



Verlängerte Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und sonstiger hochradioaktiver Abfälle in Abhängigkeit von der Auswahl des Endlagerstandorts

POSITIONSPAPIER

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	2
2	Zeitliche Aspekte der verlängerten Zwischenlagerung und der Endlagerung sowie endzulagernde Mengen.....	3
3	Zwischenlagerung.....	4
4	Endlagerung.....	6
5	Eingangs-/Ausgangslager am Endlager.....	7
6	Konditionierung.....	9
7	Entwicklung/Fertigung von Endlagerbehältern.....	10
8	Transporte und Transportierbarkeit und generelle Logistik.....	11
9	Übergeordnete Aspekte.....	14
10	Empfehlungen für ein nationales Regelwerk.....	16
11	Fazit.....	17
12	Literatur.....	19
13	Anhang: Zeitstrahl.....	20

1 Einleitung

Mit dem Standortauswahlgesetz (StandAG) [1] wurde die Auswahl eines Endlagerstandorts für hochradioaktive Abfälle auf eine neue Basis gestellt. Dem trägt auch das Nationale Entsorgungsprogramm Rechnung [2]. Danach soll die Entscheidung über den Standort für das Endlager für hochradioaktive Abfälle¹ 2031 angestrebt werden. Die Inbetriebnahme ist für das Jahr 2050 angestrebt. Bereits hieraus ergibt sich, dass die Dauer der Zwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle über die bisher genehmigten 40 Jahre hinausgehen wird, was auch eine Betrachtung der dabei zu berücksichtigenden Effekte erforderlich macht. Dies trifft umso mehr zu, da im November 2022 Verlautbarungen der BGE bzw. des BASE bekannt wurden [3], nach denen sich die Standortentscheidung im günstigsten Fall um 15 Jahre bis 2046 und im ungünstigsten Fall sogar um 37 Jahre bis 2068 verzögert. Dies hat nicht nur Konsequenzen für die Zwischenlagerung, sondern für den gesamten Entsorgungsstrang.

Die Entsorgungskommission (ESK) hat bereits 2015 begonnen, sich mit den Konsequenzen einer verlängerten Zwischenlagerung zu beschäftigen und ein erstes Diskussionspapier veröffentlicht [4]. Im Jahr 2019 hat die ESK das Thema erneut aufgegriffen und im Jahr 2021 eine Anhörung aller Verfahrensbeteiligten durchgeführt. Hierzu gehörten neben den Lagerbetreibern BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH (BGZ) und EWN Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH (EWN) auch der Behälterhersteller GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH (GNS), die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) als Gutachter sowie das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) als Genehmigungsbehörde für die Zwischenlager und als Zulassungsbehörde für die Transport- und Lagerbehälter (TLB). Zusätzlich erfolgte eine Anhörung der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE), um auch die Schnittstelle zwischen der verlängerten Zwischenlagerung und der Endlagerung zu beleuchten. Ziel war es, eventuell noch bestehende Kenntnislücken und Handlungsbedarf zur Erbringung der Sicherheitsnachweise für eine über die 40 Jahre hinausgehende Zwischenlagerung sowie zur Sicherstellung der Transportierbarkeit der Behälter nach Ablauf der Zwischenlagerzeit zu identifizieren, die Schnittstellen zwischen den Verfahrensbeteiligten zu klären und Transparenz hinsichtlich der zeitlichen Abhängigkeit verschiedener Aspekte zu schaffen. Im Verlauf dieser Befassung wurde zunehmend deutlich, dass die Realisierung der Endlagerung bis 2050 sehr ambitioniert ist und neben der verlängerten Zwischenlagerung eine Reihe weiterer Maßnahmen erforderlich macht, die unter Umständen auf dem zeitkritischen Pfad liegen.

Nach intensiver Beratung hat die ESK daher entschieden, einen Zeitstrahl zu entwickeln, der von den gesetzlichen Vorgaben für die Realisierung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle ausgeht und sowohl die für die Zwischenlagerung als auch für die Endlagerung relevanten Aspekte enthält, um so die zeitlichen Abhängigkeiten deutlich zu machen. Dabei hat sich die ESK nicht mit der Frage beschäftigt, ob der gesetzlich angestrebte Zeitplan realistisch ist, sondern lediglich aufgezeigt, welche Maßnahmen bis wann realisiert bzw. welche Entscheidungen bis wann getroffen werden müssen, um diesen Zeitplan einhalten zu können. Der Fokus lag dabei auf den technischen Aspekten. Es hat sich in der Vergangenheit jedoch gezeigt, dass eine angemessene Öffentlichkeitsbeteiligung essenziell für den Erfolg eines solch komplexen Projekts ist. Daher müssen Information und Diskussion mit der Öffentlichkeit umfassend und rechtzeitig aufgegriffen und zeitlich eingeplant werden. Das gilt auch für Verzögerungen durch mögliche Klageverfahren.

¹ Der Begriff „hochradioaktive Abfälle“ umfasst in diesem Papier die bestrahlten Brennelemente und die verglasten Abfälle aus der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente.

2 Zeitliche Aspekte der verlängerten Zwischenlagerung und der Endlagerung sowie endzulagernde Mengen

Ausgangspunkt für die Entwicklung des Zeitstrahls (siehe Anhang) sind die Vorgaben des StandAG [1] und des Nationalen Entsorgungsprogramms [2]. Danach wird die Entscheidung über den Standort für das Endlager für hochradioaktive Abfälle im Jahr 2031 angestrebt. Die Inbetriebnahme des Endlagers ist für 2050 angestrebt. Für den Betrieb des Endlagers wird ein Zeitraum von 30 Jahren angenommen.

Da zum heutigen Zeitpunkt zweifelhaft ist, ob bzw. in welchem Umfang die hochradioaktiven Abfälle ohne vorherige Konditionierung endgelagert werden können, wird im Rahmen dieser Betrachtungen eine vollständige Konditionierung aller endzulagernden Abfälle unterstellt. Somit muss eine Konditionierungsanlage unter Berücksichtigung einer kalten Inbetriebnahme und eines Probetriebs ca. zwei Jahre vor Einlagerungsbeginn (d. h. 2048) einsatzbereit sein, um rechtzeitig genügend Endlagergebäude verfügbar zu haben. Für die Errichtung der Pilotkonditionierungsanlage Gorleben (PKA) wurden rund zehn Jahre benötigt (1990 - 1999). Das vorlaufende Genehmigungsverfahren erstreckte sich über rund fünf Jahre (1986 - 1990). Daher ist für die Genehmigung und Errichtung der Konditionierungsanlage mit einem Zeitbedarf von mindestens zehn bis 15 Jahren zu rechnen.

Vor Aufnahme des Konditionierungsbetriebs ist die Inbetriebnahme eines Eingangslagers erforderlich, das die Behälter aus den verschiedenen Zwischenlagern nach und nach aufnimmt und ggf. eine bedarfsgerechte Zusammenstellung der Inhalte für die endlagergerechte Konditionierung ermöglicht, um u. a. eine Optimierung des Wärmeeintrags und der Kritikalitätssicherheit im Endlager zu gewährleisten. Ferner ist ein Ausgangslager für die Endlagergebäude erforderlich. Die Inbetriebnahme des Eingangslagers wird für 2045 angenommen, sodass zu Beginn des Konditionierungsbetriebs eine ausreichende Anzahl von Brennelementen und/oder Glaskokillen verfügbar ist. Für die Genehmigung und Errichtung der Zwischenlager an den Kernkraftwerksstandorten wurden jeweils rund drei Jahre benötigt. Für das neue Zwischenlager am Standort Greifswald (ESTRAL) wurde im Mai 2019 ein Genehmigungsantrag gestellt. Dieses Verfahren ist zurzeit noch nicht abgeschlossen, ebenso wie das im November 2015 gestartete neue Genehmigungsverfahren für das Standortzwischenlager Brunsbüttel. Letzteres wurde erforderlich, nachdem die bereits erteilte Aufbewahrungsgenehmigung aufgrund eines Urteils des Bundesverwaltungsgerichts im Januar 2015 unwirksam geworden war. Aufgrund aktueller Erfahrungen wird im Rahmen dieser Betrachtungen von einer Zeitdauer von ca. acht Jahren für eine erneute Genehmigung an den bestehenden Zwischenlagerstandorten ausgegangen.

Da das Design des Eingangslagers abhängig von der Konzeption der Konditionierungsanlage und des Ausgangslagers ist, sollten die Planung, Genehmigung und Errichtung dieser Anlagen sinnvollerweise parallel erfolgen.

Wesentlicher Meilenstein bei der Zwischenlagerung ist das Auslaufen der aktuellen Aufbewahrungsgenehmigungen gemäß § 6 Atomgesetz (AtG) [5] in den existierenden 16 Zwischenlagern² zwischen 2034 (Brennelemente-Zwischenlager Gorleben, BZG) und 2047 (KBR, KRB, KKP, KKU). Entsprechend ist rechtzeitig mit der Beantragung der „Verlängerungsgenehmigungen“ zu beginnen, wobei es sich formal und

² Die Aufbewahrungsgenehmigung für das Standortzwischenlager in Brunsbüttel ist aufgrund eines Gerichtsurteils aus dem Jahr 2015 derzeit unwirksam und das AVR-Lager in Jülich, dessen Genehmigung bereits 2013 ausgelaufen ist, wird zurzeit auf Basis einer Anordnung nach § 19 AtG der zuständigen atomrechtlichen Aufsichtsbehörde betrieben.

inhaltlich um Neugenehmigungen handelt. Sechs bis acht Jahre vor dem Auslaufen der aktuellen Genehmigungen ist den Aufsichtsbehörden der weitere Verbleib der eingelagerten Behälter und Inventare nachzuweisen.

Das zugrunde gelegte Mengengerüst basiert auf dem Verzeichnis radioaktiver Abfälle [6] unter Berücksichtigung der aktuellen Vereinbarungen der deutschen Energieversorgungsunternehmen mit dem französischen Wiederaufarbeitungsunternehmen ORANO GmbH über den Tausch von 152 CSD-C-Behältern und fünf CSD-B-Behältern gegen vier CSD-V-Behälter. Danach sind in Deutschland 137 Behälter mit verglastem hochradioaktiven Abfall, rund 1.100 Brennelementbehälter mit LWR-Brennelementen (ca. 10.100 Mg SM) und 479 Behälter mit Brennelementen aus Forschungsreaktoren (ca. 15 Mg SM) von den jeweiligen Zwischenlagern zum Eingangslager des Endlagers und von dort zur Konditionierungsanlage zu transportieren. Anschließend ist deren Inhalt zu konditionieren und endzulagern. Ausgehend von einer 30-jährigen Betriebszeit des Endlagers wird unterstellt, dass sich die Transporte und die Konditionierung der o. g. Mengen ebenfalls gleichmäßig über einen Zeitraum von 30 Jahren erstrecken. Somit ergibt sich die im Zeitstrahl (siehe Anhang) genannte Transportfrequenz von den Zwischenlagern zum Eingangslager von ca. 60 Behältern pro Jahr (zum Vergleich: Bei der Rückführung der Wiederaufarbeitungsabfälle nach Deutschland erfolgte i. d. R. ein Transport pro Jahr mit bis zu 12 Behältern). Für die Konditionierung bedeutet dies einen mittleren Durchsatz von 340 Mg SM/a sowie ca. 130 Glaskokillen/a.

Da zum jetzigen Zeitpunkt das Wirtsgestein des Endlagers und damit auch das Konditionierungskonzept noch nicht feststehen, mussten Annahmen hinsichtlich der Größe der Endlagergebäude getroffen werden. Dabei wurde auf Konzepte zurückgegriffen, die für eine Endlagerung in Salz entwickelt wurden (Endlagerbehälter mit 5,4 Mg SM und Brennstabkockillen mit 1,7 Mg SM), die hinsichtlich des Schwermetallinventars größenordnungsmäßig auch derzeitigen Konzepten in der Schweiz für Tonstein und in Schweden/Finnland für kristallines Wirtsgestein entsprechen. Unter Berücksichtigung des o. g. Mengengerüsts ergeben sich somit abhängig von der Größe der Endlagerverpackung 1.870 bis 5.940 Endlagergebäude mit bestrahlten Brennelementen sowie rund 3.900 Glaskokillen, die über einen Zeitraum von 30 Jahren in das Endlager eingebracht werden müssen. Dies entspricht einem mittleren Jahresdurchsatz von ca. 60 bis 200 Endlagergebäuden mit Brennelementen und ca. 130 Glaskokillen. In Studien wurde auch eine direkte Endlagerung der Zwischenlagerbehälter (vor allem CASTOR[®]-Behälter) diskutiert [7]. Wegen der großen Unsicherheiten bezüglich einer Realisierung wird dieses Konzept im Rahmen dieses Papiers nicht weiter betrachtet.

Sofern sich die Entscheidung für den Endlagerstandort verzögert, hat dies keinen Einfluss auf das zu berücksichtigende Mengengerüst und den zeitlichen Handlungsbedarf für die Verlängerung der Zwischenlagerebene. Die erforderliche Zwischenlagerdauer bis zur vollständigen Entleerung der Zwischenlager ins Endlager verlängert sich aber abhängig vom betrachteten Szenario um 15 bis rund 40 Jahre. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen werden in Kapitel 3 behandelt. Mit der Verzögerung bei der Standortentscheidung verzögert sich auch die Errichtung und Inbetriebnahme des Endlagers. Dadurch steht mehr Zeit für die Planung, Genehmigung und Errichtung der Konditionierungsanlage sowie des Ein- und Ausgangslagers zur Verfügung.

3 Zwischenlagerung

Grundsätzlich ist die Aufbewahrungsgenehmigung nach § 6 AtG [5] in den Zwischenlagern auf 40 Jahre ab dem Zeitpunkt der Einlagerung des ersten Behälters in das jeweilige Zwischenlager befristet [8]. Zwischen

2034 und 2042 laufen die Aufbewahrungsgenehmigungen von vier Zwischenlagern (BZG, Brennelemente-Zwischenlager Ahaus (BZA) und Lingen (BZL), Zwischenlager Nord (ZLN)) aus. Dabei erlischt die Aufbewahrungsgenehmigung für das ZLN 2039. Das dort eingelagerte Inventar soll aber bereits vorher in das geplante neue Zwischenlager ESTRAL verbracht werden, für das das Genehmigungsverfahren nach § 6 AtG mit einer beantragten behälterspezifischen Aufbewahrungsdauer von 2036 bis 2051 zurzeit noch läuft. Im Jahr 2046 laufen die Aufbewahrungsgenehmigungen von sieben (inkl. der für das Standortzwischenlager in Brunsbüttel, sofern diese wie beantragt erteilt wird) und 2047 von vier Standortzwischenlagern quasi zeitgleich aus. Zusätzlich ist das AVR-Lager in Jülich zu berücksichtigen, dessen Genehmigung bereits 2013 ausgelaufen ist und das zurzeit auf Basis einer Anordnung der zuständigen atomrechtlichen Aufsichtsbehörde nach § 19 AtG betrieben wird. Ob an diesem Standort ein neues Zwischenlager errichtet werden soll oder ob die dort gelagerten AVR-Brennelemente ins BZA verbracht werden sollen, ist von der JEN Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH (JEN) derzeit noch nicht abschließend entschieden worden.

Wenn das jeweilige Standortzwischenlager über die bisherige Genehmigungsdauer hinaus weiterbetrieben werden soll, ist eine komplette Neugenehmigung (häufig als „Genehmigungsverlängerung“ tituliert) erforderlich. Dies darf gemäß § 6 AtG [5] nur aus unabweisbaren Gründen und nach vorheriger Befassung des Deutschen Bundestags erfolgen. Die neuen Aufbewahrungsgenehmigungen nach § 6 AtG müssen zum Zeitpunkt des Auslaufens der aktuellen Genehmigungen vorliegen, um einen ungenehmigten Zustand zu vermeiden. Somit müssen zwischen 2034 und 2042 bis zu vier (inkl. ESTRAL), im Jahr 2046 sieben und im Jahr 2047 vier neue Aufbewahrungsgenehmigungen nach § 6 AtG erteilt sein. Das bedeutet, dass zeitweise bis zu elf Genehmigungsverfahren parallel geführt werden müssen. Dies setzt eine sehr effiziente Prozesssteuerung voraus und ist aus Sicht der ESK nur auf Basis standardisierter Antragsunterlagen und einer zwischen allen Verfahrensbeteiligten abgestimmten Nachweisstrategie realisierbar. Dies gilt umso mehr, als für die über die bisher genehmigte Zwischenlagerdauer von 40 Jahren hinausgehende Zwischenlagerung zusätzliche Nachweise insbesondere zum Langzeitverhalten der Behälter und Inventare erforderlich sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für die erforderlichen Nachweise im Wesentlichen nur die bereits vorhandenen Inventardaten zur Verfügung stehen. Darüber hinaus können weitere Informationen (insbesondere zum Alterungsverhalten) in begrenztem Umfang aus internationalen Forschungsprogrammen und aus bereits von der BGZ angestoßenen Forschungsprojekten [9] gewonnen werden. Zur Beantwortung der mit einer verlängerten Zwischenlagerung verbundenen Fragen stellt das Forschungsprogramm der BGZ [9] im Zusammenhang mit laufenden internationalen Kooperationen aus Sicht der ESK eine sehr gute Basis dar.

Ein Öffnen bereits abgefertigter TLB erscheint nach heutigem Erkenntnisstand nicht erforderlich und wäre nach der Abschaltung der letzten Kernkraftwerke in Deutschland auch erst wieder möglich, sobald hierfür eine geeignete Anlage verfügbar ist.

Sofern noch Wissenslücken hinsichtlich des Inventars und seiner Eigenschaften für die zu führenden Genehmigungsverfahren bestehen, die durch Nachbestrahlungsuntersuchungen geschlossen werden können, stehen hierfür in Deutschland nur die bis 2027 noch nicht in Behälter geladenen Brennelemente zu Verfügung. Insofern müssten die Entscheidungen für derartige Untersuchungen zügig getroffen werden.

Aufgrund vorliegender Erfahrungen sollte aus Sicht der ESK möglichst früh mit den Genehmigungsverfahren begonnen werden. Es sollte ca. acht Jahre vor Auslaufen der bestehenden Genehmigungen der Antrag gestellt werden. Zuvor ist mit den Akteuren BMUV, BASE/Genehmigungsbehörde und Lagerbetreiber/Antragsteller zu klären, für welchen Zeitraum die neue Aufbewahrungsgenehmigung beantragt werden soll, wie die

sicherheitstechnischen Nachweise für die verlängerte Zwischenlagerung unter Berücksichtigung von Alterungsaspekten, Inventarverhalten etc. geführt werden können und wie die Transportfähigkeit der Behälter am Ende der Zwischenlagerung gewährleistet werden kann. Bei der Aufbewahrungsdauer empfiehlt es sich aus Sicht der ESK, ausreichende Flexibilität einzuplanen, um Unwägbarkeiten bezüglich des Zeitpunkts der Inbetriebnahme und der Betriebsdauer des Endlagers Rechnung tragen zu können.

Abhängig von der jeweiligen Genehmigung muss der Genehmigungsinhaber bereits sechs (BZA, BZG) bis acht (Standortzwischenlager) Jahre vor dem Auslaufen der Aufbewahrungsgenehmigung den Verbleib der eingelagerten Behälter nachweisen. Dies ist erstmals 2028 für das BZG der Fall.

Zusätzlich zu der auf das Lager bezogenen Befristung der Aufbewahrungsgenehmigung gibt es in den bestehenden Genehmigungen nach § 6 AtG eine 40-jährige Befristung bezogen auf den einzelnen Behälter ab dessen Erstbeladung (Verschluss des Primärdeckels). Diese greift erstmals 2032 für CASTOR[®]-THTR/AVR im BZA und AVR-Behälterlager Jülich [8], 2036 für Behälter aus dem ZLN und zwischen 2041 und 2043 für eine Reihe von Behältern, die sich an den Standorten Krümmel, Biblis, Neckarwestheim und Philippsburg zunächst in Interimslagern (teilweise bis zu sechs Jahren) befanden. Es ist rechtzeitig zu klären, wie mit dieser Situation genehmigungsrechtlich umzugehen ist.

Bei einer Verzögerung der Entscheidung über den Standort des Endlagers bis 2046 bzw. 2068, einer unterstellten Errichtungsdauer von ca. 20 Jahren und einer Betriebsdauer von 30 Jahren, müssen die ab 2034 auslaufenden Zwischenlagereignisse teilweise um etwa 80 Jahre verlängert werden. Theoretisch sind somit Zwischenlagerzeiten von bis zu 120 Jahren erforderlich, eventuell sogar darüber hinaus, falls es auch bei der Errichtung und dem Betrieb des Endlagers Verzögerungen gegenüber den derzeitigen Annahmen geben sollte. Dies bedeutet, dass sich die ursprünglich geplante Zwischenlagerdauer verdreifachen kann, was zu einer Zunahme von Unsicherheiten bzgl. Komponenten- und Inventarverhalten führt. Selbst wenn derzeit keine Cliff-Edge-Effekte bei der trockenen Zwischenlagerung in Behältern erkennbar sind, so stellt dies doch erhebliche Anforderungen an das Alterungsmanagement für die Behälter und das Lagergebäude sowie an die Abtransportierbarkeit der Behälter nach so langer Zwischenlagerung dar.

Alternativ zu einer Verlängerung der Aufbewahrungsgenehmigung bei den derzeitigen Standortzwischenlagern könnte die Errichtung eines Zentrallagers oder weniger Regionallager in Erwägung gezogen werden. Nachteilig ist bei einer solchen Lösung, dass sich die Gesamtanzahl der Transporte vergrößert, sofern sich das Zentrallager nicht zufällig am Endlagerstandort befindet.

4 Endlagerung

Hinsichtlich der Endlagerung ergeben sich folgende zeitkritische Aspekte:

- Es muss frühzeitig klar sein, zu welchen Aspekten und Fragestellungen Informationsbedarf besteht, z. B. hinsichtlich des Inventars.
- Die obertägigen und untertägigen Erkundungen erfordern aufgrund des engen Zeitrahmens eine straffe Koordinierung der Abläufe im Hinblick auf Planung, Genehmigung und Durchführung der einzelnen Untersuchungsschritte. Der Erkundungsprozess ist zeitkritisch im Hinblick auf die Entscheidungen des Bundestags und den Fortgang des gesamten Projekts.

- Bis zum Zeitpunkt der Standortentscheidung müssen sukzessiv zunehmend detailliertere Sicherheitsuntersuchungen für die verschiedenen Wirtsgesteine durchgeführt werden; parallel dazu müssen die Anforderungen an die Konditionierung und an die Behälter definiert werden. Die umfassenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen muss aufzeigen, dass der Standort für die Endlagerung geeignet ist (im Hinblick auf Geologie, ausreichende Mächtigkeiten, Abwesenheit von Störungen usw.). Weiterhin muss zu diesem Zeitpunkt ein Endlagerkonzept vorliegen, das die generische Architektur des Endlagers beschreibt, u. a.:
 - Fragen zur Logistik: Einbringen des Endlagerguts über Schacht oder Rampen? Wie/wann soll das Auffahren der Strecken erfolgen?
 - Fragen bzgl. Umgang mit der Rückholbarkeit und der Möglichkeit einer Bergung, Monitoring.
- Aus Sicht der ESK sollte die Erstellung eines „Pflichtenhefts“ bzw. Genehmigungsregelwerks, das die Anforderungen an den Bau, den Betrieb und die Beendigung des Betriebs des Endlagers konkretisiert, möglichst frühzeitig erfolgen, damit der Antragsteller die entsprechenden Unterlagen für die weiteren Verfahrensschritte vorlegen kann. Nur so kann sichergestellt werden, dass das Endlager in der vorgesehenen Zeit genehmigt und errichtet und somit eine weitere Verlängerung der Zwischenlagerung vermieden werden kann.
- Der Betrieb des Endlagers, einschließlich der Auffahrung der Strecken, sollte so konzipiert sein, dass die Einlagerung von Endlagergebinden nicht zum geschwindigkeitsbestimmenden Schritt wird, also nicht zu einer Verzögerung der Einlagerung führt.

Sofern sich die Entscheidung für den Endlagerstandort verzögert, bleibt entsprechend mehr Zeit zur Umsetzung der oben genannten Aspekte. Allerdings sollte das nicht dazu führen, dass diese Arbeiten ebenfalls verzögert oder zurückgestellt werden, da es sich hierbei um sehr komplexe Thematiken handelt, für die ausreichend Zeit eingeplant werden muss. Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese Verzögerungen zu einer weiteren Verlängerung der Zwischenlagerung führen würden.

5 Eingangs-/Ausgangslager am Endlager

Für den Betrieb des Endlagers wird ein Eingangslager für die aus der Zwischenlagerung anzuliefernden Behälter benötigt, das sich idealerweise am Endlagerstandort befindet. Dieses Eingangslager ist so zu dimensionieren, dass zumindest so viele Behälter aus den Zwischenlagern gleichzeitig aufgenommen werden können, wie für eine unterbrechungsfreie und auf die Anforderungen des Endlagers (Wärmelast, Aktivität, sonstige endlagerrelevante Eigenschaften der Brennelemente und Glaskokillen) optimierte Konditionierung der Inventare bzw. die Einlagerung der Behälter erforderlich ist. Eine weitere denkbare Variante ist die Errichtung eines größer dimensionierten Eingangslagers, das ab 2046 oder früher alle in den existierenden Zwischenlagern befindlichen Behälter aufnehmen kann. In diesem Fall könnte die neu zu beantragende Aufbewahrungsdauer für die existierenden Zwischenlager, deren bisherige Aufbewahrungsdauer 2034 bis 2047 ausläuft, deutlich reduziert werden. Bei einer deutlichen Verzögerung der Standortauswahl gegenüber den Annahmen des Nationalen Entsorgungsprogramms [2] würde diese Option entfallen und könnte dann nur im Rahmen der Errichtung eines neuen zentralen Zwischenlagers an einem dann zu definierenden Standort realisiert werden.

Zusätzlich wird ein Ausgangslager benötigt, das die endlagergerecht konditionierten Gebinde aufnimmt, bevor diese ins Endlager verbracht werden, und das als Pufferlager für einen von der Konditionierung unabhängigen Einlagerungsbetrieb dient. Entsprechend muss auch hier die Dimensionierung ausreichend gewählt werden, auch um ggf. auftretende Verzögerungen im Einlagerungsbetrieb auffangen zu können. Abhängig vom Schutzniveau der Endlagerbehälter im Vergleich zu dem der TLB ist die Auslegung des Ausgangslagers gegenüber der des Eingangslagers ggf. anzupassen. In diesem Zusammenhang ist es sinnvoll, das Ausgangslager im Kontext mit der Konditionierungsanlage zu planen.

Der erforderliche Verfügbarkeitszeitpunkt für das Eingangslager wurde unter Berücksichtigung der geplanten Inbetriebnahme des Endlagers (2050), der vorlaufend erforderlichen Konditionierung von Endlagergebinden (ab 2048) und der Beschickung mit Behältern aus den Zwischenlagern dementsprechend für 2045 abgeschätzt. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Erfahrungen bezüglich der erforderlichen Planungen, Genehmigungsverfahren und Errichtungszeit sollte das Gesamtprojekt (inkl. Konditionierungsanlage) spätestens (d. h. mit vollständigen Genehmigungsunterlagen; vgl. Zeitstrahl im Anhang) 2035 gestartet werden. Aufgrund der Unwägbarkeiten bezüglich des Zeitpunkts der Inbetriebnahme des Endlagers und dessen tatsächlichen Betriebsdauer sollte die beantragte Aufbewahrungsdauer ausreichend lange gewählt werden.

Zusätzlich sind aus Sicht der ESK folgende Aspekte bei der Planung des Eingangs-/Ausgangslagers zu berücksichtigen:

- Lagerkapazitäten und Handhabungsmöglichkeiten für Transferbehälter/Zusatzabschirmung,
- Lagerkapazitäten für entleerte Zwischenlagerbehälter und ein Entsorgungskonzept für diese und
- für den Fall einer Rückholung der Endlagerbehälter während der Betriebszeit des Endlagers sind darüber hinaus weitere Stellflächen sowie entsprechende Vorrichtungen einzuplanen.

Die vorgenannten Punkte setzen voraus, dass vor den Planungen für das Eingangs- und Ausgangslager die Planungen hinsichtlich des verfolgten Endlagerkonzepts, der verwendeten Endlagerbehälter und der ggf. notwendigen Konditionierungsschritte rechtzeitig (vor 2035) abgeschlossen sind. Hierfür ist ein rechtzeitiger und regelmäßiger Austausch zwischen allen Beteiligten notwendig.

Für den Betrieb von Zwischenlagern für hochradioaktive Abfälle in Behältern liegen bereits langjährige Erfahrungen vor. Die dabei gemachten Erfahrungen sowie zukünftige Erkenntnisgewinne sollten von allen Beteiligten (Betreiber, Behörden) bei der Planung, der Errichtung und dem Betrieb des Eingangs-/Ausgangslagers im Rahmen eines Wissenstransfers verfügbar gemacht und genutzt werden.

Auch für die Antragsphase kann von den bis dahin gemachten Erfahrungen bei der Verlängerung der Genehmigungen der Standortzwischenlager Kredit genommen werden. Bis zur Inbetriebnahme der Konditionierungsanlage ist ein Öffnen der Behälter praktisch nicht mehr möglich, sodass die Nachweisführung – wie bei den in Kürze anstehenden Neugenehmigungen für eine verlängerte Zwischenlagerung auch – mit den bis dahin erhobenen und verfügbaren Daten erfolgen muss.

Sowohl das Eingangs- als auch das Ausgangslager steht in engem Zusammenhang mit der ebenfalls zu errichtenden Konditionierungsanlage. Mit einer Verzögerung bei der Standortauswahl bleibt mehr Zeit für die Planung und Errichtung dieser Einrichtungen. Aus Sicht der ESK sollte trotzdem so früh wie möglich mit den erforderlichen Arbeiten begonnen werden.

6 Konditionierung

Sofern eine Konditionierung der hochradioaktiven Abfälle erforderlich ist, ist diese die Schnittstelle zwischen der Zwischenlagerung (ggf. im Eingangslager) und der Endlagerung. Daher müssen für die Auslegung der Konditionierungsanlage alle zum Inventar und Inventarverhalten verfügbaren Informationen und sicherheitstechnisch relevanten Anforderungen an die einzulagernden Endlagergebinde vorliegen.

Die Konditionierungsanlage befindet sich idealerweise am Endlagerstandort, um u. a. zusätzliche Transporte zu vermeiden. Sie muss so ausgelegt sein, dass alle Behältertypen, aber auch Inventare jeden Zustands sicher bearbeitet werden können. Derzeit wird zum Inventarverhalten über lange Zwischenlagerzeiträume national und international intensiv geforscht. Die daraus resultierenden Erkenntnisse u. a. zur Alterung des Inventars sind zu berücksichtigen.

In der Konditionierungsanlage werden die TLB geöffnet und das Inventar ggf. nach einer weiteren Behandlung in geeignete Endlagerbehälter umgeladen. Für diesen Zeitraum muss die Konditionierungsanlage alle sicherheitstechnisch relevanten Funktionen übernehmen. Die Auslegung der Konditionierungsanlage muss eine optimierte Beladung der Endlagerbehälter ermöglichen (z. B. Wärmeleistung). Dies erfolgt durch die Möglichkeit, aus mehreren TLB eine gezielte Beladung mehrerer Endlagerbehälter durchzuführen.

Sollte eine direkte Endlagerung von TLB ohne weitere Behandlungsschritte wie das Verfüllen des TLB möglich sein, ist eine Konditionierungsanlage für die Umverpackung nicht erforderlich. Dies dürfte allerdings nur für eine Teilmenge der Fall sein. Der Bedarf für eine Konditionierungsanlage besteht aber in jedem Fall für Inspektionen oder für Reparaturmaßnahmen an Behältern.

Der Konditionierungsbetrieb muss einige Jahre vor dem Einlagerungsbetrieb beginnen, damit rechtzeitig eine genügend große Anzahl endlagerfähiger Gebinde vorliegt. Unter Berücksichtigung der in Kapitel 2 vorgestellten Zeitvorgaben (Inbetriebnahme des Endlagers 2050) muss aus Sicht der ESK der Konditionierungsbetrieb 2048 aufgenommen werden (vgl. Zeitstrahl, Anhang). Demnach müssen für das Genehmigungsverfahren die vollständigen Antragsunterlagen spätestens 2035 vorliegen. Bei einem unterstellten Einlagerungsbetrieb des Endlagers von 30 Jahren muss die Konditionierungsanlage einen Durchsatz von etwa 340 Mg SM/a plus ca. 130 Glaskokillen/a erreichen.

Sofern die Konditionierung am Endlagerstandort stattfinden soll, verschiebt sich der Zeitplan abhängig vom Zeitpunkt der Standortfestlegung.

Ein zeitlicher Verzug bei der Errichtung und Inbetriebnahme der Konditionierungsanlage führt zunächst zu einer längeren Zwischenlagerdauer und insgesamt zu einem späteren Abschluss der Endlagerung. Darüber hinaus ergeben sich Auswirkungen auf die Dauer des Entsorgungsprozesses immer dann, wenn Verzögerungen

bei der Konditionierung, z. B. durch Betriebsstörungen oder unerwartete Inventarbefunde, auftreten und der anvisierte Durchsatz nicht erreicht werden kann.

Die Auslegung der Konditionierungsanlage ist abhängig vom Endlagerkonzept und kann nicht davon entkoppelt geplant werden. Für die Auslegung der Anlage ist auch zu berücksichtigen, dass mit zunehmender Lagerdauer Annahmen zum Zustand des Inventars unsicherer werden, denen bei der Auslegung Rechnung getragen werden muss. Zusätzliche, bei der Konditionierung gewonnene Daten und Erkenntnisse sind für weitere Prozessschritte zu erfassen und zu dokumentieren.

7 Entwicklung/Fertigung von Endlagerbehältern

Der Endlagerbehälter ist integraler Bestandteil des Entsorgungskonzepts. Dabei kommt ihm abhängig vom Wirtsgestein eine unterschiedliche Bedeutung zu (siehe [4] und [10]). Sofern ein Standort im Kristallin in Betracht gezogen wird, muss zum Beispiel ein Behälter entwickelt werden, der den sicheren Einschluss des Inventars für eine Million Jahre gewährleistet. Daher sind bereits bei der vorläufigen Sicherheitsanalyse im Rahmen der Standortauswahl für jedes Wirtsgestein geeignete Behälter zu entwickeln. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass im Hinblick auf die unterschiedlichen hochradioaktiven Abfälle (z. B. Brennelementtypen, siehe Kapitel 2) ggf. unterschiedliche Endlagerbehälter entwickelt werden müssen. Die Endlagerbehälter müssen auch alle beschädigten Brennstäbe aufnehmen können. Dabei können Umfang und Art der Beschädigungen erst bei der Konditionierung vollständig erfasst werden. Ggf. ist für Transport- und Handhabungsvorgänge zusätzlich ein Transferbehälter erforderlich, der ebenfalls zu entwickeln ist. Für beides ist ausreichend Zeit vorzusehen.

Es muss rechtzeitig geklärt werden, wie die Zulassung der Endlagerbehälter erfolgen soll. Sofern eine Zulassung als Typ B(U)-Versandstück wie bei TLB zur Anwendung kommen sollte, ist von einem Zeitraum von mindestens zehn Jahren auszugehen.

Ab etwa 2046 muss die Fertigung der Endlagerbehälter beginnen, wenn die Konditionierung ab 2048 und die Einlagerung ab 2050 erfolgen soll. Je nach Endlagerbehältertyp werden mit Beginn des Konditionierungsbetriebs (2048) jährlich 60 - 200 Endlagerbehälter plus Endlager- bzw. Transferbehälter für 130 Glaskokillen benötigt. Dafür muss ausreichend Fertigungskapazität verfügbar und qualifiziert sein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die heute dafür verfügbaren Kapazitäten (zurzeit ca. 60 Großbehälter pro Jahr) nach dem Abschalten der Kernkraftwerke ggf. nicht mehr zur Verfügung stehen.

Bei einer späteren Standortauswahl bleibt grundsätzlich mehr Zeit für die Entwicklung und Zulassung der Endlagerbehälter. Angesichts der Komplexität dieser Thematik sollte daher trotzdem so früh wie möglich damit begonnen werden. Auch der Start der Behälterfertigung wird erst zu einem späteren Zeitpunkt erforderlich werden. Allerdings erhöht sich damit auch das Risiko, dass qualifizierte Fertigungskapazitäten erst wieder aufgebaut werden müssen.

8 Transporte und Transportfähigkeit und generelle Logistik

Spätestens nach der (verlängerten) Zwischenlagerung sind zur Vorbereitung der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle eine Vielzahl inner- und außerbetrieblicher Transportvorgänge erforderlich, deren Anzahl und Distanz vom konkreten Verfahrensablauf abhängt.

Unter der Annahme, dass sich das Eingangslager, die Konditionierungsanlage und das Ausgangslager am Endlagerstandort befinden, sind die folgenden Transportvorgänge erforderlich:

Transporte auf öffentlichen Verkehrswegen (Schiene, Straße, Wasser):

- I. TLB von den einzelnen Zwischenlagern zum Eingangslager (ca. 60 Behälter/a; siehe Zeitstrahl im Anhang),
- II. Rücktransport des behälterspezifischen Equipments für weitere Transporte.

Innerbetriebliche Transporte

- i. TLB vom Eingangslager zur Konditionierung,
- ii. entladene TLB zur Dekontamination/Bereitstellung zur Entsorgung,
- iii. beladene Endlagerbehälter zum Ausgangslager (200 - 400 Endlagergebinde/a abhängig vom Verpackungskonzept),
- iv. beladene Endlagerbehälter vom Ausgangslager zum Einlagerungsort.

Transportfähigkeit auf öffentlichen Verkehrswegen (Schiene, Straße, Wasser):

Die hier betrachteten TLB müssen aufgrund ihrer Inhalte grundsätzlich als störfallsichere Versandstücke ausgelegt und von der zuständigen Behörde (BASE) entsprechend zertifiziert sein (Bauartzulassung). Ihre Transportkonfiguration besteht aus den eigentlichen Behältern und Stoßdämpfern, die für den Transport mit dem Behälter verbunden werden. Oft werden weitere Transporthilfsmittel wie Rahmen oder Gehänge benötigt. Die Transporte erfolgen mittels spezieller Schwerlastwaggons (Schiene) oder Schwerlastaufliegern (Straße). Für den Transport ist eine Genehmigung nach § 4 AtG erforderlich, die vom BASE erteilt wird.

Die aktuelle Praxis der zuständigen Behörden sieht in der Regel eine Gültigkeit von drei Jahren für die Zertifikate für zulassungspflichtige Versandstücke (Bauartzulassung) vor. Sofern die Behälter nicht mehr gefertigt, nicht neu beladen und auf absehbare Zeit nicht transportiert werden, ist eine Gültigkeit von zehn oder mehr Jahren möglich.

Die entsprechenden Anforderungen an die Bauartzulassung werden von der International Atomic Energy Agency (IAEA) in einem ca. zweijährigen Zyklus überprüft. Typischerweise kommt es alle ca. sechs bis zehn Jahre zu einer überarbeiteten Neuausgabe des Regelwerks.

Somit ändern sich die Anforderungen an Inhalt und Umfang der Auslegungs- und zum Teil auch der Fertigungsdokumentation. Bereits existierende Unterlagen zu beladenen Behältern unterliegen somit einer

„regulatorischen“ Alterung, ohne dass dies Einfluss auf die sicherheitstechnischen Eigenschaften dieser Behälter hat.

Auch die Bewertungsmaßstäbe und Nachweiskonzepte unterliegen einer „Alterung“ aufgrund der Weiterentwicklung des Stands von Wissenschaft und Technik, welcher von den Zulassungsbehörden bei der Erneuerung von Bauartzulassungen in der Regel eingefordert wird. Dies kann dazu führen, dass die Verlängerung einer Bauartzulassung nach längerer Zwischenlagerung – ohne dass sich das bisherige Sicherheitsniveau geändert hat – nur mit zusätzlichen Maßnahmen oder gar nicht mehr möglich ist.

Das beschriebene Zulassungsregime implementiert grundsätzlich eine zeitliche Befristung, weil von einer laufenden Verwendung der Versandstücke und den realen Belastungen durch die Beförderungsvorgänge ausgegangen wird. Dies ist bei der kontrollierten Zwischenlagerung der erst- und einmalig beladenen Behälter nicht der Fall; unter den kontrollierten Zwischenlagerbedingungen sind die für den Transport sicherheitsrelevanten Eigenschaften der Versandstücke auch nach sehr langer Lagerzeit als neuwertig anzusehen, sofern sie keinen Alterungsprozessen unterliegen.

Analoges gilt auch für die Inhalte der Behälter. Während zu Beginn der Zwischenlagerung deren Eigenschaften nachweisbar zulassungskonform waren, unterliegen diese radiologischen sowie chemischen, physikalischen und mechanischen Alterungsprozessen, von denen die radiologischen derzeit am umfassendsten verstanden sind und ohne jegliche Eingriffe oder Versuche rein rechnerisch erfasst werden können.

Sofern aus heutiger Sicht zum Langzeitverhalten von bestimmten Behälterkomponenten oder für die Behälterinventare noch Wissenslücken identifiziert wurden, sind diese Basis für bereits initiierte Studien, Experimente und Forschungsprogramme. Dies gilt vor allem für LWR-Brennelemente westlicher Bauart. Für WWER-Brennelemente und Brennelemente für Forschungsreaktoren ist der verfügbare Kenntnisstand zu prüfen und ggf. durch weitere Untersuchungen zu ergänzen.

Das hierfür notwendige Untersuchungsmaterial befindet sich zum allergrößten Teil in Besitz der Entsorgungspflichtigen, für die Untersuchungen an diesen Materialien geeignete Laboratorien mit heißen Zellen überwiegend im Ausland, sodass entsprechende Forschungsprogramme langwierig, aufwendig und abwicklungstechnisch sehr herausfordernd sind.

Zum fort dauernden Nachweis, dass den zwischengelagerten Behältern eine Transportfähigkeit wie zum Zeitpunkt der Einlagerung attestiert werden kann, ist daher ein Alterungsmanagement zu implementieren, dessen Auswertung eine zusätzliche Basis für die Genehmigung der erforderlichen Transporte am Ende der Zwischenlagerphase bildet. Im Rahmen dieses Alterungsmanagements sind alle Alterungsprozesse zu erfassen und hinsichtlich ihrer möglichen Auswirkungen zu bewerten. Für potenziell sicherheitsrelevante Prozesse ist ein Überwachungsprogramm zu erstellen, das sowohl die Spezifika der einzelnen Behältertypen und Inhalte als auch mögliche äußere Einflüsse und insbesondere die maximal notwendige Dauer der Zwischenlagerung berücksichtigt. Unter diesen Voraussetzungen kann auch nach Lagerzeiten von deutlich mehr als 40 Jahren mit hinreichender Zuverlässigkeit nachgewiesen werden, dass alle für einen Transport vom Zwischenlager zum Endlagerstandort erforderlichen sicherheitsrelevanten Eigenschaften von den Behältern und deren Inhalten soweit gewährleistet bleiben, sodass diese Transporte grundsätzlich auch im Einklang mit den dann geltenden Vorschriften sicher durchgeführt werden können.

Innerbetriebliche Transportfähigkeit:

Die innerbetriebliche Transportfähigkeit ist anlagenspezifisch nachzuweisen und richtet sich nach der Auslegung der Anlage und den Transportvorgängen, wie in den jeweiligen Sicherheitsanalysen dargelegt. Die für die unterschiedlichen Transportbehälter in den Sicherheitsanalysen unterstellten Eigenschaften für den Normalbetrieb und die zu beherrschenden Störfälle sind jederzeit nachweisbar einzuhalten. Im Fall der Endlagerbehälter kommen noch die Anforderungen hinzu, die sich aus der Langzeitsicherheitsanalyse ergeben.

Nach allen bisherigen Erfahrungen lassen sich Anlagen so auslegen, dass störfallsichere Verpackungen auch ohne Stoßdämpfer für innerbetriebliche Transportvorgänge geeignet sind.

Die Endlagerbehälter und ggf. erforderliches Transportequipment, Transferbehälter etc. werden erst noch konzipiert. Die Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen aller notwendigen Handhabungen bei deren Befüllung, Abfertigung, Pufferlagerung bis hin zur Einlagerung am Endlagerort ist daher einfach möglich, sofern diese von Anfang an in die Konzeption der Transport- und Handhabungsvorgänge einbezogen werden.

Ablaufplanung, Logistik, Abhängigkeiten

Als Arbeitshypothese wird von einer jährlichen Transportfrequenz von 60 TLB ausgegangen. Weiterhin wird unterstellt, dass Eingangslager, Konditionierungsanlage, Ausgangslager für die Endlagergebinde und das Endlager selbst am Endlagerstandort angesiedelt und durch innerbetriebliche Transporte miteinander verbunden sind.

Im Ergebnis sind der Betrieb der Konditionierungsanlage und die Einlagerung der Endlagergebinde im Endlager durchsatzbestimmend. Eine Entkopplung der einzelnen Teilprozesse am Endlagerstandort ist daher praktisch zwingend. Erreicht wird dies durch:

- großzügige Dimensionierung des Eingangslagers und des Ausgangslagers in der Konditionierungsanlage,
- fehlertolerante Auslegung der Konditionierungsanlage, sowohl technisch (Redundanzen) als auch bezogen auf den Prozessablauf, z. B. durch Entkopplung sequenzieller Abläufe, Schaffung von Pufferungsmöglichkeiten etc., und
- rechtzeitige Verfügbarkeit der erforderlichen Einlagerungshohlräume im Endlager.

Die Transporte zum Eingangslager erfolgen nach derzeitigem Stand von 16 verschiedenen Standorten aus. Einige Zwischenlagerstandorte haben keine Gleisanschlüsse, sodass sowohl Schienen- als auch Straßentransporte zu planen sind. Hierbei handelt es sich immer um Schwerlasttransporte, sodass die Tragfähigkeit der Verkehrswege gewährleistet sein muss. Auch die Verfügbarkeit ausreichender Lichtraumprofile ist bei der Planung der Transportwege zu berücksichtigen. Grundsätzlich sind von einigen Standorten aus auch Transporte auf dem Wasserweg denkbar. Angesichts der Komplexität dieser Thematik sollte möglichst frühzeitig mit der Erarbeitung eines geeigneten Transport- und Logistikkonzepts begonnen

werden, zumal eine Abstimmung mit vielen Verfahrensbeteiligten (Landkreise, Sicherheitsbehörden, Transporteure, Empfänger, Absender, etc.) erforderlich sein wird.

Ferner sind folgende logistische Aspekte zu berücksichtigen:

- **Entladene TLB**
Mit einer Masse von jeweils ca. 130 Mg stellen die entladenen Behälter einen sehr wesentlichen Sekundär-Abfallstrom dar. Die Behälter benötigen Abstellraum, um anschließend dekontaminiert und möglichst vollständig recycelt zu werden.
- **Ausrüstungen**
Eine erhebliche Anzahl von Stoßdämpfersätzen, Transportgestellen, Hebezeugen etc. ist erforderlich, die zur richtigen Zeit am richtigen Ort bereitstehen müssen. Es ist nicht nur deren rechtzeitige Herstellung, sondern auch deren logistische Bewirtschaftung (einschl. wiederkehrender Prüfungen, Instandhaltung und Ersatzbeschaffung) über die gesamte Einlagerungszeit zu gewährleisten.
- **Speditionsdienste**
Bei einer Terminalsituation gemäß [2] ist von der Marktpräsenz einschlägiger Fachfirmen auszugehen, da parallel Transporte zum Endlager Konrad durchgeführt werden, sodass entsprechende Fachfirmen mit ausreichend qualifiziertem Personal vorhanden sein werden. Dies dürfte bei einer deutlichen Verzögerung der Endlagerstandortauswahl allerdings anders aussehen. In jedem Fall werden für die hier erforderlichen Schwerlasttransporte spezifische Transportmittel zusätzlich zu beschaffen sein, da diese erfahrungsgemäß nur in sehr beschränktem Umfang am Markt erhältlich sein dürften.

9 Übergeordnete Aspekte

Vom Anfall der radioaktiven Abfälle bis zur Einlagerung in ein Endlager durchläuft der radioaktive Abfall verschiedene Entsorgungsschritte (inklusive Transporte) mit unterschiedlichen Zuständigkeiten und damit auch unterschiedlichen Wissensträgern wie den Abfallerzeugern, den Zwischenlagerbetreibern (BGZ und EWN Gruppe) und dem Endlagerbetreiber (BGE). Dabei ist sicherzustellen, dass das existierende Know-how und Know-why erhalten bleiben und alle vorhandenen Daten und Informationen stets vollständig und lückenlos an den jeweils nächsten Akteur weitergegeben oder zentral zur Verfügung gestellt werden. Auch ist es wichtig, darauf zu achten, dass die Daten und Informationen lesbar bleiben und nicht verloren gehen. Dies gilt auch über den Zeitpunkt der Einlagerung der Abfälle in das Endlager hinaus.

Im Rahmen der Genehmigung des Endlagers sind Verfahren zur Dokumentation, deren Prüfung und zum Einlagerungsfreigabeverfahren zu etablieren und gründlich zu testen. Es sind auch Methoden zu implementieren, mit denen zeitnah die Effektivität der Abläufe im Produktkontrollsystem verifiziert werden kann und mögliche Probleme frühzeitig erkannt werden.

Falls zum Nachweis der Langzeitsicherheit des Endlagers noch zusätzliche Daten/Informationen erforderlich sind, sind diese kurzfristig von der BGE zu benennen bzw. zu klären, wie diese realistisch generiert werden

können. Alle Beteiligten müssen davon ausgehen, dass alle zukünftigen Nachweise nur auf Basis dieser Daten und Informationen sowie der Ergebnisse bereits initiierteter Forschungsvorhaben geführt werden können.

Bei einer deutlich späteren Standortauswahl nimmt die Herausforderung des Wissenserhalts und der Datenverfügbarkeit weiter zu, insbesondere da dies über mehrere Generationen zu erfolgen hat.

Die Auswirkungen von Alterung über lange Zwischenlagerzeiträume sind hinsichtlich der Zwischenlagerung selbst, der Abtransportierbarkeit und der sich anschließenden Entsorgungsschritte Konditionierung und Einlagerung von Bedeutung. Dazu haben die Zwischenlagerbetreiber nationale und internationale Forschungsvorhaben angestoßen bzw. sich an solchen beteiligt, die sich mit dem Inventarverhalten ausgewählter Brennelementtypen befassen. Ergebnisse werden in den nächsten Jahren erwartet. Entsprechend ist derzeit offen, ob sich hieraus Konsequenzen für die einzelnen Entsorgungsschritte und/oder die sicherheitstechnische Nachweisführung ergeben.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Verfügbarkeit von ggf. benötigten Ersatzteilen, wie etwa Druckschalter oder Dichtungen.

Die ausreichende Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal ist über den langen Zeitraum bis zum Verschluss des Endlagers im Jahre 2080 (vgl. Zeitstrahl, Anhang) bei allen Beteiligten sicherzustellen. Auf das Problem des Kompetenzerhalts hat die ESK bereits mit ihrem Memorandum zum „Kompetenzerhalt im Bereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle“ vom 21.09.2017 hingewiesen.

Bei den Behörden ist rechtzeitig für ausreichende Ressourcen an sachkundigem Personal zu sorgen. Dies gilt u. a. für das BASE, wo mit entsprechender Vorlaufzeit zwischen 2034 und 2047 zahlreiche neue Aufbewahrungsgenehmigungen nach § 6 AtG für die diversen Zwischenlager erteilt werden müssen, von denen viele parallel zu bearbeiten sind (siehe Kapitel 3). Zusätzlich müssen gemäß Zeitstrahl (siehe Anhang) zwischen 2032 und 2040 die Genehmigungen für das Endlager und dessen oberirdischen Einrichtungen (Eingangslager, Konditionierungsanlage etc.) bearbeitet werden. Bei Verzögerungen im Standortauswahlverfahren verschieben sich diese Genehmigungsverfahren, dann sind aber parallel noch die Prüfungen der einzelnen Phasen des Standortauswahlverfahrens durchzuführen. Aus Sicht der ESK sollte die parallele Bearbeitung entsprechend vorbereitet werden. So könnten die gleichartigen Genehmigungsverfahren für die standortnahen Zwischenlager ähnlich wie bei der Erstgenehmigung im Sinne der Effizienz nach einheitlichen Prozessregeln gestaltet werden.

Das Standortauswahlverfahren umfasst im Sinne eines partizipativen und transparenten Verfahrens eine umfangreiche Öffentlichkeitsbeteiligung, die sich im Sinne des § 1 StandAG [1] lernend und selbsthinterfragend weiterentwickeln kann. Bis zur Standortentscheidung werden neben den im Gesetz vorgegebenen Beteiligungsformaten (Informationsplattform, Nationales Begleitgremium, Regional-konferenzen) angepasste oder weitere Formate entstanden sein. Bereits jetzt wurden Formate ergänzt (Forum Endlagerung, Rat der jungen Generation). Für die sich anschließende Phase der Planung und Errichtung des Endlagers sowie zugehöriger Anlagen und Prozesse gibt es derzeit keine vergleichbaren Vorgaben zur Beteiligung der Öffentlichkeit. Dafür sind entsprechende Formate zu entwickeln, um so Transparenz und Austausch mit der Öffentlichkeit zu erreichen.

Für eine über 40 Jahre hinausgehende Aufbewahrung hochradioaktiver Abfälle an den derzeitigen Standortzwischenlagern sind nach § 6 Abs. 5 AtG Regelungen vorgesehen, nach denen hierfür eine Bundestagsentscheidung erforderlich ist. Da eine über 40 Jahre hinaus verlängerte Zwischenlagerung

zwangsläufig ist, sollte dies durch eine geeignete Öffentlichkeitsarbeit von BMUV, BASE und von den Betreibern der Zwischenlager vorbereitet werden.

Öffentlichkeitsbeteiligung ist ein wesentlicher Baustein für den Erfolg eines solchen Infrastrukturprojekts wie der Endlagerung, sie benötigt aber auch Zeit und ist frühzeitig einzuplanen. Entsprechender Zeitaufwand ist insbesondere bei kontrovers diskutierten Themen zu berücksichtigen. In dem hier vorgelegten Positionspapier, das sich auf die technischen Prozesse und Zusammenhänge fokussiert, werden diese Zeitbedarfe nicht explizit adressiert. Die ESK weist darauf hin, dass die Akteure Öffentlichkeitsbeteiligung als übergeordnete Aufgabe kontinuierlich in ihren Zeit- und Ressourcenplanungen berücksichtigen müssen.

10 Empfehlungen für ein nationales Regelwerk

Die Anhörung der Verfahrensbeteiligten hat ergeben, dass ein spezifisches Regelwerk für die verlängerte Zwischenlagerung als sinnvoll angesehen wird. Dieses sollte alle Anforderungen zum Nachweis der Sicherheit über den gesamten Zwischenlagerzeitraum unter Berücksichtigung der zum Zeitpunkt der Genehmigungsverlängerung gegebenen Randbedingungen enthalten, den Umgang mit Unsicherheiten regeln und die Zuständigkeiten der beteiligten Akteure klar benennen.

Aus Sicht der ESK ist zunächst die zu berücksichtigende Zwischenlagerdauer festzulegen, da diese Einfluss auf die erforderliche Nachweisführung hat. Im Hinblick auf die lange Zeitspanne bis zur geplanten Inbetriebnahme des Endlagers und die mit dem Prozess insgesamt verbundenen Unsicherheiten sollte die Zwischenlagerdauer ausreichend bemessen werden, um eine nochmalige Genehmigungsverlängerung zu vermeiden. Alternativ könnte eine an den Betriebszeitraum des Endlagers gekoppelte Aufbewahrungsgenehmigung beantragt werden, sofern über Periodische Sicherheitsüberprüfungen und Alterungsmanagement die Einhaltung aller Sicherheitsanforderungen nachgewiesen werden kann. Gemäß dem Nationalen Entsorgungsprogramm [2] soll die Zwischenlagerung bis zur Verbringung zum Endlager bzw. dem Eingangslager der Konditionierungsanlage an den derzeitigen Standorten erfolgen. Die verlängerte Zwischenlagerung an den Kraftwerksstandorten steht allerdings unter dem Vorbehalt einer Bundestagszustimmung. Daher ist rechtzeitig vor Beantragung von Genehmigungsverlängerungen für ausreichende Transparenz und Öffentlichkeitsbeteiligung zu sorgen. Sofern sich die Auswahl des Endlagerstandorts gegenüber den Annahmen des Nationalen Entsorgungsprogramms [2] deutlich weiter verzögert, könnte alternativ auch die Möglichkeit eines Zentrallagers oder einiger weniger Regionallager als Ersatz für die derzeitigen Standortzwischenlager betrachtet werden.

Im Rahmen eines Regelwerks für die verlängerte Zwischenlagerung sind alle sicherheitstechnischen Anforderungen an die Behälter, die Inventare und die Anlagen sowie Vorgaben für die Nachweisführung zusammenzuführen. Die sicherheitstechnische Nachweisführung sollte auf einer schutzzielorientierten Vorgehensweise beruhen. Dabei ist insbesondere der Umgang mit Unsicherheiten und Konservativitäten zu regeln. Dies betrifft u. a. folgende Aspekte:

- Verwendung realistischer Behälter- und Inventardaten,
- Nachweis der Handhabbarkeit der Brennelemente bei der Zwischenlagerung/Ausschluss systematischen Hüllrohrversagens,

- Festlegung auslegungsüberschreitender Störfälle und zugehöriger Eintrittswahrscheinlichkeiten,
- Zulässigkeit des Einsatzes von probabilistischen Nachweismethoden.

Darüber hinaus sind Regelungen zum Alterungsmanagement, Reparaturkonzept und zur Ersatzteilverhaltung sinnvoll und der Übergang nach dem Auslaufen des KTA-Regelwerks ist zu klären.

Nach derzeitiger Genehmigungspraxis müssen die TLB zum Zeitpunkt der Beladung über eine gültige verkehrsrechtliche Zulassung verfügen. Sofern für eingelagerte Behälter nicht eine verkehrsrechtliche Zulassung bis zum Ende der Aufbewahrungszeit inkl. des anschließenden Abtransports erteilt wird, kann aus Sicht der ESK ggf. auf eine permanente Aufrechterhaltung der verkehrsrechtlichen Zulassung für beladene Behälter während der Zwischenlagerzeit verzichtet werden. Zum Zeitpunkt des Abtransports zum Endlager bzw. zum Eingangslager für die Konditionierung und Endlagerung ist unter Verwendung der Ergebnisse des Alterungsmanagements nachzuweisen, dass der Behälter grundsätzlich das ursprüngliche Sicherheitsniveau gewährleistet. Zusätzlich ist in einem Deltabericht die Weiterentwicklung der Regelwerksanforderungen zu bewerten. Im internationalen Regelwerk wird der Abtransport nach langer Zwischenlagerzeit zurzeit noch nicht spezifisch adressiert.

Um die Realisierbarkeit der Transporte nach Abschluss der Zwischenlagerung zu gewährleisten, muss aus Sicht der ESK beim Schutz gegen Störmaßnahmen und sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD) auf eine ausgewogene Kombination von technischen, administrativen und sonstigen Maßnahmen geachtet werden.

11 Fazit

Die Aufbewahrungsgenehmigungen der existierenden Zwischenlager sind auf 40 Jahre begrenzt. Sie laufen zwischen 2034 und 2047 aus und müssen dann durch Neugenehmigungen ersetzt werden, wobei zeitweise bis zu elf Verfahren parallel geführt werden müssen. Sofern die Standortauswahl (bis 2031), die Errichtung (bis 2050) und der Betrieb (bis 2080) des Endlagers für hochradioaktive Abfälle entsprechend den Annahmen des nationalen Entsorgungsprogramms [2] erfolgt, muss die Zwischenlagerung um weitere 40 Jahre verlängert werden. Sollte sich die Standortentscheidung und damit auch die Errichtung des Endlagers – wie kürzlich von der BGE abgeschätzt – weiter verzögern, verlängert sich die erforderliche weitere Zwischenlagerdauer um bis zu 80 Jahre, wobei Verzögerungen bei der Genehmigung, Errichtung und dem Betrieb des Endlagers noch nicht berücksichtigt sind. Alternativ zur Fortsetzung der derzeitigen Zwischenlagerpraxis bis zur Endlagerung könnte z. B. die Errichtung eines Zentrallagers oder von Regionalzwischenlagern in Betracht gezogen werden.

Wichtig für die im Rahmen der Neugenehmigungen erforderlichen Sicherheitsnachweise ist das Langzeitverhalten der Behälter/-komponenten und des Inventars. Da nach dem Abschalten der Kernkraftwerke in Deutschland ein Öffnen von Behältern erst wieder nach Errichtung einer Konditionierungsanlage möglich ist, stehen hierfür nur die bereits vorhandenen Daten sowie Erkenntnisgewinne aus bereits initiierten – nationalen und internationalen – Untersuchungen zur Verfügung. Eine Anhörung der Verfahrensbeteiligten hat ergeben, dass ein spezifisches Regelwerk für die verlängerte Zwischenlagerung als sinnvoll erachtet wird. Dieses sollte alle Anforderungen zum Nachweis der Sicherheit über den gesamten Zwischenlagerzeitraum unter Berücksichtigung der zum Zeitpunkt der Genehmigungsverlängerung gegebenen Randbedingungen enthalten, den Umgang mit Unsicherheiten regeln und die Zuständigkeit der beteiligten Akteure klar benennen.

Ein weiterer kritischer Aspekt ist die Sicherstellung der Abtransportierbarkeit der Behälter am Ende der Zwischenlagerung, da sich die Anforderungen an die Bauartzulassung sowie die Bewertungsmaßstäbe und Nachweiskonzepte im Laufe der Zeit weiterentwickeln, sodass die Nachweisunterlagen für die Behälter früher oder später den dann geltenden Regelwerksanforderungen nicht mehr genügen, ohne dass dies Einfluss auf die sicherheitstechnischen Eigenschaften der Behälter hat. Zum Nachweis des sicheren Zustands der Behälter auch nach langer Zwischenlagerzeit ist daher ein kontinuierliches Alterungsmanagement erforderlich. Insgesamt sind rund 1.800 Behälter über einen Zeitraum von etwa 30 Jahren zu transportieren, was einer jährlichen Transportfrequenz von 60 Behältern entspricht.

Da die Zwischenlagerung nur ein Teil des gesamten Entsorgungsprozesses ist, hat sich die ESK auch mit den wechselseitigen Abhängigkeiten befasst und diese in einem Zeitstrahl (siehe Anhang) dargestellt. Daraus wird erkenntlich, dass insbesondere bis zur Standortfestlegung 2031 [2] eine Reihe von Aktivitäten parallel erfolgen müssen. Dies betrifft insbesondere die Entwicklung und sukzessive Konkretisierung von Endlagerbehälterkonzepten für die verschiedenen Wirtsgesteine sowie die Festlegung der damit verbundenen Konditionierungstechnik. Sofern die Einlagerung im Endlager wie geplant 2050 beginnen soll, müssen das Eingangslager ca. 2045 und die Konditionierungsanlage ca. 2048 in Betrieb gehen. Dies bedeutet, dass nach der Standortentscheidung für das Endlager zügig mit den konkreten Planungen und Genehmigungsverfahren begonnen werden muss, damit danach noch ausreichend Zeit für die Errichtung und Inbetriebnahmen bleibt. Eine Verzögerung bei der Standortauswahl darf auf keinen Fall zu einer Verzögerung der o. g. Arbeiten führen, da diese sehr komplex und daher zeitintensiv sind.

Je nach Endlagerbehälterkonzept werden ca. 1.900 (Großbehälter) bis 6.000 (Brennstabkokillen) Endlagerbehälter plus Endlager- bzw. Transferbehälter für rund 3.900 Glaskokillen benötigt. Hierfür sind rechtzeitig vor dem Konditionierungsbeginn ausreichende und qualifizierte Fertigungskapazitäten zu schaffen.

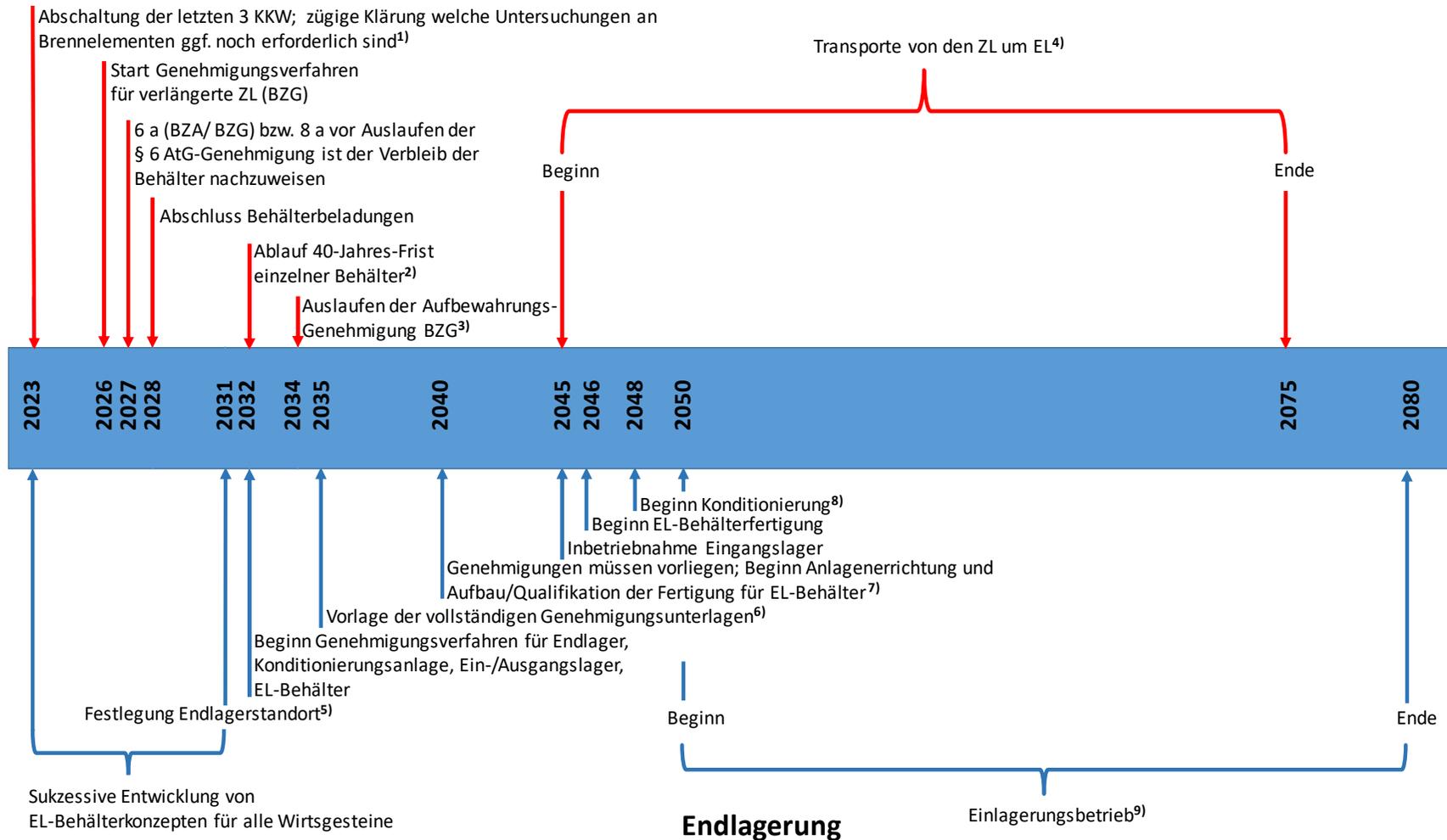
Bereits bei Einhaltung des Zeitplans gemäß [2] sind für den gesamten Entsorgungsprozess der Know-how-Erhalt, die permanente Verfügbarkeit von ausreichendem und qualifiziertem Personal sowie die Sicherstellung der Dokumentation über lange Zeiträume von ausschlaggebender Bedeutung. Dies gilt umso mehr, wenn es zu deutlichen Verzögerungen im Standortauswahlverfahren kommt. Ebenfalls von großer Bedeutung für einen erfolgreichen Entsorgungsprozess ist eine umfassende und transparente Öffentlichkeitsbeteiligung. Diese ist erfahrungsgemäß zeitintensiv und muss daher von Anfang an bei den Planungen berücksichtigt werden.

12 Literatur

- [1] Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz - StandAG)
Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 7. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2760) geändert worden ist
- [2] Programm für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (Nationales Entsorgungsprogramm), August 2015
- [3] Pressemitteilung der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) am 11.11.2022 und Meldung des Bundesamts für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) auf der Internetseite des BASE am 14.11.2022
- [4] Diskussionspapier der Entsorgungskommission (ESK) vom 29.10.2015
Diskussionspapier zur verlängerten Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und sonstiger Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle
- [5] Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG) vom 23. Dezember 1959,
Atomgesetz in der Fassung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I. S.1565), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2153) geändert worden ist
- [6] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
Verzeichnis radioaktiver Abfälle (Bestand zum 31. Dezember 2019 und Prognose), Januar 2021
- [7] GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH: German Nuclear Power Plants, Proceedings ICEM 2009: Liverpool 2009
https://www.grs.de/sites/default/files/publications/GRS-272_neu.pdf
- [8] Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH
Betrachtungen zu angefallenen und endzulagernden Mengen an hochradioaktiven Abfällen in Deutschland, Stand: Februar 2022
- [9] BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH
Das Forschungsprogramm der BGZ, 2022
- [10] Bundesgesellschaft für die Endlagerung
Grundlegende Anforderungen an Endlagerbehälter für hochradioaktive Abfälle, 31.03.2021

Zwischenlagerung

Anhang 1: Zeitstrahl für die verlängerte Zwischenlagerung und die Endlagerung gemäß Standortauswahlgesetz [1] und Nationalem Entsorgungsprogramm [2].



EL-Behälter = Endlagerbehälter

-
- 1) Klärung, welche Informationen z. B. zum Alterungsverhalten von Behältern und Inventaren noch benötigt werden und wie diese beschafft werden können, bevor die letzten TLB verschlossen werden (BGZ, BASE, BAM).
 - 2) Betrifft Behälter im BZA, ZLN, AVR Jülich und in ZL von KKK, KWB, GKN, KKP.
 - 3) Restliche ZL folgen bis 2047; Genehmigungen für die verlängerte ZL müssen zum Zeitpunkt des Auslaufens der bisherigen Genehmigung vorliegen.
 - 4) Rund. 1.100 TLB mit LWR-BE, 137 Behälter mit Glaskokillen und 479 Behälter mit Forschungsreaktor-BE; durchschnittliche Transportfrequenz über 30 Jahre: ca. 60 Behälter/a.
 - 5) Mit der Festlegung des Endlagerstandorts müssen auch Endlagerungsbedingungen, Anforderungen an Konditionierung und EL-Behälter sowie Konzept für das Eingangslager feststehen.
 - 6) Vorlage der vollständigen Genehmigungsunterlagen für die Errichtung des Endlagers, der Konditionierungsanlage, des Ein-/Ausgangslagers und die EL-Behälter.
 - 7) Genehmigungen für die Errichtung des Endlagers, des Ein-/Ausgangslagers und der Konditionierungsanlage müssen vorliegen; ab 2046 werden Fertigungskapazitäten für 1.870 EL-Behälter (d. h. ca. 60/a) oder 5.940 Endlagerkokillen plus Umverpackungen (d. h. ca. 200/a) und Transferbehälter für 3.900 Glaskokillen in 30 Jahren erforderlich.
 - 8) Konditionierungsdurchsatz von rund 340 Mg SM/a sowie ca. 130 Glaskokillen/a über 30 Jahre. Bei Aufnahme des Konditionierungsbetriebs müssen EL-Behälter verfügbar sein.
 - 9) Abhängig vom EL-Behälterdesign müssen über 30 Jahre durchschnittlich ca. 60 - 200 EL-Behälter mit Brennelementen und ca. 130 Glaskokillen pro Jahr endgelagert werden.