, die nicht bereits mit konkreten Fachaufgaben betraut ist (wie z.B. die zuständige Genehmigungsbehörde für Endlager) oder selbst zur Entscheidung berufen ist (wie z.B. Parlament).

Diese Institution könnte ein Entsorgungsrat sein. Immer wieder ist im Zuge der Endlagerdebatte die Notwendigkeit zu Tage getreten, dass ein unabhängiges Gremium sich professions- und fachbereichsübergreifend der Thematik annimmt. Dazu wurde der AKEnd gegründet und dazu wurde die Endlagerkommission ins Leben gerufen. Das jeweils anlassbezogene Zusammenstellen von Gremien hat aber den Nachteil, dass sich Abläufe neu einspielen und die Beteiligten sich teilweise neu in die Materie einarbeiten müssen. Das wird über die kommenden Jahrzehnte, in denen das große Thema Atomkraft vermutlich auch in der Öffentlichkeit nicht mehr mit gleicher Intensität verfolgt wird und auf allen Seiten (auch Bürgerinitiativen, Verbände pp.) Know-How verloren geht, immer schwieriger. Sinnvoll erscheint es, ein vergleichbares unabhängiges Gremium jetzt dauerhaft zu institutionalisieren. Darin sollten wiederum Politik, Gesellschaft und Wissenschaft angemessen vertreten sein, wenngleich der Entsorgungsrat kleiner als die bisherigen Gremien sein sollte. Ein Vertreter im Rat sollte als eine Art Ombudsmann die Interessen künftiger Generationen repräsentieren.

Der Entsorgungsrat wäre in erster Linie fachlich versierter Beobachter, Koordinierer und Impulsgeber, der sich auch mit neuen Entwicklungen und Mindermeinungen auseinandersetzen soll. Seine dauerhafte Verankerung würde zu einer tiefen Fachlichkeit und das Miteinander darin zu einem gegenseitigen Verständnis für die jeweils von anderen Mitgliedern repräsentierten Belange führen, wie dies bei der Arbeit der Endlagerkommission zu beobachten war. Der sukzessive Austausch von jeweils nur einzelnen Mitgliedern könnte zu einem langfristigen Know-How-Erhalt auch bei dieser Form der gesellschaftlichen Begleitung sorgen. Dem Entsorgungsrat sollten zum einen bestimmte Aufgaben fest zugeschrieben werden, er soll darüber hinaus aber auch die Befugnis haben, von sich aus neue Diskussionen, Prüfungen, Befassungen etc. im Zusammenhang mit der Endlagerung der HAW anzustoßen. Er ist selbst

nicht Entscheidungsorgan, sollte aber z.B. eine parlamentarische Befassung anstoßen können und hat insoweit ein eigenes Initiativ- und Befassungsrecht.

Als eine besonders bedeutende Aufgabe hat der Entsorgungsrat alle Entscheidungen vorzubereiten, die sich in signifikanter Weise auf die Rückholbarkeit der eingelagerten Abfälle auswirken, insbesondere den Verschluss der ersten Strecken und den Verschluss des Endlagers. Hier sind im weiteren Verfahren die Haltepunkte konkret zu definieren und gesetzlich festzuschreiben, an denen der Entsorgungsrat vor dem Hintergrund der ethischen Prinzipien eine aktualisierte Bewertung des geplanten Schritts und darauf aufbauend eine Empfehlung vorzunehmen hat (z.B. Verschluss oder aber auch weiteres Monitoring für einen bestimmten Zeitraum, weitere Maßnahmen etc.). Damit würde insgesamt der aus den maßgeblichen ethischen Prinzipien abgeleiteten Anforderung, diese Prinzipien nicht nur einmalig aus heutiger Sicht, sondern dauerhaft und ggf. auch durch Nachsteuern in einen angemessenen Ausgleich zu bringen, bestmöglich Rechnung getragen. Da das „pluralistisch zusammengesetzte gesellschaftliche nationale Begleitgremium zur gemeinwohlorientierten Begleitung des Prozesses der Standortauswahl“ (§ 8 StandAG) eine ähnliche Funktion während der Standortsuche hätte, könnte dieses zu dem hier vorgeschlagenen Entsorgungsrat weiter entwickelt werden.

4.6.5 Begründung der Priorität

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

- diese Lösung ist in Deutschland machbar (anders als die meisten der in 4.4 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 im Konzept der oberflächennahen Dauerlagerung, Kap. 4.4.4)
- 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 4.4 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 (s. Abschn. 4.2)
- über die erforderlichen geologischen Voraussetzungen (passive Sicherheitssysteme, Barrieren) liegen weit reichende wissenschaftliche Kenntnisse vor, welche die Realisierung als aussichtsreich erscheinen lassen (dazu Kap. 5.6)
- die technischen Voraussetzungen (Behälter, Auffahren und Betrieb des Endlagerbergwerks, Einlagerung und Verschluss) sind zum Teil Stand der Technik heute, zu anderen Teilen erscheinen sie einlösbar (dazu Kap. 5.8 und 5.9)
- diese Option kollidiert nicht mit Bestimmungen des Völkerrechts (wie manche der in 4.4 diskutierten Optionen)

Damit ist die Option „Endlagerbergwerk mit Reversibilität/Rückholbarkeit/Bergbarkeit“ nach Auffassung der Kommission ein aussichtsreicher Weg, mit den Hinterlassenschaften des Atomzeitalters verantwortlich umzugehen.

4.7 Zeitbedarf zur Realisierung und notwendige Zwischenlagerzeiten

4.7.1 Zeitplan beim favorisierten Ansatz

Die hohe Flexibilität des geschilderten Verfahrens bringt es mit sich, dass über die Zeitbedarfe der einzelnen Schritte und die Zeiten bis zu den jeweiligen Entscheidungsfindungen nur wenig ausgesagt werden kann. Folgende Zeitstruktur ist am StandAG orientiert, erscheint aber als sehr optimistisch (die Zahlenangaben dürfen nur als grobe Orientierung verstanden werden):

Phase	Beginn	Abschluss
Standortsuche	2018	2031 (nach StandAG)
Bergtechnische Erschließung	2031	2050
Einlagerung der Abfälle	2050	2070
Beobachtung vor Verschluss	2070	2100
Verschluss	2100	offen

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 Standortsuche, mit dem wissenschaftlich bestmöglichen, gesellschaftlich legitimierten und verantwortbaren Satz an Suchkriterien und Verfahrensschritten zu beginnen. Alles Weitere obliegt Gesellschaft und Entscheidungsträgern in Zukunft.

4.7.2 Mögliche Zeitpläne bei anderen Pfaden

offen

4.7.3 Notwendige Zwischenlagerung vor der Endlagerung

Bis zur Einlagerung der Abfälle in das Endlager sind sie zwischenzulagern. Die Kommission bezeichnet diese Form der Zwischenlagerung in Abgrenzung zur „Langfristigen Zwischenlagerung“ (s. 4.5.1) als „notwendige Zwischenlagerung“, da sie per se nicht als Entsorgungsoption betrachtet wird und auf das bis zur Einlagerung in das Endlager unabdingbare Maß zu reduzieren ist. Es war nicht Aufgabe der Kommission, auch für die notwendige Zwischenlagerung Kriterien zu entwickeln. Angesichts der dargestellten Zeitpläne (s. insbes. 4.7.1) und bestehender Zusammenhänge zwischen End- und Zwischenlagerung lässt sich die Thematik der notwendigen Zwischenlagerung aber auch nicht ausblenden. Schon bei der als sehr opti-

mistisch gewerteten Zeitstruktur des StandAG kommt es zu einem zeitlichen Delta zwischen dem Auslaufen der derzeitigen Genehmigungen für die Standortzwischenlager und der Einlagerung der ersten Behälter in das Endlager, erst recht bis zur vollständigen Einlagerung aller Behälter. Dieses Delta kann von einem halben Jahrzehnt bis hin zu vielen Jahrzehnten dauern – je nachdem ob es zu Verzögerungen, Rückschlägen oder Rücksprüngen im Verfahren kommt.

Die Genehmigungen lassen sich zwar grundsätzlich verlängern, doch sollte dies nicht unreflektiert geschehen. Anzuerkennen ist zweifelsohne die Zielsetzung, einen weiteren Transport je Castor-Behälter (an einen anderen Zwischenlagerstandort bzw. von diesem zum Endlager) zu verhindern und deshalb die Behälter unmittelbar von den Standortzwischenlagern und den zentralen Zwischenlagern an den Endlagerstandort zu transportieren. Diese Zielsetzung darf sich aber nicht per se für nach oben offene Zeiträume durchsetzen, sondern muss in einen differenzierten und ausgewogenen Neubewertungsprozess einfließen. Was für die Endlagerkonzeption gilt, muss im Grundsatz auch für die Zwischenlagerkonzeption gelten, da sie für viele Menschen unserer Generation eine ähnliche oder sogar noch greifbarere Bedeutung hat. Wenn heute eine Einlagerung der letzten Gebinde im Zeitraum 2070 bis 2075 als optimistisch betrachtet wird, dann besteht für Menschen in den Standortgemeinden durchaus eine reale Perspektive, dass während des Großteils ihres Lebens hochradioaktive Abfälle in ihrer Umgebung gelagert werden.

Zu beachten ist auch, dass sich die Rahmenbedingungen der Standortzwischenlagerung in den nächsten Jahren verschieben werden. Die Kernkraftwerke werden stillgelegt und abgebaut, bereits früh im Abbauprozess werden die dortigen Handhabungseinrichtungen nicht mehr nutzbar sein. Kernkraftwerkspersonal wird zunehmend abgebaut, die organisatorische Verflechtung der Standortzwischenlager mit den Kernkraftwerken aufgehoben (Autarkie). Nach Einlagerung der letzten Behälter aus den Kernkraftwerken etwa im Zeitraum 2025 bis 2027 wird es bis zum Transport an den Endlagerstandort und zur dortigen Konditionierung nur noch um Lagerung gehen. Praktische Handhabungen an den Standorten (Be- und Entladevorgänge, Brennelementhandhabungen, Behälterbewegungen) finden in diesem u.U. Jahrzehnte dauernden Zeitraum nicht statt, der Know-How-Erhalt wird dadurch erschwert. Die Akzeptanz für die Standortzwischenlager wird sinken, wenn sie als letzte Überbleibsel der Kernenergienutzung die vollständige Entlassung der Standorte aus dem Atomrecht und eine konventionelle Nachnutzung verhindern. Möglicherweise kommt es auch zu durchgreifenden Veränderungen auf Seiten der Betreiber.

Diese Rahmenbedingungen, erst recht etwa auftretende Erkenntnisfälle aus der Überprüfung der Behälter oder gar Reparaturfälle, können dazu führen, dass sich im Endlagerprozess der Druck auf Vorhabenträger und Genehmigungsbehörde erhöht, schnellstmöglich das Endlager bereit zu stellen. Zwar ist eine zügige Standortsuche und Inbetriebnahme des Endlagers grundsätzlich anzustreben, doch darf dies nicht dazu führen, dass notwendige Schritte und ggf. auch Rücksprünge nicht oder nicht in der gebotenen Gründlichkeit vorgenommen werden. An dieser Stelle sind damit Endlagersuche und Zwischenlagerungskonzept miteinander verzahnt. Daneben gibt es weitere Berührungen: In den Zwischenlagern müssen die Behälterinventare in einem Zustand bleiben, in welchem sie noch in die nach Endlagerkonzept vorgesehenen Behälter umgeladen werden können und sie müssen transportierbar bleiben. Zeitlich muss die Auslagerung aus den Zwischenlagern mit der Konditionierung am Endlagerstandort abgestimmt sein. Eine Reihe von weiteren Entwicklungen ist zudem schwer vorher-

sehbar, etwa die Entwicklung hinsichtlich des Schutzes vor Einwirkungen Dritter, die in den letzten Jahren eine starke Dynamik entfaltet hat. All das spricht dafür, nicht nur die Endlagerung von HAW sondern auch dessen notwendige Zwischenlagerung auf den Prüfstand zu stellen.

Vor dem dargestellten Hintergrund ist deshalb eine Überprüfung der Belastbarkeit des aktuellen Zwischenlagerungskonzepts zu empfehlen. Diese Überprüfung muss sich insbesondere auf folgende Aspekte erstrecken: Sicherheit der Lagerung, Gewährleistung der Transportfähigkeit der Castor-Behälter, Alterungsprozesse, regelmäßige Prüfungen des Inventarzustands, Möglichkeit von Reparaturmaßnahmen und Umpacken, Fachkunderhalt des Personals, Anlagensicherung, Akzeptanz der Lagerung, Entwicklung der KKW-Standorte, Vorbereitung auf die Endlagerung (Konditionierung). Gegebenenfalls sollten auch Aussagen dazu getroffen werden, wie lange das gegenwärtige Konzept unter diesen Gesichtspunkten noch tragfähig ist. Das impliziert eine Auseinandersetzung auch mit den Vor- und Nachteilen einer konsolidierten Zwischenlagerung an zwei bis drei größeren (bestehenden oder neuen) Standorten sowie mit einer Verbringung in ein Zwischenlager am Endlagerstandort in verschiedenen Varianten (Pufferlager für Teilmengen, Lager mit Kapazität für alle Behälter und Möglichkeit der parallelen Einlagerung).

Einiges spricht dafür, dass derzeit noch die Vorteile des gegenwärtigen Konzepts überwiegen, irgendwann auf der nach oben offenen Zeitachse aber dessen Nachteile durchschlagen werden. Da Verzögerungen bei der Endlagersuche typischerweise unvorhersehbar sind und man folglich einerseits mit Ihnen rechnen muss, sie andererseits auch nicht unterstellen kann, sollte sich die Prüfung mit der Möglichkeit auseinandersetzen, ein schrittweises Verfahren zur Suche nach Standorten für eine konsolidierte Zwischenlagerung einzuleiten. Dieses könnte an das Verfahren der Endlagersuche angelehnt und zu dieser sukzessive ausgestaltet werden (Zug-um-Zug-Verfahren): Wenn ein für eine bestimmte Phase der Endlagersuche vorgesehener Zeitraum überschritten wird, wird die nächste Phase der Zwischenlagersuche eingeleitet (z.B. Kriterienentwicklung, Standortsuche, Genehmigungsschritte, evtl. Errichtung / Erweiterung). Dies könnte jeweils automatisch oder aufgrund der Entscheidung eines unabhängigen Gremiums geschehen, welches die weiteren Verzugsrisiken bezüglich der Inbetriebnahme des Endlagers bewertet.

Für die Prüfung erscheint ein kürzerer Zeitraum als jener der Endlagerkommission (z.B. 1 Jahr) sowie ein überschaubareres Format, welches aber trotzdem auch die gesellschaftlichen Implikationen (z.B. Belastung der Standortgemeinden) mit abdeckt, ausreichend und sinnvoll. Insgesamt würde so Vorsorge für (u.U. auch Jahrzehnte lange) Verzögerungen bei der Endlagersuche getroffen, ohne den Vorrang der Endlagerung vor der Zwischenlagerung aufzugeben. Die Perspektive zur Auflösung der gegenwärtigen Kernkraftwerksstandorte würde gestärkt.

Literatur

Zu Kap. 4.3 in BGR-Zuarbeit

Anselm Tiggemann, Die "Achillesferse" der Kernenergie in Deutschland. Zur Kernenergiekontroverse und Geschichte der Entsorgung von den Anfängen bis Gorleben 1955 bis 1985. Lauf an der Pegnitz 2004.

Grunwald 2010

Kalinowski et al 1999