
Projektnummer 94866

**Gutachterliche Stellungnahme zu wichtigen
sicherheitstechnischen Aspekten der
Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle
Revision 01
(ersetzt die Fassung vom 20.12.2017)**

von

Stefan Alt

Beate Kallenbach-Herbert

Julia Neles

Öko-Institut e.V.
Rheinstraße 95
64295 Darmstadt

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

23/01/2018

Kurzbeschreibung

In der vorliegenden gutachterlichen Stellungnahme für das Nationale Begleitgremium werden folgende Themenschwerpunkte im Zusammenhang mit der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle in Deutschland behandelt:

- ▶ Aktueller Sicherheitszustand der Zwischenlager
- ▶ Zukünftige Entwicklung des Sicherheitszustands der Zwischenlager
- ▶ Perspektiven der Zwischenlagerung jenseits der heute genehmigten Betriebszeiten der bestehenden 16 Zwischenlager

Das Gutachten gibt einen Überblick über die grundsätzlichen Zusammenhänge und beantwortet eine Reihe von Fragen im Zusammenhang mit der Sicherheit der Zwischenlager, die vom Nationalen Begleitgremium vorgegeben wurden. In einem abschließenden Fazit wird auf einige übergeordnete Aspekte aus Sicht der AutorInnen hingewiesen.

Abstract

This expert opinion for the German “Nationales Begleitgremium” deals with the following main topics in connection with the interim storage of high-level radioactive waste in Germany:

- ▶ current safety status of the interim storage facilities
- ▶ future development of the safety status of interim storage facilities
- ▶ prospects for interim storage beyond the licensed operating periods of the existing 16 interim storage facilities

The report provides an overview of the basic interrelationships and answers a number of questions relating to the safety of the interim storage facilities specified by the German “Nationales Begleitgremium”. In a final conclusion, some overarching aspects are pointed out from the authors' point of view.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis.....	6
Zusammenfassung.....	8
Summary	14
0 Veranlassung.....	19
1 Zusammenhänge bei der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle.....	20
1.1 Überblick über die aktuelle Situation.....	20
1.2 Sicherheitsanforderungen und Sicherheitsphilosophie der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle.....	25
1.3 Überblick über die Zuständigkeiten.....	27
1.4 Zwischenlagerung als Bestandteil des Entsorgungsmanagements (Zwischenlagerung, Abfallbehandlung, Transporte, Endlagerung)	28
1.5 Grundsätzliche Optionen für die verlängerte Zwischenlagerung.....	29
1.6 Überblick über sicherheitsrelevante Aspekte und Überlegungen zur verlängerten Zwischenlagerung in anderen Staaten.....	31
2 Beantwortung der Fragen zur Sicherheit der deutschen Zwischenlager.....	34
2.1 Wie ist der Stand der Sicherheitslage an deutschen Zwischenlagern für hoch radioaktive Abfälle?	34
2.1.1 Sicherheit von Zwischenlagern	34
2.1.2 Sicherung von Zwischenlagern.....	36
2.2 Wie ist der aktuelle Stand der sicherheitstechnischen Diskussion über diese Zwischenlager?.....	39
2.2.1 Betreiberwechsel.....	40
2.2.2 Autarkisierung.....	40
2.2.3 Bedarf eines längeren Betriebs von Zwischenlagern.....	42
2.3 Welche unterschiedlichen Sichtweisen gibt es in dieser Diskussion und wie sind diese zu bewerten?.....	43
2.4 Wie können bei der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle Wissen, Erfahrung, Begutachtung und Aufsicht langfristig gesichert werden?	45
2.5 Wie kann ein effektives Alterungsmanagement für die Zwischenlager betrieben werden?.....	47
2.6 Wie können (einheitliche) Sicherheitskriterien und -anforderungen bei den Bauwerken gesichert werden?.....	50
2.7 Müssen die Gebäude aller Zwischenlager für hoch radioaktive Abfälle auf ein (einheitliches) Sicherheitsniveau gehoben werden?.....	52

2.8	Welche Reparatur-, Wartungs- und Prüfmaßnahmen müssen für die Bauwerke und Behälter vor Ort sichergestellt werden?.....	54
2.9	Wie können unnötige Transporte von hoch radioaktiven Abfällen vermieden werden?.....	57
3	Fazit.....	60
4	Quellenverzeichnis	63

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Vom Kernkraftwerk ins Endlager: die Wege des hoch radioaktiven Abfalls - vereinfachte Darstellung ohne Konditionierungsschritte.....	21
Abbildung 2:	Umsetzung und Konsequenzen aus dem Überwachungskonzept im Rahmen des technischen Alterungsmanagements gemäß ESK-Empfehlung (ESK 2014a)	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Bestandteile des Überwachungskonzepts als Grundlage für das technische Alterungsmanagement gemäß ESK-Empfehlung (ESK 2014a)	48
------------	---	----

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
AtG	Atomgesetz
AVR	Arbeitsgemeinschaft <i>Versuchsreaktor</i> (Typbezeichnung für den Hochtemperaturreaktor in Jülich)
BfE	Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
BGZ	Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BSK-3	Brennstabkockille (zur vertikalen Endlagerung von Brennstäben aus drei abgebrannten Brennelementen)
CASTOR®	Cask for storage and transport of radioactive material (Behälter zur Aufbewahrung und zum Transport radioaktiven Materials)
ESK	Entsorgungskommission
EVA	Einwirkungen von außen
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EWN	Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH
GNS	Gesellschaft für Nuklearservice mbH
KFK	Kommission zur Überprüfung der Finanzierung des Kernenergieausstiegs
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
Mg SM	Megagramm (oder „Tonne“) Schwermetall
MOX	Mischoxid (Kernbrennstoff aus Uran und Plutonium)
mSv/a	Millisievert pro Jahr (Einheit der Strahlendosimetrie)
OVG	Oberverwaltungsgericht
POLLUX®	(Behälter zur Endlagerung von Brennstäben aus abgebrannten Brennelementen)
SEWD	Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter
STEAG	Steinkohlen-Elektrizität AG
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
TBL-A	Transportbehälterlager Ahaus
TBL-G	Transportbehälterlager Gorleben
THTR	Thorium-Hoch-Temperatur-Reaktor
TN 85V®	(In Frankreich entwickelter Transportbehälter für Glaskokillen)
TS 28V®	(In Frankreich entwickelter Transportbehälter für Glaskokillen)
VGB	Ehemals „Vereinigung der Großkesselbesitzer“, heute VGB PowerTech, internationaler Interessenverband von Unternehmen der Energieversorgungsbranche

Abkürzung	Erläuterung
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe
WTI	Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH
ZLN	Zwischenlager Nord
ZwiLag	Zentrales Zwischenlager Würenlingen (CH)

Zusammenfassung

Ende 2016 lagerten in Deutschland etwa 4.900 Mg SM an abgebrannten Brennelementen in der trockenen Zwischenlagerung, verpackt in dickwandige Transport- und Lagerbehälter. 3.600 Mg SM befanden sich in den Abklingbecken der Kernkraftwerke. Bis zum Vollzug des Atomausstiegs werden weitere rd. 1.700 Mg SM an abgebrannten Brennelementen prognostiziert. Hinzu kommen verglaste hoch radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung, deren Volumen mit der Rückführung der letzten Abfälle aus Frankreich und Großbritannien noch auf etwa 700 m³ anwachsen wird. Kleinere Mengen abgebrannter Brennelemente fallen in Forschungsreaktoren an, hervorzuheben sind hierbei die hoch angereicherten Brennelemente des FRM II in Garching.

In Deutschland existieren derzeit 16 Zwischenlager für hoch radioaktive Abfälle. Drei dieser Anlagen aus den 1980er und 1990er Jahren (in Gorleben, Ahaus und Rubenow) gelten als zentrale Zwischenlager, in Jülich wurde 1993 ein Zwischenlager für die Brennelementkugeln des ehemaligen Jülicher Hochtemperaturreaktors AVR in Betrieb genommen. Die Standortzwischenlager der Kernkraftwerke wurden zwischen 2002 und 2007 in Betrieb genommen. Die Lagergebäude der Standortzwischenlager wurden nach Konzepten der Firmen WTI und STEAG realisiert, die sich im Wesentlichen durch die Wand- und Deckenstärke sowie die ein- oder zweischiffige Ausführung des Lagerbereichs unterscheiden. An einem Standort wurde als Sonderfall ein Tunnelkonzept realisiert. Die Sicherheit der Zwischenlager und ihre Robustheit gegen äußere Einwirkungen ergibt sich aus dem Zusammenwirken aller Systemkomponenten: Gebäude, Behälter mit den darin enthaltenen Abfällen und ihren spezifischen Barrieren zum Einschluss der radioaktiven Stoffe sowie ggf. weitere Sicherungseinrichtungen.

Maßgeblich ist das Erreichen der Schutzziele bei der Zwischenlagerung, die auf die Grundsätze des Strahlenschutzes zurückgehen:

- ▶ Vermeidung unnötiger Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt.
- ▶ Minimierung jeder Strahlenexposition oder Kontamination auch unterhalb festgesetzter Grenzwerte.

Um dies zu gewährleisten, muss die Zwischenlagerung folgende Schutzziele dauerhaft erreichen:

- ▶ sicherer Einschluss der in den Abfällen enthaltenen radioaktiven Stoffe,
- ▶ sichere Abfuhr der in den Abfällen entstehenden Zerfallswärme,
- ▶ sichere Einhaltung der Unterkritikalität,
- ▶ Vermeidung unnötiger Strahlenexposition, Begrenzung und Kontrolle nicht vermeidbarer Strahlenexposition des Betriebspersonals und der Bevölkerung.

Mit Umsetzung des Entsorgungsübergangsgesetzes ändern sich in Deutschland die Zuständigkeiten für die Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle. Das Zwischenlager Nord und das AVR-Behälterlager Jülich befinden sich über die EWN GmbH bereits im Verantwortungsbereich des Bundes, ebenso die zentralen Zwischenlager in Gorleben und Ahaus, die von der bundeseigenen Gesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ) betrieben werden. Die BGZ soll zum 01.01.2019 auch die Standortzwischenlager für hoch radioaktive Abfälle übernehmen. Den Betreibergesellschaften steht als Genehmigungsbehörde das Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) gegenüber. Die behördliche Aufsicht wird von den zuständigen Ministerien der Bundesländer wahrgenommen.

Die Aufbewahrungsgenehmigungen der Zwischenlager sind auf einen Zeitraum von 40 Jahren befristet, beginnend mit der ersten Einlagerung. Die bestehenden Genehmigungen laufen zwischen den Jahren 2034 und 2046 aus. Die Genehmigung des Zwischenlagers in Jülich ist bereits 2013 abgelaufen, dem Zwischenlager Brunsbüttel wurde per Gerichtsurteil die Genehmigung entzogen.

Auch die Genehmigungen der einzelnen Behälter sind auf 40 Jahre befristet, beginnend mit ihrer Beladung.

Die tatsächlich erforderliche Dauer der Zwischenlagerung ist abhängig vom Verlauf des Standortauswahlverfahrens, dem nachfolgenden Genehmigungsverfahren und der Betriebsbereitschaft und Kapazität eines zukünftigen Eingangslagers am Endlagerstandort. Die befristeten Genehmigungen der bestehenden Zwischenlager werden nicht ausreichen, um die Zeit bis dahin zeitlich abzudecken. Die entstehende Lücke kann einige Jahrzehnte groß werden. Der absehbar längere Zwischenlagerzeitraum bedingt, dass Optionen für den längerfristigen Umgang mit den Abfällen betrachtet werden müssen. Neben Fragen zur Langzeiteignung von Behältern, zum Inventarverhalten und zur Transportierbarkeit stehen dabei auch alternative Zwischenlagerkonzepte zur Diskussion. Es muss entschieden werden, ob die derzeitigen Einrichtungen weiter genutzt werden, oder ob beispielsweise der Bau eines zentralen Zwischenlagers oder die Konzentration auf wenige regionale Zwischenlager, notwendig oder sinnvoll und gerechtfertigt ist.

Eine längerfristige Zwischenlagerung benötigt einen stabilen gesellschaftlichen Rahmen, in dem die verantwortlichen Akteure technisch, personell und auch finanziell in der Lage sind, die Sicherheit aufrecht zu erhalten. Da eine derartige Stabilität nicht als dauerhaft gegeben angesehen werden kann, ist die Zwischenlagerung auf den unbedingt notwendigen Zeitraum zu begrenzen, bis ein geologisches Endlager zur Verfügung steht.

Das Nationale Begleitgremium hat für das hier vorgelegte Gutachten folgende neun Fragen zur Sicherheit der deutschen Zwischenlager zu Beantwortung aufgegeben:

Wie ist der Stand der Sicherheitslage an deutschen Zwischenlagern für hoch radioaktive Abfälle?

Hinsichtlich der Sicherheit hat die ESK im Rahmen eines Stresstests die Widerstandsfähigkeit der Zwischenlager gegen Einwirkungen von außen (EVA) geprüft und dabei Lastannahmen oberhalb der ursprünglichen Auslegungsanforderungen zugrunde gelegt. Im Ergebnis stellt die ESK keine Sicherheitsdefizite fest. Die Einhaltung der Schutzziele und die Begrenzung der radiologischen Auswirkungen außerhalb der Anlage bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen werden primär durch die dickwandigen Behälter sichergestellt.

Bei der Sicherung der Zwischenlager gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD) greifen bauliche, technische, personelle und organisatorische Maßnahmen ineinander. Dabei bildete ursprünglich die robuste Auslegung der Lagerbehälter die Basis für den Schutz gegen die zu unterstellenden gewaltsamen Einwirkungen. Heute spielen die Lagergebäude eine zunehmend wichtige Rolle zur Beschränkung des Zugangs zu den Behältern, als Hindernisse gegen die Zielerfassung und gegen direkten Beschuss. Dabei wurden und werden neue Nachweise und auch Nachrüstungen erforderlich, weil sich mit fortschreitender technischer Entwicklung auch die Lastannahmen für Bedrohungsszenarien erhöht haben. Erforderliche „Härtungsmaßnahmen“ der Zwischenlager befinden sich in unterschiedlichen Phasen der Umsetzung. Dem Zwischenlager Brunsbüttel wurde 2015 die Aufbewahrungsgenehmigung auch deshalb entzogen, weil das Gericht der Argumentation der Kläger folgte, wonach die Lastannahmen für terroristische Bedrohungsszenarien nicht ausreichten, um die Sicherheit der Lagerbehälter bei Beschuss oder beabsichtigtem Flugzeugabsturz nachzuweisen.

Wie ist der aktuelle Stand der sicherheitstechnischen Diskussion über diese Zwischenlager?

Zu dieser Frage werden der aktuelle Betreiberwechsel, die mit Stilllegung der Kernkraftwerke anstehende Autarkisierung der Standortzwischenlager und ein längerfristig notwendiger Zwischenlagerbetrieb betrachtet. Der Betreiberwechsel wird organisatorische und betriebliche Veränderungen in den Zwischenlagern nach sich ziehen und berührt damit auch sicherheitstechnische

Belange. Ein sicherheitstechnisch relevanter Aspekt ist auch die Autarkisierung der Zwischenlager. Sie wird erforderlich, weil die Standortzwischenlager verschiedene Einrichtungen und Dienstleistungen der benachbarten Kernkraftwerke mitnutzen, die mit dem Rückbau der Kernkraftwerke nicht mehr verfügbar sein werden. In diesem Zusammenhang werden beispielsweise Reparaturkonzepte diskutiert, die eine Wiederherstellung des Doppeldeckelsystems mit zwei dichten Deckeln ermöglichen und im Zwischenlager umgesetzt werden können.

Der längerfristig erforderliche Zwischenlagerbetrieb über die derzeit genehmigten Zeiträume von 40 Jahren hinaus ist mit verschiedenen Herausforderungen sowohl sicherheitstechnischer als auch konzeptioneller Art verbunden. Aus sicherheitstechnischer Sicht ist das Verhalten der Brennelemente bei einer längerfristigen Zwischenlagerung eine zentrale Frage, die noch Gegenstand von Forschungsarbeiten ist. Konzeptionell wird beispielsweise zu entscheiden sein, ob alle derzeitigen Standorte für Zwischenlager erhalten bleiben oder ob eine teilweise oder vollständige Zentralisierung angestrebt wird.

Welche unterschiedlichen Sichtweisen gibt es in dieser Diskussion und wie sind diese zu bewerten?

Die unterschiedlichen Sichtweisen, insbesondere zwischen den Verfahrensbeteiligten (z.B. Genehmigungsbehörde und Betreiber) auf der einen Seite und der betroffenen Öffentlichkeit (vertreten beispielsweise durch die Klägerseite im Prozess um das Zwischenlager Brunsbüttel) auf der anderen Seite werden anhand des Urteils zum Zwischenlager Brunsbüttel veranschaulicht. Außerdem reflektieren der Transfer abgebrannter Brennelemente von Obrigheim nach Neckarwestheim, die Rücknahme hoch radioaktiver Abfälle aus dem Ausland und die Frage des weiteren Verbleibs der AVR-Brennelemente aus dem Zwischenlager in Jülich aktuelle Diskussionen im Kontext Zwischenlagerung und Transporte. Im Fokus der Kontroversen stehen dabei die unterschiedlichen Sichtweisen hinsichtlich der Maßnahmen zur Sicherung der Standorte, zur Wirksamkeit der „Härtung“ gegen Einwirkungen Dritter und zur Verwundbarkeit von Behältern während des Transports durch Beschuss mit einer tragbaren panzerbrechenden Waffe.

Wie können bei der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle Wissen, Erfahrung, Begutachtung und Aufsicht langfristig gesichert werden?

Die langfristige Sicherung der Informationen und Kompetenzen, die für die Zwischenlagerung und alle anderen Schritte des nuklearen Entsorgungsmanagements erforderlich sind, wird von den Beteiligten als wichtige Aufgabe erkannt. Zum einen sind dabei Inhalte und Umfang der erforderlichen Daten zu berücksichtigen, zum anderen ihre langfristige Verfügbarkeit und Lesbarkeit. Betroffen sind alle beteiligten Akteure, also Betreiber, Sachverständige und Behörden. Trotz der Fortentwicklungen der Anforderungen an Wissensmanagement und Dokumentation kann nie ganz ausgeschlossen werden, dass über die Jahrzehnte Wissen verloren geht. Die Erstellung und Pflege der Datenbestände bedarf daher umfassender Planung und der Bereitstellung entsprechender Ressourcen. Letztlich sind es Personen, ihre Fähigkeiten und Kenntnisse, die die sichere Durchführung des nuklearen Entsorgungsmanagements gewährleisten. Die Gewinnung und Ausbildung von Personal erfordert eine entsprechende Aufmerksamkeit politischer Entscheider, angemessene und attraktive Forschung und Ausbildung sowie attraktive Berufsbilder mit positivem Image.

Wie kann ein effektives Alterungsmanagement für die Zwischenlager betrieben werden?

Das Alterungsmanagement für Zwischenlager hoch radioaktiver Abfälle ist eine vergleichsweise neue Anforderung, die derzeit etabliert wird. Die Überwachung des Verhaltens von Systemen, Komponenten und Strukturen beispielsweise durch wiederkehrende Prüfungen ist dagegen etablierte Praxis, die in das Alterungsmanagement integriert wird. Mit der Erkenntnis der vermutlich jahrzehntelangen Zwischenlagerzeiträume hat der Erhalt der Sicherheit bei alternden Komponenten und Strukturen sowie organisatorischer und betrieblicher Aspekte der Zwischenlagerung zunehmende Relevanz. Das Alterungsmanagement soll so geplant und durchgeführt werden, dass sich

durch die Anwendung ein selbst optimierendes System ergibt aus Ergebnisdokumentation bezüglich der Überwachung der Anlage, Ergebnisbewertung in Bezug auf Schutzzielrelevanz und zukünftig zu erwartenden Qualitätsveränderungen, dem Ergreifen von Maßnahmen (zum Beispiel Anpassung des Konzepts) und der Überprüfung der Maßnahmenwirksamkeit. Hauptsächlicher Anwender des Alterungsmanagements ist der Anlagenbetreiber.

Derzeit in Umsetzung ist das Instrument der periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ). Sie dient der Bewertung des Sicherheitsstatus des Zwischenlagers in seiner Gesamtheit in einem zehn-jährigen Turnus und soll auch längerfristige Entwicklungen in den Blick nehmen, um vorsorgliche Anpassungen ableiten zu können. Derzeit befinden sich für alle Zwischenlager PSÜs in der Durchführung. Veröffentlichungen zu den Ergebnissen gibt es bisher nicht.

Wie können (einheitliche) Sicherheitskriterien und -anforderungen bei den Bauwerken gesichert werden?

Die Sicherheitsanforderungen sind für alle Zwischenlager für hochradioaktive Abfälle einheitlich geregelt. Das Zwischenlager wird dabei als Gesamtsystem aus Zwischenlagerbauwerk und Behältern mit den darin enthaltenen Abfällen und ihren spezifischen Barrieren zum Einschluss der radioaktiven Stoffe sowie ggf. weiteren Sicherungseinrichtungen betrachtet. Das Regelwerk gibt nicht die konkrete Umsetzung einer Anforderung vor sondern die Lastfälle, gegen die ein Zwischenlager mindestens ausgelegt werden muss. Der Betreiber muss den Nachweis führen, dass das von ihm geplante bzw. betriebene Zwischenlager als Gesamtsystem das geforderte Schutzniveau für die vollständige Bandbreite der im Regelwerk vorgegebenen Lastfälle und Lastannahmen erreicht. Dieser Nachweis wird von der zuständigen Behörde geprüft und in der Umsetzung beaufsichtigt. Die ESK hat in ihrem Stresstest festgestellt, dass im Hinblick auf Einwirkungen von außen (EVA) „[d]ie Auslegung der Behälter [sicher] stellt ..., dass auch bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen keine einschneidenden Maßnahmen des Katastrophenschutzes erforderlich werden.“. Die baulichen Einrichtungen spielen in der Frage der Beherrschung von Einwirkungen Dritter (SEWD) eine wichtige Rolle, die auch durch die aktuell in Umsetzung befindlichen „Härtungsmaßnahmen“ zum Ausdruck kommt.

Eine zentrale Frage ist die regelmäßige Weiterentwicklung der Anforderungen. Neubewertungen der Lastannahmen sind vor dem Hintergrund sich verändernder Randbedingungen unverzichtbar. Wesentliche Auslöser von Neubewertungen sind Lastannahmen zu Flugzeugabsturzscenarien, Anpassung an klimatische Veränderungen (z.B. bezüglich Hochwasserszenarien oder Starkniederschlägen) und SEWD-Szenarien (z.B. in Bezug auf Täterverhalten und Waffentechnik).

Müssen die Gebäude aller Zwischenlager für hochradioaktive Abfälle auf ein (einheitliches) Sicherheitsniveau gehoben werden?

Hinsichtlich des Sicherheitsniveaus der Zwischenlager kommt es weniger auf bauliche Unterschiede zwischen den Lagergebäuden an als darauf, dass das Gesamtsystem sämtlichen abzurufenden Lastfällen widersteht.

Baulich unterscheiden sich die heutigen deutschen Zwischenlagergebäude recht deutlich voneinander. Die nach dem STEAG-Konzept errichteten Lagergebäude gelten dabei aufgrund ihrer höheren Wand- und Deckenstärke in der öffentlichen Wahrnehmung als robuster, auch wenn die Wand- und Deckenstärke alleine kein abdeckendes Robustheitskriterium darstellt.

Aus der fortgeschrittenen Bauweise der Anfang der 2000er Jahre errichteten Standortzwischenlager nach dem STEAG- aber auch dem WTI-Konzept kann geschlossen werden, dass diese über eine höhere Robustheit verfügen als die in den 1990er Jahren in Betrieb genommenen zentralen Zwischenlager Gorleben, Ahaus und Rubenow sowie das AVR-Behälterlager Jülich. Für beide Konzepte wurde in den Genehmigungsverfahren vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) festgestellt, dass die Zwischenlager

die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden gewährleisten.

Relevanz hat die Frage nach einer baulichen Angleichung ggf. dahingehend, ob für zukünftige Genehmigungen Ersatzneubauten für veraltete Lagerkonzepte erforderlich werden. In jedem Fall werden für die Zwischenlagerung über die derzeit genehmigten Zeiträume hinaus fortgeschriebene Anforderungen an die zu berücksichtigenden Lastannahmen nachzuweisen sein. In diesem Zusammenhang kommt aktuell auch die Diskussion auf, ob zukünftige Zwischenlagergebäude eine vollwertige mechanische Barriere als Redundanz zu den Sicherheitsfunktionen des Behälters darstellen sollte. Bislang besteht eine solche Anforderung nicht.

Welche Reparatur-, Wartungs- und Prüfmaßnahmen müssen für die Bauwerke und Behälter vor Ort sichergestellt werden?

Der Betreiber eines Zwischenlagers muss regelmäßig Wartungsarbeiten durchführen, den Reparaturbedarf prüfen und bei Bedarf entsprechende Maßnahmen ergreifen. Dazu gehören die Maßnahmen einer vorbeugenden Instandhaltung und die wiederkehrenden Prüfungen (WKP), deren Art und Häufigkeit nach der sicherheitstechnischen Bedeutung einer Komponente festgelegt wird. Vorgaben zu den WKP werden in den Genehmigungen der einzelnen Anlagen oder im Rahmen der Aufsicht gemacht. Da sie im Detail nicht einheitlich im Regelwerk spezifiziert sind, kann es hierbei auch Unterschiede zwischen den Anlagen geben.

Ein wichtiges System in einem Zwischenlager ist das Behälterüberwachungssystem, das die Dichtheit der Behälterdeckel überwacht. Ein defekter Druckschalter kann im Zwischenlager ausgetauscht werden, ebenso wie eine defekte Sekundärdeckeldichtung. Der äußere Korrosionsschutz eines Behälters kann ebenfalls vor Ort instandgehalten werden. Noch ungeklärt ist der zukünftige Bedarf an Heißen Zellen, wenn die Standortzwischenlager zukünftig für den Fall einer Reparatur der Primärdeckeldichtung nicht mehr auf die Einrichtungen des zugehörigen Kernkraftwerks zugreifen können.

Nicht unmittelbar überwacht werden kann der Zustand der Abfälle und Einbauten im Behälterinneren. Diesbezüglich bestehen bisher keine Regelwerksanforderungen. Das Problem wird aber mit immer länger werdenden Zwischenlagerzeiträumen auch international wahrgenommen. Entsprechende Forschungsprogramme wie beispielsweise der USA sehen daher in den kommenden Jahren und Jahrzehnten auch die Öffnung einzelner Lagerbehälter und die Untersuchung des Zustands des Innenraums und der Abfälle vor.

Wie können unnötige Transporte von hoch radioaktiven Abfällen vermieden werden?

Offensichtlich unnötige Transporte sind gemäß der Strahlenschutzgrundsätze der Rechtfertigung, Dosisbegrenzung und Vermeidung unnötiger Strahlenexposition nicht zulässig. Die Notwendigkeit eines Transports ist daher immer zu begründen.

Auch zukünftig werden Transporte auf öffentlichen Verkehrswegen erforderlich werden, sei es zu Reparaturzwecken, zum Transfer an einen anderen Zwischenlagerstandort, in eine Konditionierungsanlage oder zur Abgabe an den zukünftigen Endlagerstandort. Diese Transporte sind letztlich unverzichtbar. Anzahl und Transportlängen ergeben sich aus den verschiedenen hierfür abzuwägenden Optionen, die derzeit noch weitgehend offen sind und neben (sicherheits-) technischen und rechtlichen auch mit politisch-gesellschaftlichen Erwägungen zusammenhängen. So sind zusätzliche Transporte zur Reduzierung der Anzahl der Zwischenlagerstandorte abzuwägen gegenüber Vorteilen, die sich durch diese Reduzierung ergeben. Die Anzahl und Positionierung von Reparatur- oder Konditionierungsanlagen wird den Transportbedarf ebenfalls beeinflussen. Nicht zuletzt ist auch die Frage nach der gesellschaftlichen Lastenteilung, aktuell im Hinblick auf die aus dem

Ausland zurück zu führenden Wiederaufarbeitungsabfälle, mit den Transporten in die hierfür vorgesehenen Zwischenlager verknüpft.

Da die Zwischen- und Endlagerung voneinander abhängige Bestandteile des angestrebten Entsorgungswegs sind, richtet das Nationale Begleitgremium seine Aufmerksamkeit zu Recht auch auf die Randbedingungen der Zwischenlagerung. Spätestens mit dem Übergang der Zwischenlager in staatliche Verantwortung ergibt sich eine weitere Verzahnung über die handelnden Akteure und die verfügbaren finanziellen Ressourcen. Dabei können folgende Aspekte besonders von der durch das Begleitgremium mit herbeigeführten Transparenz und Öffentlichkeit profitieren:

- ▶ das Regelwerk zur Sicherheit (und zu den Grundsätzen der Sicherung) der Zwischenlager transparent fortschreiben
- ▶ Sicherheit und Schutzniveau von Fragen der Wirtschaftlichkeit abkoppeln
- ▶ ein wirksames System von „Checks and Balances“ mit einer starken und unabhängigen Aufsicht aufrecht erhalten
- ▶ Forschung und Erfahrungsaustausch einfordern
- ▶ regelmäßige Sicherheitsüberprüfungen der Zwischenlager, deren Ergebnisse und Konsequenzen auch zur Kommunikation über den Sicherheitsstatus nutzen
- ▶ die Endlagerung als Ziel der nuklearen Entsorgung sichtbar halten und damit der „gefühlten Endlagerung“ an den Zwischenlagerstandorten entgegenwirken

Summary

At the end of 2016, about 4,900 Mg SM of spent fuel elements were stored in Germany in dry interim storage, packed in thick-walled transport and storage casks. 3,600 Mg SM were still in the NPP's storage pools. Until the nuclear phase-out will be completed, further 1,700 Mg SM spent fuel are anticipated. In addition, there is vitrified high level radioactive waste from reprocessing, the volume of which will increase to about 700 m³ with the return of the last waste from France and Great Britain. Smaller quantities of spent fuel elements accumulate in research reactors, the highly enriched fuel elements of the FRM II in Garching deserve special mention.

There are currently 16 interim storage facilities for high-level radioactive waste in Germany. Three of these facilities (in Gorleben, Ahaus and Rubenow), dating from the 1980s and 1990s, are regarded as central interim storage facilities. In Jülich, an interim storage facility for the spent fuel from the former AVR-Reactor was commissioned in 1993. The interim storage facilities of the nuclear power plants were put into operation between 2002 and 2007. The buildings of the interim storage facilities were built according to concepts developed by the companies WTI and STEAG, which differ mainly in the wall and ceiling thickness as well as the one- or two-span design of the storage area. As a special case, a tunnel concept was implemented at one site. The safety of the interim storage facilities and their robustness against external influences is due to the interaction of all system components: Buildings, casks containing the waste and their specific barriers to include the radioactive material and, where appropriate, other security devices.

Significant is the achievement of the protection targets for interim storage which are based on the basic obligations of radiation protection:

- ▶ avoid unnecessary radiation exposure or contamination of humans and the environment.
- ▶ minimisation of any radiation exposure or contamination, even below specified threshold values.

In order to ensure this, interim storage must achieve the following protection targets in the long term:

- ▶ safe confinement of radioactive materials contained in the waste,
- ▶ reliable removal of decay heat generated in the waste,
- ▶ safe adherence to subcriticality,
- ▶ avoidance of unnecessary radiation exposure, limitation and control of unavoidable radiation exposure of operating personnel and the general public.

With the implementation of the "Entsorgungsübergangsgesetz", responsibilities for the interim storage of high-level radioactive waste are changing. "Zwischenlager Nord" and "AVR-Behälterlager Jülich" are already under the responsibility of the federal government via EWN GmbH, as are the central interim storage facilities in Gorleben and Ahaus, which are managed by the federally owned "Gesellschaft für Zwischenlagerung" (BGZ). BGZ is also to take over the on-site interim storage facilities for high-level radioactive waste with effect from 1 January 2019. The "Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit" (BfE) is the licensing authority for the operating companies. The official supervision is carried out by the federal states.

The licenses for the interim storage facilities are limited to a period of 40 years, starting with the storage of the first cask. Existing approvals expire between 2034 and 2046. The approval of the interim storage facility in Jülich expired in 2013, and the Brunsbüttel license was withdrawn by a court ruling. The approvals of the individual casks are also limited to 40 years, starting with their loading.

The necessary duration of interim storage depends on the course of the site selection process, the subsequent licensing procedure and the readiness and capacity of a future storage facility at the repository site. The time-limited licenses of the existing interim storage facilities will not be sufficient to cover the time until then. The resulting gap can be several decades long. The foreseeable longer interim storage period means that options for the longer-term handling of waste must be considered. In addition to questions on the long-term suitability of containers, inventory behavior and transportability, alternative interim storage concepts are also being discussed. Decisions need to be taken as to whether the current facilities will continue to be used, or whether e.g. the construction of a centralized interim storage facility or concentration on a small number of regional interim storage facilities is necessary or reasonable and justified.

A prolonged interim storage also requires a stable social framework in which the responsible actors are technically, with respect to staff and financially able to maintain safety. Since such stability cannot be considered as permanently given, interim storage must be limited to the strictly necessary period of time until a geological repository is available.

The "Nationales Begleitgremium" has submitted the following nine questions on the safety of Germany's interim storage facilities to be responded to in the report presented here:

What is the state of the safety/security situation in Germany's interim storage facilities for high-level radioactive waste?

With regard to safety, ESK has tested the resistance of the interim storage facilities to external events (EVA) in a stress test, using load assumptions above the original design requirements as a basis. As a result, the ESK does not identify any safety deficits. The compliance with the protection targets and the limitation of radiological effects outside the facility in the event of beyond design basis incidents is ensured primarily by the thick-walled casks.

When securing the interim storage facilities against disruptive measures or other influences from third parties (SEWD), structural, technical, personnel and organizational measures complement one another. The robust design of the storage casks originally formed the basis to protect against relevant violent impacts. Today storage buildings play a more important role in limiting access to casks, as obstacles to target detection and to direct projectile fire. New evidence and retrofits have been and will be necessary in this context, because the load assumptions for threat scenarios have also increased with advancing technical development. Necessary "hardening measures" of the interim storage facilities are in different phases of implementation. The Brunsbüttel interim storage facility license was revoked in 2015, inter alia because the court followed the plaintiffs' argumentation that the load assumptions for terrorist threat scenarios were not sufficient to prove the safety of the storage casks in the event of projectile fire or planned aircraft crash.

What is the current status of the safety discussion about these interim storage facilities?

This question touches the current change of operators, the autarchisation of the interim storage facilities due to the decommissioning of the nuclear power plants and a longer-term necessity of interim storage. The change of operators will lead to organizational and operational changes in the interim storage facilities and thus also affects safety issues. Another safety-relevant aspect is the autarchisation of the on-site interim storage facilities. It will be necessary because the interim storage facilities at the nuclear power plant sites are using various facilities and services of the neighbouring nuclear power plants, which will no longer be available when the nuclear power plants are dismantled. In this context, repair concepts are discussed, for example, which enable the restoration of the double-lid system with two sealed lids and which can be implemented in the interim storage facility.

The storage facility operation extending beyond the currently approved periods of 40 years is associated with various challenges in terms of both safety and conceptual matters. From a safety-related point of view, the behaviour of fuel elements in the case of long-term interim storage is a central issue that is still the subject of research work. Conceptually, for example, it will be necessary to decide whether all current locations for interim storage will be retained or whether partial or complete centralisation is planned.

What are the different views in this discussion and how should they be assessed?

The different points of view, especially between the responsible actors (e. g. Licensing authority and operator) on the one hand and the concerned public (represented, for example, by the plaintiff's side in the process surrounding the Brunsbüttel interim storage facility) on the other hand, are illustrated by the Brunsbüttel court decision. In addition current discussions in the context of interim storage and transports are reflected referring to the transfer of spent fuel assemblies from Obrigheim to Neckarwestheim, the repatriation of high level radioactive waste from abroad and on the further fate of spent fuel from AVR Jülich. The controversies focus on the different points of view with regard to the measures to secure the sites, the effectiveness of the "hardening" measures or the vulnerability of casks during transport by projectile fire from a portable armor-piercing weapon.

How can knowledge, experience, assessment and supervision of interim storage of high-level radioactive waste be secured in the long term?

The long-term management of the information and skills required for interim storage and all other steps of nuclear waste management is recognized as an important task by those involved. On the one hand, the content and scope of the required data must be taken into account, and on the other hand, their long-term availability and legibility must be ensured. This affects all the players involved, i. e. operators, experts and authorities. Despite the further development of the requirements for knowledge management and documentation, it cannot be ruled out that knowledge will be lost over the decades. The creation and maintenance of the databases therefore requires comprehensive planning and the provision of appropriate resources. Ultimately, it is people, their skills and knowledge that ensure the safe conduct of nuclear waste management. The recruitment and training of personnel requires the appropriate attention of political decision-makers, appropriate and attractive research and training as well as attractive job descriptions with a positive image.

How can an effective ageing management system for the interim storage facilities be achieved?

Ageing management for interim storage of high-level radioactive waste is a comparatively new requirement that is currently being established. Monitoring the behaviour of systems, components and structures, for example by "recurring inspections", is an established practice that will be integrated into ageing management. With the recognition of the probable decades of interim storage periods, the maintenance of safety in the case of aging components and structures as well as organisational and operational aspects of interim storage is becoming increasingly relevant. The ageing management should be planned and carried out in such a way that the application results in a self-optimizing system with regard to the monitoring of the facility, evaluation of results with regard to relevance and expected future quality changes, performing actions (e. g. adaptation of the concept) and checking the effectiveness of measures. The main user of ageing management is the facility operator.

The instrument of periodic safety assessment (PSA) is currently being implemented. It is used to evaluate the safety status of the interim storage facility as a whole in a ten-year cycle and is also intended to take longer-term developments into account in order to be able to derive precautionary adjustments. Currently, all PSAs for all interim storage facilities are under construction. There are no publications on the results so far.

How can (standardized) safety criteria and requirements for buildings be secured?

The safety requirements are the same for all interim storage facilities. The facility is considered as a complete system consisting of the storage building, the casks containing the waste and their specific barriers to include the radioactive material and, where appropriate, other security devices. The set of rules does not specify the implementation of a requirement, but the load cases and assumptions against which an interim storage facility must at least be designed. The operator must provide evidence that the interim storage facility within his responsibility as a complete system is capable of handling the full range of load cases and assumptions contained in the regulation. This evidence is being examined by the licensing authority and supervised during operation. In its stress test, ESK has come to the conclusion that with regard to external influences (EVA) "the design of the casks assures [...] that even in case of beyond design basis incidents no drastic disaster control measures will be necessary" (authors' translation). The buildings play an important role in the control of third party influences (SEWD), which is also reflected in the "hardening measures" currently being implemented.

An important question is the regular further development of the requirements. Revaluations of load assumptions are indispensable in the light of changing boundary conditions. Major motivations of revaluations are developing load assumptions for aircraft crash scenarios, adaptation to climatic changes (e. g. with regard to flood scenarios or heavy rainfall) and third party scenarios (e. g. with regard to offenders' behaviour and weapons technology).

Do the buildings of all interim storage facilities for high-level radioactive waste have to be raised to a (standardized) level of safety?

As far as the safety level of the interim storage facilities is concerned, structural differences between the storage buildings are less important than the overall system performance in resistance against all load cases in question.

The construction of today's German interim storage buildings differs considerably. Due to their higher wall and ceiling thicknesses, the storage buildings constructed in accordance with the STEAG concept are, in public perception, considered to be more robust, although the wall and ceiling thickness by itself does not represent a covering criterion for robustness.

Based on the advanced construction method of the on-site interim storage facilities built at the beginning of the 2000s according to the STEAG and WTI concepts, it can be concluded that these have a higher robustness than the central interim storage facilities in Gorleben, Ahaus and Rubenow, commissioned in the 1990s, as well as the AVR container storage facility in Jülich. For both concepts, the Federal Office for Radiation Protection (BfS) stated in the licensing procedures that the interim storage facilities provide the necessary precautions against damage according to the state of the art in science and technology.

The question of structural harmonization is also potentially relevant as to whether new replacement buildings for obsolete storage concepts will be necessary for future licenses. In any case, it will be necessary to provide proof of updated requirements for the load assumptions to be taken into account for interim storage beyond the currently approved periods. In this context, there is currently also a discussion as to whether future interim storage buildings should represent a fully-fledged mechanical barrier as a redundancy to the safety functions of the casks. So far, there is no such requirement.

What kind of repair, maintenance and inspection measures must be provided for the building structures and casks?

The operator of an interim storage facility must regularly perform maintenance measures, check for repair requirements and carry out appropriate measures as necessary. This includes preventive maintenance measures and periodic inspections (WKP), the type and frequency of which is determined according to the safety-related significance of a component. Specifications for the

inspections are laid down in the licenses of the individual facility or within the framework of authority's supervision. Since the detailed specifications are not uniformly specified in the set of rules and regulations, there may also be differences between the facilities.

An important system in an interim storage facility is the cask monitoring system, which monitors the tightness of the cask. A defective sensor can be replaced on site as well as a defective secondary cover seal. The corrosion protection of a cask can also be maintained on site. The future demand for Hot Cells is still unclear in the case that storage facilities will no longer be able to access the facilities of the associated nuclear power plant in the event of a repair of the primary seal.

The condition of the waste and installations inside the cask cannot be monitored directly. So far, there have been no regulatory requirements in this respect. However, as interim storage periods become longer and longer, the problem is also perceived internationally. In the coming years and decades, corresponding research programs for example in the USA will therefore also have to deal with the opening of single storage casks and the examination of the state of the interior and of the waste inside.

How can unnecessary transports of highly radioactive waste be avoided?

Obviously unnecessary transports are not permitted according to the radiation protection principles of justification, dose limitation and avoidance of unnecessary radiation exposure. The need for transport must therefore always be justified.

In the future, transports on public transport routes will continue to be necessary, whether for repair purposes, for transfer to another storage site or to a conditioning plant or for delivery to the future repository site. These transports are ultimately indispensable. The number and transport lengths result from the various options to be weighed for this purpose, which are currently still largely open and are related not only to technical and legal considerations but also to political and social considerations. For example, additional transports to reduce the number of storage site must be weighed against the advantages resulting from this reduction. The number and positioning of repair or conditioning plants will also influence the transport requirements. Last but not least, the question of social burden sharing, currently with regard to reprocessing waste returned from abroad, is linked to the transports to the interim storage facilities provided for this purpose.

Since interim and final disposal are dependent components of the waste management route the "Nationales Begleitgremium" is rightly focusing its attention also on the conditions for safe interim storage of high-level radioactive waste. At the latest with the transfer of interim storage facilities to state responsibility, there is a further linkage between the actors involved and the available financial resources. The following aspects in particular can benefit from the transparency and publicity provided by the Committee:

- ▶ transparently update the safety rules (and the basic principles of security) of the interim storage facilities
- ▶ make safety and protection level independent from economic efficiency issues
- ▶ maintain an effective system of checks and balances with strong and independent supervision
- ▶ demand research and exchange of experience
- ▶ regular safety assessments of the interim storage facilities, the results and consequences of which can also be used to communicate the safety status.
- ▶ keep the final disposal visible as the objective of nuclear waste management and thus counteract the "felt final disposal" at the interim storage sites

0 Veranlassung

Mit Schreiben des Umweltbundesamtes vom 12.10.2017 wurde das Öko-Institut mit der Erarbeitung einer gutachterlichen Stellungnahme für das Nationale Begleitgremium zu wichtigen sicherheitstechnischen Aspekten der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle beauftragt. Hintergrund des Informationsbedarfs des Nationalen Begleitgremiums ist der enge Zusammenhang des Themenkomplexes Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle mit dem derzeit beginnenden Standortauswahlprozess für ein Endlager für eben diese Abfallart. Bis zur Verfügbarkeit eines Endlagers sind die radioaktiven Abfälle sicher zwischenzulagern. Die Endlagerkommission hat in ihrem Abschlussbericht (Endlagerkommission 2016) hierfür den Begriff der „notwendigen Zwischenlagerung“ geprägt, um deutlich zu machen, dass die Zwischenlagerung kein Selbstzweck ist oder gar eine Entscheidung über ein Endlager ersetzen könnte und dass sie auf den unbedingt erforderlichen Zeitraum zu begrenzen ist.

Aufgrund der gegenüber bestehenden Genehmigungen erforderlichen längeren Dauer der Zwischenlagerung entstehen neue technische und gesellschaftliche Aufgaben und Herausforderungen, die frühzeitig und sorgfältig anzugehen sind, um eine sichere Verwahrung der hoch radioaktiven Abfälle zu gewährleisten, bis ein Endlager zur Verfügung steht.

Um wichtige Aspekte der sicheren Zwischenlagerung herauszuarbeiten, hat das Nationale Begleitgremium eine Reihe von Leitfragen formuliert, deren Beantwortung Gegenstand des hier vorgelegten Gutachtens ist.

In Kapitel 1 werden zunächst die grundsätzlichen Zusammenhänge zur Zwischenlagerung in sich geschlossen dargestellt. Kapitel 2 greift die vom Nationalen Begleitgremium formulierten Fragen im Einzelnen auf und beantwortet sie. Kapitel 3 enthält ein Fazit aus Sicht der AutorInnen. Die zitierte Literatur ist in Kapitel 4 zusammengestellt. Das Gutachten orientiert sich an den Grundsätzen:

- ▶ Allgemein verständliche Darstellung der technischen Sachverhalte.
- ▶ Umfassende Darstellung relevanter Positionen und Argumente.
- ▶ Fachliche Einordnung der dargestellten Positionen.
- ▶ Darlegung der verwendeten Referenzen und Verweis auf weiterführende Quellen.

Die „Gutachterliche Stellungnahme zu wichtigen sicherheitstechnischen Aspekten der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle“ wurde in einer ersten Fassung am 20.12.2017 vorgelegt. Das Nationale Begleitgremium hat am 13.01.2018 unter dem Titel „Zwischenlager ohne Ende“ einen Workshop ausgerichtet, bei dem das Gutachten zur Diskussion gestellt wurde. Die vorliegende Revision 01 greift Anregungen aus dem Workshop auf und aktualisiert den Inhalt aufgrund jüngster Entwicklungen, betreffend die Zwischenlager-Standorte Obrigheim und Rubenow, sowie zur Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle aus der Wiederaufarbeitung.

Revision 01 ersetzt die Fassung vom 20.12.2017 vollständig.

1 Zusammenhänge bei der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle

1.1 Überblick über die aktuelle Situation

International, z.B. im Rahmen der Berichterstattung zum „Gemeinsames Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle“¹ (der sogenannten „Joint Convention“) wird zwischen abgebrannten Brennelementen² einerseits und hoch radioaktiven Abfällen andererseits unterschieden, da viele Staaten abgebrannte Brennelemente nicht als Abfall, sondern als potenziell recyclebaren „Wertstoff“ einstufen, unabhängig davon, ob eine Wiederaufarbeitung tatsächlich stattfindet. In Deutschland wurde im Zusammenhang mit dem Atomausstieg ab 2005 die Abgabe abgebrannter Brennelemente an eine Wiederaufarbeitungsanlage untersagt und sie damit faktisch beendet. Abgebrannte Brennelemente werden in Deutschland daher wie andere hoch radioaktive Abfälle behandelt und sind für eine Endlagerung in tiefen geologischen Formationen vorgesehen. Im Standortauswahlgesetz (StandAG 2017) wird eine solche Unterscheidung daher nicht getroffen. Unter den Begriff der hoch radioaktiven Abfälle werden im hier vorgelegten Gutachten daher neben den hoch radioaktiven verglasten Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufarbeitung auch die abgebrannten Brennelemente gefasst. Wo fachlich geboten, wird im Folgenden auf Unterschiede zwischen den Abfalltypen explizit eingegangen.

Aufgrund ihrer aus dem radioaktiven Zerfall resultierenden Wärmeleistung werden hoch radioaktive Abfälle in Deutschland auch als „Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle“ bezeichnet. Die bei der Wiederaufarbeitung ebenfalls angefallenen mittelradioaktiven Abfälle, im Wesentlichen bestehend aus hochdruck-kompaktierten Hülssen und Strukturteilen der aufbereiteten Brennelemente, zählen ebenfalls zu den Wärme entwickelnden radioaktiven Abfällen. Sie sollen gemeinsam mit hoch radioaktiven Abfällen zwischengelagert werden und sind für den gleichen Entsorgungsweg, d.h. für die Endlagerung in einer tiefen geologischen Formation, vorgesehen. Es ist daher sinnvoll, diese Abfälle in die Betrachtung des Gesamtkomplexes der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle einzuschließen.

Abbildung 1 illustriert den Weg der hoch radioaktiven Abfälle aus dem Kernkraftwerk ins Endlager. Er beginnt mit der Entladung abgebrannter Brennelemente aus dem Reaktorkern. Je nach Bauart des Kernkraftwerks fallen unterschiedliche Typen an Brennelementen an. Brennelemente aus den in Deutschland verwendeten sogenannten Leichtwasserreaktoren³ verbleiben anschließend noch mehrere Jahre unmittelbar im Reaktorgebäude⁴. Dort werden sie im sogenannten Abklingbecken unter Wasser eingelagert. Die Nasslagerung dient dem Abklingen der anfänglichen Radioaktivität und Wärmeleistung auf ein Niveau, das die Umlagerung der abgebrannten Brennelemente in sogenannte Transport- und Lagerbehälter erlaubt.

Bis zum Jahr 2005 wurden abgebrannte Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken zur Wiederaufarbeitung nach Frankreich oder Großbritannien verbracht. Hieraus resultieren drei weitere Abfallströme radioaktiver Abfälle: Zum einen entstehen unmittelbar aus der Wiederaufarbeitung hoch

¹ Der deutsche Bericht zur „Joint Convention“ ist über das Bundesumweltministerium öffentlich zugänglich (BMUB 2017).

² häufig auch als auch „bestrahlte“, „ausgediente“ oder „verbrauchte“ Brennelemente, im englischen als „spent fuel“ oder „used fuel“ bezeichnet

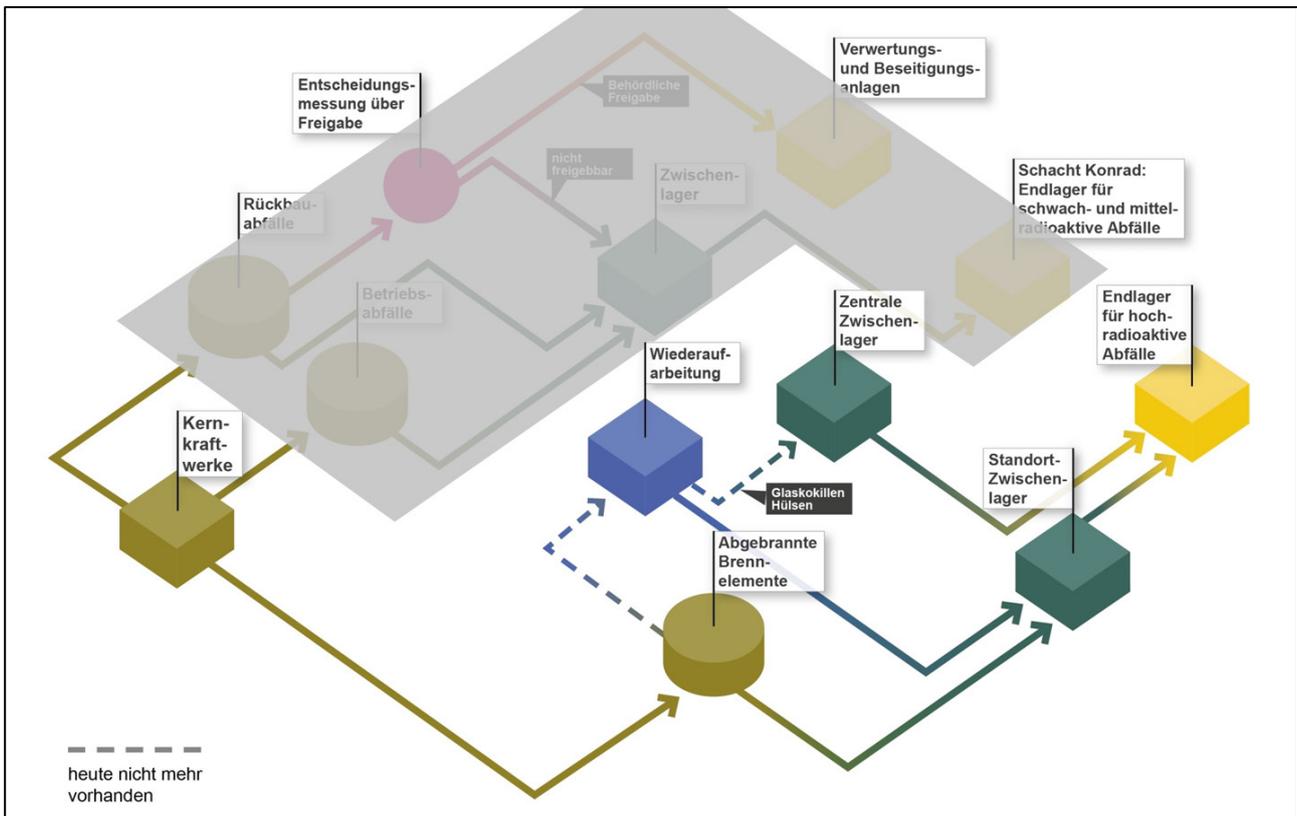
³ Hierzu gehören Druck- und Siedewasserreaktoren westlicher Bauart sowie die ehemaligen Druckwasserreaktoren der DDR russischer Bauart.

⁴ Das 2005 abgeschaltete Kernkraftwerk Obrigheim verfügte, hiervon abweichend, über ein externes Nasslagerbecken in einem vom Reaktor getrennten Gebäude.

radioaktive Lösungen abgetrennter Spaltprodukte, die in eine Glasschmelze eingegossen und in Edelmetallkokillen abgefüllt werden, in denen die Glasschmelze erstarrt. Zum anderen fallen bei diesem Prozess die bereits erwähnten Kokillen mit Hüllen und Strukturteilen sowie verglaste mittelradioaktive Lösungen an.

Aus der Nutzung von Plutonium aus der Wiederaufarbeitung in sogenannten MOX-Kernbrennstoffen stammen die abgebrannten MOX-Brennelemente, die zum Abfallstrom der abgebrannten Brennelemente gehören und sich von abgebrannten Uran-Brennelementen durch eine höhere Aktivität und Wärmeleistung unterscheiden. Aus der in Deutschland seit Ende der 1980er Jahre nicht mehr verfolgten Techniklinie der Hochtemperaturreaktoren⁵ stammen abgebrannte Brennelemente in Kugelform mit einer im Wesentlichen aus Graphit bestehenden Brennstoffmatrix.

Abbildung 1: Vom Kernkraftwerk ins Endlager: die Wege des hochradioaktiven Abfalls - vereinfachte Darstellung ohne Konditionierungsschritte



Quelle: Öko-Institut (Bildrechte: CC BY-SA 2.0). Die grau überblendeten Wege sind nicht Gegenstand des hier vorgelegten Gutachtens.

Eine durch den Ausstieg aus der Kernenergienutzung feststehende oder zumindest sehr gut abschätzbare Größe ist das Gesamtaufkommen an hochradioaktiven Abfällen in Deutschland. Der aktuelle Bericht der Bundesregierung zur „Joint Convention“ (BMUB 2017) weist mit Stichtag 31.12.2016 aus, dass aktuell etwa 4.900 Mg SM⁶ in abgebrannten Brennelementen in den Zwischenlagern aufbewahrt werden. Hinzu kommen etwa 3.600 Mg SM in den Lagerbecken der

⁵ In Deutschland wurden in dieser Technik der AVR in Jülich und der THTR in Hamm-Uentrop betrieben.

⁶ Die Einheit „Mg SM“ („Tonne Schwermetall“) beschreibt nicht die Masse kompletter Brennelemente, sondern die Masse an Uran und Plutonium bzw. Thorium in Brennelementen.

Kernkraftwerke⁷. Bis zur Abschaltung der letzten Kernkraftwerke spätestens zum Jahresende 2022 werden weitere rd. 1.700 Mg SM prognostiziert. Damit werden nach dem Atomausstieg in Summe etwa 10.200 Mg SM in deutschen Zwischenlagern auf ihre Endlagerung warten. Außerdem lagern derzeit etwa 580 m³ an hoch radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung⁸ in deutschen Zwischenlagern, die mit der Rückführung der letzten Abfälle aus Frankreich und Großbritannien noch auf etwa 700 m³ anwachsen werden. Hinzu kommen außerdem noch ca. 740 m³ an mittel radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung. Insgesamt werden zur Lagerung dieser Abfälle etwa 1.400 Behälter benötigt.

Abgebrannte Brennelemente aus Forschungsreaktoren stellen dem gegenüber eine mengenmäßig kleine Fraktion dar. Sie wurden in der Vergangenheit nach der Beendigung des Einsatzes meist in das Ursprungsland ihrer Herstellung zurückgeliefert. Aus diesem Grund lagern derzeit ausschließlich abgebrannte Brennelemente (in Summe 2,3 Mg SM in 18 Behältern vom Typ CASTOR® MTR 2) des ehemaligen DDR-Forschungsreaktors VKTA Rossendorf im Zwischenlager Ahaus (BMUB 2017). Kleinere Mengen an abgebrannter Brennelemente lagern außerdem noch an den Standorten der Forschungsreaktoren in Berlin (BER II, 62 kg SM), Garching (FRM II, 278 kg SM) und Mainz (FRMZ, rd. 0,8 kg SM). Mit dem im Atomgesetz (AtG) §3(6) nunmehr verankerten bedingten Exportverbot sollen die abgebrannten Brennelemente aus Berlin und Garching ebenfalls nach Ahaus verbracht werden (BMUB 2017)⁹. Ein besonderes Problem stellen dabei die abgebrannten Brennelemente aus dem Forschungsreaktor FRMII dar, die aufgrund ihres sehr hohen Anreicherungsgrades an spaltbarem Uran-235 hohe Anforderungen an Sicherheit und Sicherung stellen¹⁰. Die Brennelemente des Mainzer Forschungsreaktors bleiben zunächst bis zu seiner vollständigen Außerbetriebnahme vor Ort.

Hoch radioaktive Abfälle werden für die Zwischenlagerung in Behälter verpackt, die sowohl den sicheren Transport der Abfälle als auch ihre sichere Zwischenlagerung ermöglichen. In Deutschland kommen als Transport- und Lagerbehälter im Wesentlichen Behälter des Typs CASTOR® zum Einsatz¹¹. Für die unterschiedlichen Typen von Brennelementen und die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden verschiedene Bauformen verwendet. Ihnen gemeinsam ist der dickwandige Behälterkörper aus Gusseisen mit Kugelgraphit (sogenannter Sphäroguss), der aus einem einzelnen Gusseisenblock gefertigt wird. In die Wandung und den Boden des Behälters wird Polyethylen in Form von sogenannten Moderatorstäben bzw. einer Moderatorplatte eingearbeitet, die der Abschirmung von Neutronen aus den eingelagerten Kernbrennstoffen dienen. Verschlössen werden CASTOR®-Behälter mit einem System aus einer weiteren Moderatorplatte aus Polyethylen und zwei Deckeln aus Stahl. Zwischen dem inneren Primärdeckel und dem äußeren Sekundärdeckel wird ein Überdruck erzeugt; mit einem Druckschalter kann dadurch die Dichtheit der Deckel überwacht werden¹². Die typischen Radialrippen in der Mantelfläche der meisten CASTOR®-Typen dienen der Vergrößerung der äußeren Oberfläche zur besseren Wärmeabgabe an die Umgebungsluft. Außen angeschraubte Tragzapfen ermöglichen die Handhabung des Behälters.

⁷ Ein Teil dieser Menge befand sich am Stichtag des Berichts zur Joint Convention noch im Reaktorkern des stillgelegten Kernkraftwerks Brunsbüttel.

⁸ In den hoch radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung ist kein Kernbrennstoff enthalten, daher wird hier in der Regel das Volumen der Abfälle angegeben.

⁹ siehe dort, Seite 62

¹⁰ Das Nationale Begleitgremium hat diesbezüglich ein eigenes Gutachten in Auftrag gegeben, das zum Stichtages dieses Gutachtens noch nicht öffentlich vorliegt.

¹¹ Für Wiederaufarbeitungsabfälle aus Frankreich wurden auch französische Behälter eingesetzt, die heute im Transportbehälterlager Gorleben zwischengelagert sind. Es handelt sich um 12 Behälter vom Typ TN 85V® und einen vom Typ TS 28V®, die jeweils mit Glaskokillen gefüllt sind.

¹² Eine Beschreibung des sogenannten Doppeldeckeldichtsystems findet sich beispielsweise in (EnBW Kraftwerke AG 2008).

Die in den Zwischenlagern in Deutschland für die hoch radioaktiven Abfälle verwendeten Behälter sind auf mechanische und thermische Einwirkungen bei Lagerung und Transport ausgelegt und sollen diese Abfälle auch im Fall sehr hoher Beanspruchungen (z.B. den mechanischen Beanspruchungen bei einem Flugzeugabsturz auf das Lager und einem nachfolgenden Kerosinbrand) sicher einschließen. In den Zwischenlagern stellen sie die zentrale Barriere und den wesentlichen Schutz bei Störfällen dar.

In Deutschland existieren derzeit Zwischenlager für hoch radioaktive Abfälle an insgesamt 16 Standorten in sieben Bundesländern:

- ▶ Schleswig-Holstein: Standortzwischenlager Brunsbüttel¹³, Brokdorf und Krümmel
- ▶ Niedersachsen: Standortzwischenlager Unterweser, Grohnde und Lingen, Zentrales Zwischenlager Gorleben
- ▶ Mecklenburg-Vorpommern: zentrales Zwischenlager Rubenow (Zwischenlager Nord, ZLN)
- ▶ Nordrhein-Westfalen: Zentrales Zwischenlager Ahaus, AVR-Behälterlager Jülich¹⁴
- ▶ Hessen: Standortzwischenlager Biblis
- ▶ Baden-Württemberg: Standortzwischenlager Philippsburg und Neckarwestheim, Nasslager Obrigheim¹⁵
- ▶ Bayern: Standortzwischenlager Grafenrheinfeld, Isar und Gundremmingen

Die Unterscheidung zwischen Standortzwischenlagern und zentralen Zwischenlagern geht auf die ursprünglich von den Kernkraftwerksbetreibern verfolgte Strategie zurück, die hoch radioaktiven Abfälle in zentralen Zwischenlagern an den Standorten Ahaus und Gorleben zu konzentrieren. In Rubenow entstand zur Aufnahme der abgebrannten Brennelemente aus den ehemaligen DDR-Kernkraftwerken Greifswald und Rheinsberg ein weiteres zentrales Zwischenlager.

Im Zusammenhang mit dem Atomausstiegsbeschluss aus dem Jahr 2000, dem Verbot der Wiederaufarbeitung und der Vereinbarung, Transporte abgebrannter Brennelemente bis zur Verfügbarkeit eines Endlagers zu vermeiden, wurde Anfang der 2000er Jahre die Errichtung der heutigen Standortzwischenlager notwendig. Sie wurden überwiegend in den Jahren 2006 und 2007 in Betrieb genommen. Die bis dato ausschließlich aus Frankreich zurückgeführten hoch radioaktiven Wiederaufarbeitungsabfälle wurden im zentralen Zwischenlager Gorleben eingelagert. Für die letzten noch ausstehenden Wiederaufarbeitungsabfälle werden zukünftig vier Standortzwischenlager genutzt: Philippsburg für verglaste mittel radioaktive Abfälle aus Frankreich sowie Biblis, Brokdorf und Isar für verglaste hoch radioaktive Spaltprodukte aus Großbritannien (BMUB 2015c). Für hochdruck-kompaktierte mittel radioaktive Abfälle (Hülsen und Strukturteile), die ebenfalls aus Frankreich rückgeführt werden müssen, wurde bereits 2006 eine Zwischenlagerung im TBL-A in Ahaus beantragt¹⁶.

Die in Deutschland errichteten Zwischenlager für hoch radioaktive Abfälle folgen im Wesentlichen drei technischen Konzepten: Die von der Firma WTI konzipierten und an den norddeutschen Standorten realisierten Zwischenlager verfügen über eine Wandstärke von ca. 0,85 m und eine Deckenstärke von ca. 0,55 m. Zwischenlager der Firma STEAG sind mit einer Wandstärke von 1,20 m und einer Deckenstärke 1,30 m dickwandiger ausgeführt. Im WTI-Konzept wird die Lagerhalle in zwei Längskompartimente unterteilt (zweischiffiges Gebäude), während das STEAG -Konzept eine einzelne (einschiffige) Lagerhalle aufweist. Obwohl die Sicherheit eines Zwischenlagers durch das

¹³ Das Zwischenlager Brunsbüttel verfügt nach einem Urteil des OVG Schleswig (OVG Schleswig-Holstein AZ: 4 KS 3/08.) derzeit nicht über eine gültige Aufbewahrungsgenehmigung.

¹⁴ Genehmigung zum 30.06.2013 ausgelaufen und bis dato nicht neu erteilt.

¹⁵ Das Nasslager Obrigheim ist seit Dezember 2017 vollständig geräumt (EnBW Kraftwerke AG 2017)

¹⁶ siehe <http://www.gns.de/language=de/15723/transport>, zuletzt aufgerufen 18.01.2017

Gesamtsystem zu gewährleisten ist, wird in der Sicherheitsdiskussion häufig die Wand- und Deckenstärke der Lagerhallen als Vergleichsparameter angeführt¹⁷, bzw. als Indikator für die Auslegung gegen naturbedingte oder menschengemachte äußere Einwirkungen¹⁸ oder einen terroristischen Angriff auf ein Zwischenlager¹⁹. Allerdings ist zu beachten, dass die Wand- und Deckenstärke alleine kein abdeckendes Robustheitskriterium darstellt. Vielmehr ist das Zusammenwirken des Gesamtsystems aus Gebäude und Behältern mit den darin enthaltenen Abfällen und ihren spezifischen Barrieren zum Einschluss der radioaktiven Stoffe sowie ggf. weiteren Sicherungseinrichtungen zu betrachten. Im Hinblick auf das Gebäude (als Teilsystem) sind beispielsweise auch Auslegungsmerkmale wie die Bewehrung der Stahlbetonbauteile oder die Gesamtkonstruktion zu berücksichtigen.

Das WTI-Konzept wurde an den süddeutschen Standorten Biblis, Grafenrheinfeld, Gundremmingen, Isar und Philippsburg realisiert. Außerdem entsprechen das bereits 1983 fertig gestellte Transportbehälterlager Gorleben (TBL-G) und das aus dem Jahr 1990 stammende Transportbehälterlager Ahaus (TBL-A) diesem Typ, allerdings mit geringerer Wandstärke (TBL-G 0,2 bis 0,5 m, TBL-A 0,4 bis 0,5 m). Im Zwischenlager Nord (ZLN) in Rubenow bei Lubmin (Fertigstellung 1997) dient derzeit noch²⁰ ein Hallenschiff des insgesamt achtschiffigen Komplexes als sogenannte Halle 8 der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle. Aufgrund seiner Außenwandstärke von 0,7 m zählt es ebenso zu den Zwischenlagern mit geringerer Wandstärke. Das STEAG-Konzept mit seiner größeren Wandstärke kennzeichnet die norddeutschen Standortzwischenlager Brokdorf, Brunsbüttel, Grohnde, Krümmel, Lingen und Unterweser.

Das am Kernkraftwerksstandort Neckarwestheim realisierte und 2006 in Betrieb genommene Zwischenlager stellt einen Sonderfall dar. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten mit Lage des Kernkraftwerkstandorts in einem ehemaligen Steinbruch wurde das Zwischenlager hier unterirdisch in Tunnelbauweise errichtet (Tunnelkonzept). Zwei Tunnelröhren dienen der Lagerung der CASTOR®-Behälter, die erwärmte Abluft wird durch einen Schacht abgeführt.

Allen Konzepten gemeinsam ist das System der passiven „Naturzugkühlung“, d.h. die von den Lagerbehältern abgegebene Wärme heizt die Umgebungsluft auf, die dadurch aufsteigt und über Dachöffnungen abgeführt wird. Durch diese Form der Konvektion wird gleichzeitig die Zufuhr kühler Frischluft durch Lufteinlässe auf Höhe der Behälterbasis provoziert. Auf diese Weise hält die Wärmeleistung der Behälter eine kontinuierliche Luftströmung in Gang, ohne das hierfür ein Gebläse benötigt wird.

Ein weiterer Sonderfall ist das AVR-Behälterlager in Jülich, in dem seit 1993 ausschließlich die abgebrannten Brennelementkugeln des ehemaligen Jülicher Hochtemperaturreaktors AVR zwischengelagert werden. Die Aufbewahrungsgenehmigung dieses Lagers war bis zum 30. Juni 2013 befristet und ist mit diesem Datum abgelaufen. Die CASTOR®-Behälter für die AVR-Brennelemente befinden sich derzeit noch in dem Lager, neben einem Neubau werden ein Transfer in das Transportbehälterlager Ahaus und eine Abgabe in das Herkunftsland USA diskutiert²¹.

Das Nasslager am Standort Obrigheim wurde bis Dezember 2017 sukzessive geleert (EnBW Kraftwerke AG 2017). Die darin gelagerten abgebrannten Brennelemente wurden in insgesamt 15 CASTOR®-Behälter verladen und anschließend zur trockenen Zwischenlagerung in das Zwischenlager

¹⁷ siehe diesbezüglich die Zusammenstellung von Daten im Atommüllreport unter <http://www.atommuellreport.de>

¹⁸ „Einwirkungen von außen (EVA)“, näheres hierzu siehe Kapitel 2.1.1.

¹⁹ „Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD)“, näheres hierzu siehe Kapitel 2.1.2.

²⁰ EWN hat im Dezember 2017 angekündigt, die Halle 8 durch einen Neubau zu ersetzen (FOCUS online 2017).

²¹ zur Genehmigungssituation siehe Kapitel 2.1.2

am Standort Neckarwestheim transportiert. Mit dem Transfer nach Neckarwestheim wird der Bau eines trockenen Zwischenlagers für die relativ geringe Zahl von Behältern am Standort Obrigheim vermieden.

Die Aufbewahrungsgenehmigungen der trockenen Zwischenlager für hoch radioaktive Abfälle sind auf einen Zeitraum von 40 Jahren befristet, beginnend mit der Einlagerung des ersten Behälters.

Hieraus ergeben sich folgende Enddaten (BMUB 2017):

- ▶ derzeit ohne Genehmigung: Standortzwischenlager Brunsbüttel, AVR-Behälterlager Jülich
- ▶ bis 2034 genehmigt: Transportbehälterlager Gorleben
- ▶ bis 2036 genehmigt: Transportbehälterlager Ahaus
- ▶ bis 2039 genehmigt: Halle 8 im Zwischenlager Nord Rubenow
- ▶ bis 2042 genehmigt: Standortzwischenlager Lingen
- ▶ bis 2046 genehmigt: Standortzwischenlager an den Standorten Biblis , Grafenrheinfeld, Grohnde, Gundremmingen, Krümmel, Neckarwestheim
- ▶ bis 2047 genehmigt: Standortzwischenlager an den Standorten Brokdorf, Isar, Philippsburg, Unterweser.

Neben den Zwischenlagergebäuden sind auch die Genehmigungen der einzelnen Behälter auf 40 Jahre befristet, beginnend mit ihrer Beladung. So heißt es beispielsweise in einem beim BfE veröffentlichten Dokument zum Regelungsinhalt der Aufbewahrungsgenehmigung für das TBL-G (BfE 2010): *„Die radioaktiven Inventare dürfen in den einzelnen Behältern für einen Zeitraum von maximal 40 Jahren aufbewahrt werden. Die Frist beginnt mit dem Verschließen des jeweiligen Behälters bei der Beladung.“*

Behältergenehmigungen und Zwischenlageregenehmigungen sind zeitlich nicht deckungsgleich, allerdings läuft die Genehmigungsfrist der Zwischenlager in den meisten Fällen früher ab als die der eingelagerten Behälter. Die Endlagerkommission nennt hier eine Ausnahme (Endlagerkommission 2016): Im Zwischenlager Ahaus lagern 305 Behälter mit Brennelementen aus dem ehemaligen THTR Hamm-Uentrop, deren Genehmigung bereits 2032 abläuft, also vier Jahre vor der Genehmigung des Zwischenlagers.

1.2 Sicherheitsanforderungen und Sicherheitsphilosophie der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle

Die Entsorgungskommission (ESK) hat in ihren „Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Behältern“ (ESK 2013b) die zentralen Merkmale einer sicheren Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle beschrieben.

Die Schutzziele bei der Zwischenlagerung gehen auf die Grundpflichten des Strahlenschutzes zurück²²:

- ▶ Vermeidung unnötiger Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt.
- ▶ Minimierung jeder Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt auch unterhalb festgesetzter Grenzwerte.

Um dies zu gewährleisten, muss die Zwischenlagerung folgende Schutzziele dauerhaft erreichen:

- ▶ sicherer Einschluss der in den Abfällen enthaltenen radioaktiven Stoffe,
- ▶ sichere Abfuhr der in den Abfällen entstehenden Zerfallswärme,
- ▶ sichere Einhaltung der Unterkritikalität,

²² § 6 StrlSchV, zukünftig § 8 StrlSchG

- ▶ Vermeidung unnötiger Strahlenexposition, Begrenzung und Kontrolle nicht vermeidbarer Strahlenexposition des Betriebspersonals und der Bevölkerung.

Der Einschluss der radioaktiven Stoffe ist dabei durch den Behälter und die Barrierewirkung der darin befindlichen Abfälle (keramische Kernbrennstoffmatrix, Spaltproduktglas) und ihrer Umhüllungen (Brennstabhüllrohre, Stahlkokillen) sicherzustellen. Die Dichtheit der Behälter wird durch Druckschalter im Doppeldeckeldichtsystem des Behälterverschlusses überwacht (s.o.). Das Zwischenlagergebäude dient dabei nicht unmittelbar dem Einschluss, sondern es schützt die Abfallbehälter vor Einwirkungen von außen und trägt damit mittelbar zur Aufrechterhaltung des Einschlusses während der Zwischenlagerung bei.

Einhaltung der Unterkritikalität bedeutet, dass die Anwesenheit und Anordnung spaltbarer Stoffe in den Behältern zu keinem Zeitpunkt eine Kettenreaktion hervorrufen darf. Erreicht wird dies durch die Art des eingesetzten Inventars²³, durch Anzahl und Anordnung der abgebrannten Brennelemente im Behälter und/oder durch Einbau von zusätzlichen Neutronenabsorbern. Dabei ist wichtig, dass Bauteile, die die radioaktiven Stoffe umschließen und für eine vorgegebene geometrische Anordnung sorgen, während der gesamten Zeit der Zwischenlagerung erhalten bleiben. Auch um eine Korrosion dieser Bauteile zu vermeiden, müssen Behälter nach der Beladung getrocknet werden, außerdem wird die Luft im Behälter durch Helium als inertes Schutzgas ersetzt. Auch für Störfälle, die dazu führen könnten, dass der Behälter von Wasser umgeben ist, sowie für den hypothetischen Fall, dass Behälter mit Wasser geflutet werden, ist die Unterkritikalität zu nachzuweisen.

Die Abfuhr der Zerfallswärme, die aus dem Zerfall insbesondere der in den Abfällen enthaltenen radioaktiven Spaltprodukte entsteht, erfolgt über die Kühlrippen der Behälter und die Naturzugkühlung der Lagerhallen wie bereits weiter oben beschrieben (Kapitel 1.1). Ein wichtiges Merkmal der trockenen Zwischenlager besteht darin, dass zur Wärmeabfuhr keine aktiven Maßnahmen erforderlich sind. Gegenüber der Nasslagerung in Becken, die zur Kühlung auf eine aktive Kreislaufführung und Aufbereitung des Beckenwassers angewiesen sind, stellt dies einen deutlichen Sicherheitsgewinn dar. Dieser kommt insbesondere bei Störfällen zum Tragen, die zu einem Ausfall eines aktiven Kühlkreislaufs führen, sei es durch Ausfall der Pumpen bei einem länger anhaltenden Ausfall der Energieversorgung, oder durch Verlust von Kühlwasservorräten. Auslöser können beispielsweise Erdbeben oder ein Flugzeugabsturz sein (siehe auch Kapitel 2.1.)

Zur Vermeidung bzw. Minimierung einer Strahlenexposition muss die von den Abfällen ausgehende radioaktive Strahlung abgeschirmt werden. In erster Linie dient hierfür der Behälter. Die von ihm geleistete Abschirmung ermöglicht seine Handhabung unter Einhaltung der Strahlenschutzvorschriften. Das Zwischenlagergebäude trägt zur Abschirmung nach außen bei. Für den betrieblichen Strahlenschutz, z.B. bei längerem Umgang mit den Abfallbehältern, können Bedienerkabinen für Hebezeuge oder Transporteinrichtungen zusätzliche Abschirmungen aufweisen. Zum Schutz der Bevölkerung außerhalb der Anlage können außerdem zusätzliche Vorkehrungen notwendig sein, z.B. ein Erdwall um das TBL-G. Insgesamt muss dabei der Grenzwert nach § 46 StrlSchV von 1 mSv/a für die effektive Dosis von Einzelpersonen der Bevölkerung sicher eingehalten werden, und zwar als „Summe der Strahlenexposition aus der Direkt- und Streustrahlung des Zwischenlagers und unter Einbeziehung von Beiträgen zur Strahlenexposition aus Ableitungen, Direkt- und Streustrahlung aller am Standort beitragenden kerntechnischen Anlagen sowie aus früheren Tätigkeiten“.

²³ Spaltproduktgläser aus der Wiederaufarbeitung sind hiervon nicht betroffen, da sie keinen spaltbaren Kernbrennstoff enthalten.

1.3 Überblick über die Zuständigkeiten

Mit Umsetzung des Entsorgungsübergangsgesetzes (EntsorgÜG 2017) ändern sich in Deutschland auch die Zuständigkeiten für die Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle. Bis zum 31.07.2017 wurden die zentralen Zwischenlager Gorleben und Ahaus sowie die insgesamt zwölf Standortzwischenlager an den Kernkraftwerksstandorten in Eigenverantwortung der Kernkraftwerksbetreiber betrieben. Für die Zwischenlager Gorleben und Ahaus bedienten sie sich dabei der in ihrem Besitz befindlichen Gesellschaft für Nuklearservice mbH (GNS).

Das Zwischenlager Nord und das AVR-Behälterlager Jülich befinden sich über die in Bundesbesitz befindliche Gesellschaft Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH (EWN) bereits im Verantwortungsbereich des Bundes. Die EWN entstand im Zuge der deutschen Wiedervereinigung unter dem Namen „Energiewerke Nord“ als Rechtsnachfolgerin der ehemaligen staatlichen DDR-Kernkraftwerke Greifswald und Rheinsberg. Die EWN wird vom Bundesfinanzministerium verwaltet.

Zukünftig ist die sichere Zwischenlagerung aller hoch radioaktiven Abfälle eine staatliche Aufgabe. Seit 01.08.2017 befindet sich die durch Ausgründung aus der GNS²⁴ hervorgegangene Gesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ) mit den beiden Zwischenlagern Gorleben und Ahaus und Firmensitz in Essen in Bundesbesitz. Diese Gesellschaft soll zum 01.01.2019 auch die Standortzwischenlager für hoch radioaktive Abfälle²⁵ übernehmen. Die BGZ wird dabei vom Bundesumweltministerium verwaltet.

Der Status der EWN wurde durch das Entsorgungsübergangsgesetz nicht geändert, so dass zukünftig zwei bundeseigene Gesellschaften Verantwortung bei der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle tragen.

Mit dem Übergang der Zwischenlager geht auch die sogenannte „Handlungspflicht für die Entsorgung“ vollständig an den Staat über. Bis dato begann die staatliche Zuständigkeit mit der Abgabe an ein Endlager, zukünftig beginnt sie also mit der Abgabe an ein staatliches Zwischenlager. Dies gilt im Übrigen auch für die Rückführung der Wiederaufarbeitungsabfälle aus Frankreich und Großbritannien: Erst mit Abgabe an das jeweils vorgesehene Zwischenlager geht die Verantwortung an den Staat über, für die Rückführung selbst sind nach wie vor die Energieversorgungsunternehmen verantwortlich.

Den Betreibergesellschaften BGZ und EWN steht als Regulierungs- und Genehmigungsbehörde das Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) gegenüber, das bereits im Jahr 2014 im Zusammenhang mit dem Standortauswahlgesetz und begleitenden Änderungen des Atomgesetzes gegründet wurde. Dem neuen Bundesamt werden seit 2016 die diesbezüglichen Aufgaben des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) übertragen. Beim BfS verblieben sind die Kompetenzen im Bereich des betrieblichen und vorsorgenden Strahlenschutzes.

Die unmittelbare behördliche Aufsicht über die Zwischenlager wird von den Bundesländern wahrgenommen. Je nach Ressortzuschnitt sind hierfür unterschiedliche Landesministerien zuständig. In der Regel ist die Atomaufsicht bei dem jeweils für Umweltschutz zuständigen Landesministerium angesiedelt, so in Schleswig Holstein, Niedersachsen, Hessen, Baden-Württemberg und Bayern. In Nordrhein-Westfalen ist das Wirtschaftsministerium für die Aufsicht über das TBL-A in Ahaus und das AVR-Behälterlager Jülich zuständig. Für das ZLN in Rubenow führt das Justizministerium des Landes Mecklenburg-Vorpommern die Aufsicht.

²⁴ Die GNS ist nach Ausgründung der BGZ weiter gewerblich im Bereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle tätig.

²⁵ Zum 01.01.2020 wird die BGZ zusätzlich auch die Zwischenlager für nicht wärmeentwickelnde (schwach- und mittelradioaktive) Abfälle übernehmen.

Eine längerfristige Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle benötigt nicht zuletzt auch stabile gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, in denen die verantwortlichen Akteure (Gesetzgeber, Behörden, Betreiber) technisch, personell und auch finanziell in der Lage sind, die Sicherheit der Zwischenlagerung aufrecht zu erhalten. Derzeit steht die Gewährleistung derartiger Rahmenbedingungen in Deutschland nicht in Frage. Die Abhängigkeit von stabilen gesellschaftlichen Verhältnissen ist allerdings ein zentraler Grund, warum die Zwischenlagerung keine langfristige Strategie sein kann: Niemand kann die Gewähr dafür übernehmen, dass die hoch radioaktiven Abfälle über Generationen hinweg in einem gesellschaftlich stabilen Umfeld aufbewahrt werden können, was diverse Krisen und bewaffnete Auseinandersetzungen in Europa und weltweit in den letzten Jahrzehnten klar veranschaulichen. Daher bleibt, unabhängig von der letztlich notwendigen Dauer einer Zwischenlagerung, eine von gesellschaftlichen Veränderungen unbeeinflusste, und hinsichtlich der Sicherheit auch unbeeinflussbare, geologische Endlagerung das Ziel.

1.4 Zwischenlagerung als Bestandteil des Entsorgungsmanagements (Zwischenlagerung, Abfallbehandlung, Transporte, Endlagerung)

Die Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle ist integraler Bestandteil des Entsorgungsmanagements. Es ist breiter, auch internationaler, Konsens, dass die Zwischenlagerung dabei nicht mehr als eine Vorstufe zu einer dauerhaften Entsorgungslösung sein darf. In Deutschland steht mit dem Verbot der Wiederaufarbeitung die direkte (d.h. ohne vorherige Behandlung der abgebrannten Brennelemente) Endlagerung als Ziel des Entsorgungsmanagements fest.

CASTOR®-Behälter sind zur Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle zugelassen. Sie verfügen außerdem über eine verkehrsrechtliche Zulassung für den Transport auf öffentlichen Verkehrswegen (Straße, Schiene, Schiff), können also in ihrem heutigen Zustand transportiert werden. Die verkehrsrechtlichen Zulassungen waren bisher auf drei bis zehn Jahre befristet und müssen regelmäßig erneuert werden (siehe z.B. (ESK 2015) bezüglich der Problematik, entsprechende Verlängerungen der Zulassungen über die gesamte Lagerzeit wiederholt herbeizuführen oder am Ende wieder herzustellen). Seit neuestem werden in der Behälterzulassung Lösungen angestrebt, für Behältertypen, die nicht mehr gebaut und nicht regelmäßig für Transportzwecke verwendet werden, Zulassungen zu erteilen, die deutlich über die Frist von zehn Jahren hinaus gehen. Bei entsprechenden regelmäßigen Sicherheitsnachweisen sollen auch Zulassungsdauern bis zum Abschluss der Zwischenlagerung möglich sein.

Die heute betriebenen Standortzwischenlager entstanden aus der Vereinbarung heraus, Transporte abgebrannter Brennelemente bis zur Bereitstellung eines Endlagers zu vermeiden. Anlass dafür war insbesondere der erhebliche öffentliche Widerstand gegen Transporte zu den Wiederaufarbeitungsanlagen und zum Zwischenlager Gorleben. Allerdings sind solche Transporte durch die gesetzlichen Regelungen nicht völlig ausgeschlossen, wie die aktuellen Transporte von Obrigheim nach Neckarwestheim zeigen (s. Kapitel 1.1). Sie sind möglich, da Neckarwestheim als „standortnahes“ Zwischenlager gilt, so dass der Fall durch die Regelungen des Atomgesetzes abgedeckt ist.

In größerem Umfang wurden und werden, aufgrund entsprechender Rücknahmeverpflichtungen, hoch radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung transportiert. Dabei handelte es sich in der Vergangenheit um Transporte aus der Anlage im französischen La Hague ins TBL-G und aus der stillgelegten Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) ins ZLN. Derartige Transporte ins TBL-G und ins ZLN werden zukünftig nicht mehr stattfinden. In den kommenden Jahren sind noch ein Transport aus La Hague zum Kernkraftwerk Philippsburg und Transporte aus der britischen

Wiederaufarbeitungsanlage in Sellafield zu den drei Zwischenlagern der Kernkraftwerke Biblis, Brokdorf und Isar geplant (BMUB 2015c).

Transporte auf öffentlichen Verkehrswegen²⁶ können zukünftig erforderlich werden, wenn

- ▶ ein Behälter zu Reparaturzwecken in eine Anlage außerhalb des Zwischenlagerstandorts gebracht werden muss, weil entsprechende Einrichtungen vor Ort nicht (oder nicht mehr)²⁷ zur Verfügung stehen;
- ▶ ein Zwischenlager nach Ablauf seiner Genehmigung geräumt wird und die Behälter in ein anderes Zwischenlager überführt werden müssen;
- ▶ Behälter nach Ablauf ihrer Behältergenehmigung nicht weiter verwendet werden können und der Inhalt demzufolge in einer hierfür geeigneten und genehmigten Anlage an einem anderen Standort umgepackt (und ggf. konditioniert) werden muss;
- ▶ ein Eingangslager am zukünftigen Endlagerstandort in Betrieb geht.

Obwohl auch grundsätzliche Betrachtungen zur direkten Endlagerung der CASTOR®-Behälter im Endlagermedium Salz erfolgten, sind diese hierfür bisher nicht zugelassen. Es ist also anzunehmen, dass die hoch radioaktiven Abfälle vor ihre Endlagerung erneut fachgerecht verpackt werden müssen. In der Vergangenheit wurden Konzepte mit dem sogenannte POLLUX®-Behälter für eine horizontale Endlagerung oder die BSK-3-Kokille für eine vertikale Endlagerung konzeptuell entwickelt. In beiden Fällen würden die Brennelemente in einzelne Brennstäbe zerlegt und umgelagert, was eine Konditionierungsanlage erfordert. In dieser Anlage würden sogenannte „Heiße Zellen“ benötigt, in denen Behälter unter Einhaltung der Strahlenschutzvorschriften geöffnet sowie die Abfälle entladen und gehandhabt werden können.

Die beiden hier genannten Endlager-Behältertypen sind für das Wirtsgestein Salz entwickelt worden. Mit dem Neubeginn der Endlagersuche in Deutschland hat sich das Spektrum der Endlagerkonzepte und der dafür erforderlichen Behälter deutlich erweitert: Im Standortauswahlprozess werden auch Behälterkonzepte für die Wirtsgesteinstypen Tonstein und Kristallin erarbeitet und im Verfahren berücksichtigt werden müssen. Die Endlagerkommission hat in ihrem Abschlussbericht (Endlagerkommission 2016) die Entwicklung von Endlagerbehältern unter dem Blickwinkel ihrer endlagerspezifischen Eigenschaften thematisiert, und dabei die bisher in Deutschland entwickelten Konzepte als nicht mehr dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend und daher als überarbeitungsbedürftig bezeichnet. Sie seien an aktualisierte Sicherheitsanforderungen anzupassen und müssten Wirtsgesteinsoptionen sowie die Erfordernisse der Rückholbarkeit und Bergbarkeit berücksichtigen. Grundlegende Anforderungen an Endlagergebäude als technische Barriere im Endlagersystem finden sich in einer aktuellen Empfehlung der Entsorgungskommission (ESK 2017a).

1.5 Grundsätzliche Optionen für die verlängerte Zwischenlagerung

In ihrer zeitlichen Dimension ist die Zwischenlagerung in Deutschland abhängig vom Verlauf des Standortauswahlverfahrens, dem nachfolgenden Genehmigungsverfahren und der Betriebsbereitschaft und Kapazität eines zukünftigen Eingangslagers am Endlagerstandort. Die bisher geltenden befristeten Genehmigungen der bestehenden Zwischenlager werden selbst bei günstigstem

²⁶ Standortinterne Transportvorgänge, beispielsweise zur Überführung eines Behälters vom Kernkraftwerk zum Zwischenlager am gleichen Standort, sind hier ausgeklammert, da sie nicht den Regelungen und Genehmigungspflichten des Verkehrsrechts unterliegen.

²⁷ Eine Möglichkeit der Reparatur geht davon aus, dass in den Standortzwischenlagern für Reparaturen an den Behältern die Einrichtungen des zugehörigen Kernkraftwerks genutzt werden können, was mit der Stilllegung der Kernkraftwerke zukünftig nicht mehr selbstverständlich sein wird. Außerhalb der Kernkraftwerke selbst steht hierfür derzeit allerdings nur die als „Pilotkonditionierungsanlage“ für derartige Zwecke zugelassene Anlage am Standort Gorleben zur Verfügung.

Verlauf des Standortauswahlverfahrens in keinem Fall ausreichen, um die Zeit bis zur Einlagerung der ersten Behälter, geschweige denn bis zur vollständigen Einlagerung aller Behälter, zeitlich abzudecken. Die entstehende Lücke kann mehrere Jahrzehnte groß werden.

Erst mit Verfügbarkeit des am Endlagerstandort entstehenden Eingangslagers können die bestehenden (oder auf dem Weg dorthin noch zu errichtenden) Zwischenlager nach und nach geräumt werden. Die Kapazität des Eingangslagers wird darüber bestimmen, ob die Räumung der Zwischenlager vom Endlagerbetrieb abgekoppelt werden kann: Ist das Eingangslager groß genug um alle Abfallbehälter aufzunehmen, können die Zwischenlager vermutlich schneller geräumt werden als wenn das Eingangslager in seiner Kapazität auf eine Funktion als Pufferlager begrenzt wird.

Da also absehbar ist, dass die hoch radioaktiven Abfälle über einen längeren Zeitraum als ursprünglich geplant zwischengelagert werden müssen, müssen Optionen für den Umgang mit den Abfällen nach Ablauf der bestehenden Genehmigungen betrachtet werden. Die Entsorgungskommission hat die hiermit verbundenen Implikationen in einem Diskussionspapier (ESK 2015) zusammengestellt. Sie adressiert dabei eine Reihe von Aspekten, die im Rahmen der verlängerten Zwischenlagerung berücksichtigt werden müssen und sich folgendermaßen zusammenfassen lassen:

- ▶ **Langzeiteignung von Behältern:**
Die atomrechtlichen Lager-Genehmigungen der einzelnen Behälter sind mit einer Frist von 40 Jahren versehen, beginnend mit der Beladung des Behälters. Die langfristige Funktionsweise ist nachzuweisen und die langfristige Verfügbarkeit von austauschbaren Komponenten sicherzustellen.
- ▶ **Inventarverhalten:**
In den Behältern sind unterschiedliche Arten hoch radioaktiver Abfälle und zusätzliche Einbauten enthalten, für deren langfristiges Verhalten, insbesondere für den Erhalt ihrer Integrität, jeweils spezifische Nachweise geführt werden müssen.
- ▶ **Abtransportierbarkeit der Behälter am Ende der Zwischenlagerzeit:**
Derzeit sind verkehrsrechtliche Bauartzulassungen aufgrund der rechtlichen Randbedingungen relativ kurz befristet und müssen regelmäßig verlängert werden.
- ▶ **Alternative Zwischenlagerkonzepte:**
Realistische Szenarien sind eine verlängerte Zwischenlagerung an den derzeitigen Standorten, der Bau eines zentralen Zwischenlagers oder die Konzentration auf wenige regionale Zwischenlager, entweder unter Nutzung vorhandener oder durch Neubau neuer Lager.
- ▶ **Gestaltung der Genehmigungsverfahren:**
Es sind in jedem Falle Neugenehmigungen erforderlich, dabei ist die nach Atomgesetz erforderliche Vorsorge gegen Schäden nach dem dann gültigen Stand von Wissenschaft und Technik maßgeblich. Gemäß den Regelungen des Atomgesetzes ist bei einer Zwischenlagerung über die derzeit genehmigten Zeiträume hinaus der Deutsche Bundestag zu beteiligen.
- ▶ **Know-How-Erhalt:**
Die Aufrechterhaltung des notwendigen Know-Hows bei allen an der nuklearen Entsorgung beteiligten Organisationen ist nicht selbstverständlich, sondern bedarf einer aktiven Gestaltung, um die notwendige Anzahl fachkundiger Personen sicherzustellen und die Attraktivität des Berufsfelds auch für Nachwuchskräfte zu sichern.
- ▶ **Verantwortung gegenüber nachfolgenden Generationen:**
Bereits heute ist offensichtlich, dass wesentliche Aufgaben der nuklearen Entsorgung generationenübergreifend zu lösen sein werden.

1.6 Überblick über sicherheitsrelevante Aspekte und Überlegungen zur verlängerten Zwischenlagerung in anderen Staaten

Es ist mittlerweile schon ein Gemeinplatz, dass derzeit weltweit kein Endlager für hoch radioaktive Abfälle existiert. Konkret in Bau befindlich ist lediglich ein Projekt in Finnland (Olkiluoto). In Schweden wurde die Genehmigung zur Errichtung eines Endlagers bei Forsmark beantragt, in Frankreich ist mit dem Cigéo bei Bure in Lothringen ein Standort bestimmt, aber noch kein Antrag zur Errichtung gestellt. Weltweit befinden sich die Verfahren ansonsten in unterschiedlichen Stadien, von unverbindlichen Absichtserklärungen über Erkundungsmaßnahmen, Verfahren mit planmäßig generationenüberschreitendem Zeitplan (z.B. in den Niederlanden), gescheiterten Versuchen der Standortbestimmung (z.B. in den USA, Großbritannien, Japan, Südkorea oder auch Deutschland) bis zu mehr oder weniger dynamischen Standortauswahlverfahren wie dem in der Schweiz, oder eben auch dem Neustart der Endlagersuche in Deutschland.

Vor diesem Hintergrund kommt der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle über viele Jahrzehnte in den ehemals 33²⁸ Kernenergie nutzenden Staaten eine wachsende Bedeutung zu. Dabei wird die trockene Zwischenlagerung, wie sie auch in Deutschland praktiziert wird, auch international zunehmend eingesetzt. Im Gegensatz zur trockenen Zwischenlagerung (siehe auch Kapitel 1.1) erfordert die „Nasslagerung“ in Abklingbecken aktive Systeme wie Pumpen, einen Kühlkreislauf und eine kontinuierliche Wasseraufbereitung. Eine Nasslagerung ist erforderlich, um in der Zeit unmittelbar nach der Entnahme eines Brennelements aus dem Reaktorkern die anfänglich hohe Aktivität und Zerfallswärme zu beherrschen. Die aktiven Systeme bedürfen neben der Energieversorgung außerdem der kontinuierlichen Überwachung sowie der laufenden Instandhaltung, sind mithin also wartungsintensiver und anfälliger für Störfälle. Für die ersten Jahre nach der Entladung aus dem Reaktorkern ist die nasse Zwischenlagerung das Mittel der Wahl. Für eine Zwischenlagerung über Jahrzehnte sind die passiven, wartungsarmen und gegen Störfälle robusteren Systeme der trockenen Zwischenlagerung deutlich besser geeignet.

Die Lagerdauer eines abgebrannten Brennelements in einem Nasslagerbecken sollte sinnvoller Weise 4 bis 5 Jahre nach Entnahme aus dem Reaktor betragen, bevor eine Überführung in die trockene Zwischenlagerung stattfindet. Allerdings praktizieren Kernkraftwerksbetreiber weltweit die Nasslagerung auch über längere Zeiträume, insbesondere dann, wenn Trockenlagerkapazitäten nicht (oder noch nicht) zur Verfügung stehen.

In den USA beispielsweise werden abgebrannte Brennelemente bis zu zehn Jahren in Abklingbecken gelagert²⁹. Da auch in den USA in absehbarer Zeit kein Endlager für abgebrannte Brennelemente zur Verfügung stehen wird, werden mehr und mehr ältere Brennelemente in die trockene Zwischenlagerung überführt, die in der Regel am Standort des Kraftwerks oder in seiner Nähe stattfindet. Dabei werden, anders als in Deutschland, die Behälter mit abgebrannten Brennelementen nicht in eine Halle eingestellt, sondern in sogenannte „Dry Casks“, siloartige Betoncontainer, die jeweils einen Abfallbehälter aufnehmen und auf freier Fläche aufgestellt werden. Hierfür gibt es vertikale und horizontale Bauformen. Seit dem Scheitern des Verfahrens um das geplante Endlager Yucca Mountain wird auch in den USA eine verlängerte Betriebsdauer der vorhandenen Zwischenlager diskutiert, auch über Zeiträume von deutlich über 100 Jahren³⁰. Da in den USA auf absehbare Zeit kein Endlager für hoch radioaktive Abfälle verfügbar sein wird, werden mittlerweile auch zentrale

²⁸ heute befinden sich Kernkraftwerke noch in 30 Staaten in Betrieb. In Italien, Litauen und Kasachstan wurden die dortigen Anlagen abgeschaltet.

²⁹ s. z.B. <https://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/faqs.html>, Zugriff am 1.12.2017

³⁰ s. z.B. <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr2157/v1/>, letzter Zugriff am 1.12.2017

Zwischenlager (sogenannte „Consolidated Interim Storage Facilities“) geplant³¹. Dabei ist auch die Übernahme der abgebrannten Brennelemente in staatliche Obhut vorgesehen. Bereits jetzt ist die US-Regierung zur Übernahme der Zwischenlagerkosten gezwungen, da sie einer rechtliche Verpflichtung, ab 1998 abgebrannte Brennelemente zur Entsorgung zu übernehmen, bis heute nicht nachkommen konnte.

In der Schweiz wurde 2001 ein zentrales trockenes Zwischenlager (ZwiLag) für alle Arten radioaktiver Abfälle inklusive hoch radioaktiver Abfälle am Standort Würenlingen in Betrieb genommen. 2008 ging mit dem Zwischenlager Beznau ein erstes Standortzwischenlager zur trockenen Zwischenlagerung in Betrieb, am Standort des Kernkraftwerks Gösgen nahm im gleichen Jahr ein zusätzliches Nasslager den Betrieb auf.

In Schweden werden abgebrannte Brennelemente in das zentrale Zwischenlager „Clab“³² verbracht, wo sie bis zur Endlagerung in Abklingbecken unter Wasser aufbewahrt werden sollen. Hier lagert eine große Anzahl an abgebrannten Brennelementen ohne weitere Behälter. Die trockene Zwischenlagerung in dickwandigen Behältern wird hier nicht praktiziert. In Erwartung der Inbetriebnahme des schwedischen Endlagers wird derzeit auch keine Änderung des Zwischenlagerregimes angestrebt.

Eine Nasslagerung abgebrannter Brennelemente wird auch in Anlagen zur Wiederaufarbeitung betrieben, beispielsweise im französischen La Hague. Eine längerfristige Zwischenlagerung ist nicht vorgesehen, da die Brennelemente jeweils bis zu ihrer Wiederaufarbeitung zwischengelagert werden. Die Nasslagerbecken in La Hague haben eine Kapazität von bis zu 17.600 tSM. Ende 2015 lagerten dort etwa 9.700 tSM in abgebrannten Brennelementen (ASN 2017). Diese für die „Durchgangslagerung“ mit dem Ziel der Wiederaufarbeitung konzipierten Becken, umfassen ein Mehrfaches des Jahresdurchsatzes der Wiederaufarbeitungsanlage ohne eine weitere Behälterbarriere. Damit ist hier zwar ein wechselndes aber immer sehr hohes Brennelementinventar zwischengelagert. Im Vergleich mit der trockenen Zwischenlagerung wie sie in Deutschland praktiziert wird, sind die Lagerbecken in La Hague deutlich weniger robust.

Die Beispiele zeigen, dass bezüglich der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle unterschiedliche Ansätze bestehen können. Die Bestrebungen in den USA, Voraussetzungen für eine längerfristige trockene Zwischenlagerung zu schaffen, stehen dabei exemplarisch für die Mehrheit der Kernenergie nutzenden Länder, in denen in den kommenden Jahrzehnten eine längerfristige Zwischenlagerung unverzichtbar wird, da noch kein Endlager verfügbar ist. Der technische Trend geht dabei mit stetiger Verlängerung der Zwischenlagerdauern klar in Richtung auf eine trockene Zwischenlagerung.

Für die Sicherheit von Lagergebäuden oder Lagersilos der trockenen Zwischenlagerung (für die beispielsweise in den USA angenommen wird, dass sie in regelmäßigen Abständen neu errichtet und die Behälter umgelagert werden müssen) oder zur Minimierung äußerer Alterungseffekte lassen sich auch bei einer längerfristigen Zwischenlagerung tragfähige Konzepte entwickeln. Unabhängig von der jeweils verfolgten Strategie (zentrale oder dezentrale Zwischenlagerung, Überführung in staatliche Zuständigkeit oder Verbleib beim Abfallerzeuger) herrscht international die Auffassung, dass auch längere Zwischenlagerzeiträume mit geeigneten Maßnahmen und entsprechendem Aufwand in einem sicheren Zustand überbrückt werden können.

Ein nicht abschließend geklärt Aspekt ist dabei aber die Bewertung von Zustandsveränderungen der in den Behältern enthaltenen Abfälle und Einbauten. Da es grundsätzlich nicht vorgesehen ist,

³¹ s. z.B. <http://wcsstorage.com/resources/> letzter Zugriff am 18.12.17

³² s. z.B. <http://www.skb.com/our-operations/clab/> letzter Zugriff am 18.12.17

beladene Lagerbehälter vor der Endkonditionierung für das Endlager zu öffnen, liegen diesbezüglich weltweit kaum konkrete Befunde vor. Mit länger werdenden Lagerdauern werden Alterungsprozesse der hoch radioaktiven Abfälle im Hinblick auf ihre zukünftige Handhabung aber immer relevanter, weshalb hier international großer Untersuchungsbedarf gesehen wird. Dies schließt die Entwicklung geeigneter Untersuchungsmethoden ebenso ein wie die Bereitstellung erforderlicher technischer Kapazitäten wie heiße Zellen, in denen alternde Behälter unter radiologisch sicheren Bedingungen repariert und/oder geöffnet werden können.

2 Beantwortung der Fragen zur Sicherheit der deutschen Zwischenlager

In den folgenden Unterkapiteln werden die vom Nationalen Begleitgremium in der Ausschreibung des Gutachtens formulierten Fragen im Zusammenhang mit der Sicherheit der deutschen Zwischenlager für hoch radioaktive Abfälle im Einzelnen beantwortet.

2.1 Wie ist der Stand der Sicherheitslage an deutschen Zwischenlagern für hoch radioaktive Abfälle?

Um den heutigen Zustand der deutschen Zwischenlager zu beschreiben, muss zwischen den Aspekten „Sicherheit“ und „Sicherung“ differenziert werden. Im Folgenden werden die beiden Begriffe daher getrennt voneinander betrachtet.

2.1.1 Sicherheit von Zwischenlagern

Der Begriff der Sicherheit bedeutet im kerntechnischen Kontext

„das Erreichen und Aufrechterhalten ordnungsgemäßer Betriebsbedingungen, die Verhütung von Unfällen und die Abmilderung von Unfallfolgen, so dass Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen geschützt werden.“
(AtG § 2 Absatz 3a)

Erreicht werden muss die Sicherheit auch bei der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle durch die gemäß AtG „nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden“. Der Nachweis, dass diese Vorsorge getroffen ist, ist Voraussetzung für die Genehmigung einer entsprechenden Anlage nach §6 AtG.

Zentrale Merkmale der Sicherheit sind dabei die Auslegung gegen Störfälle und die Minimierung der Auswirkungen von auslegungüberschreitenden Ereignissen. Dabei sind nach den ESK-Leitlinien sowohl anlageninterne Ereignisse (z.B. mechanische Lasten durch Kollision von Behältern oder thermische Lasten durch einen Brand) als auch sogenannte „Einwirkungen von außen“ (EVA) zu betrachten. Zu den EVA gehören naturbedingte Ereignisse wie Erdbeben und Hochwasser sowie zivilisatorische Ereignisse wie Brand oder der Absturz eines schnell fliegenden Militärflugzeugs. Auslegungsbestimmend ist dabei mindestens die sichere Beherrschung der am jeweiligen Standort anzunehmenden Maximallasten (z.B. Erdbebenintensitäten oder Hochwasserstände) bzw. vorgegebene Lastannahmen (z.B. zu mechanischen Einwirkungen und dem Brand des eingetragenen Kerosins bei einem Flugzeugabsturz). Die ESK-Leitlinien legen außerdem fest, dass auch im Fall von auslegungüberschreitenden Ereignissen Freisetzen von Radioaktivität soweit reduziert werden müssen, dass die unter realistischen Randbedingungen ermittelten radiologischen Auswirkungen einschneidende Maßnahmen des Katastrophenschutzes nicht erforderlich machen.

Die ESK hat unter dem Eindruck der Katastrophe von Fukushima und auf Veranlassung des Bundesumweltministeriums sämtliche im hier vorgelegten Gutachten behandelten deutschen Zwischenlager für hoch radioaktive Abfälle einem Stresstest unterzogen und ihre diesbezügliche Stellungnahme 2013 veröffentlicht (ESK 2013a). Durchgeführt wurde der Stresstest, indem die jeweiligen Anlagenbetreiber zur Beantwortung einer Frageliste aufgefordert wurden. Die jeweils zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden der Länder wurden gebeten, zu den Antworten der Betreiber Stellung zu nehmen.

Mit dem Stresstest hat die ESK *„ausdrücklich nicht die im Rahmen des Genehmigungsverfahrens geprüften Auslegungsanforderungen, sondern darüber hinausgehende Auslegungsreserven“* bewertet. Die ESK bezeichnet dabei die Beherrschung der Auslegungsanforderungen als „Basislevel“. Da der Nachweis der Beherrschung dieser Anforderungen Voraussetzung für die Genehmigung ist, gilt für die

ESK im Umkehrschluss die behördliche Genehmigung als Bestätigung dafür, dass das Basislevel der Sicherheit erreicht wird. Mit dem Stresstest wurde ausschließlich der aktuelle Zustand der Zwischenlager bewertet. Es wurden keine Prognosen hinsichtlich einer langfristigen Sicherheit über den Genehmigungszeitraum hinaus angestellt.

Im Hinblick auf die Prüfung der Robustheit der Zwischenlager wurden zu den Lastfällen Erdbeben, Hochwasser, Starkregen, sonstige wetterbedingte Ereignisse, Ausfall der Stromversorgung, Brand innerhalb oder außerhalb der Anlage, Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle von ESK Annahmen getroffen, die oberhalb der Auslegungsanforderungen liegen. Diese werden als „Stresslevel“ oder „Schutzgrad“ bezeichnet.

Im Einzelnen wurden folgende zentrale Fragestellungen hinsichtlich der Stresslevel oder Schutzgrade abgeprüft:

Erdbeben: Wie verhält sich die Anlage bei einem Erdbeben mit einer um eine Stufe höheren Intensität als in der Anlagenauslegung berücksichtigt?

Hochwasser: Wie verhält sich eine Anlage an einem Flusst Standort bei einem Hochwasser, das durch einen 1,5-fach oder 2,0-fach höheren Abfluss als beim Bemessungshochwasser gekennzeichnet ist?

Wie verhält sich eine Anlage an einem Küstenstandort bei einem tidebedingten Hochwasser, das einen ein oder zwei Meter höheren Wasserstand als das Bemessungshochwasser erreicht?

Können derartige Gefährdungen standortspezifisch ausgeschlossen werden?

Starkregen: Wie verhält sich die Anlage bei einem Starkregenereignis von 5 Minuten Dauer, wie es aufgrund der regionalen Verhältnisse nur einmal in hundert Jahren³³ am Standort zu erwarten ist?

sonstige wetterbedingten Ereignisse: Wie verhält sich die Anlage gegenüber Sturm oder Wirbelsturm, Hagel, Schneelasten, Eisregen, Blitzschlag und ggf. regional zusätzlich relevanten Ereignissen, wenn diese mit Intensitäten „*deutlich oberhalb der jeweiligen Auslegung*“ auftreten?

Ausfall der Stromversorgung: Wie verhält sich die Anlage bei einem Ausfall der normalen (externen) Stromversorgung für drei Tage, für eine Woche und für einen einwöchigen totalen Ausfall von Stromversorgung und Not-/Ersatzstromversorgung?

Brände: Wie verhält sich die Anlage bei einem anlageninternen Brand oder einem Brand außerhalb der Anlage, der jeweils eine Stunde länger dauert als in der Anlagenauslegung berücksichtigt?

Sind aufgrund der beschränkten Brandlasten prinzipiell keine Brände länger als Auslegung möglich?

Flugzeugabsturz: Welche Flugzeugabstürze wurden bei der Auslegung der Anlage unterstellt, und welche Auswirkungen wurden daraus abgeleitet? Der sogenannte Schutzgrad der Anlage beschreibt hier, ob die grundlegenden Schutzziele beim Absturz von Flugzeugen

³³ Die Anlagenauslegung berücksichtigt nach DIN regelwerkskonform Starkregenereignisse von 5 Minuten Dauer, wie sie alle fünf Jahr am Standorte zu erwarten sind.

verschiedener Größe und Betankung (1: Militärflugzeug, 2: mittleres Verkehrsflugzeug, 3: großes Verkehrsflugzeug) eingehalten werden.³⁴

Explosionsdruckwelle: Ist sichergestellt, dass die lebenswichtigen Funktionen bei Einwirkungen entsprechend den Anforderungen der „BMI-Richtlinie zu Explosionsdruckwellen“³⁵ erhalten bleiben (Schutzgrad 1)? Werden die grundlegenden Schutzziele auch bei einer stärkeren Explosionsdruckwelle mit 20 % höherem Druckverlauf eingehalten (Schutzgrad 2)?

Im Ergebnis stellt die ESK dabei für alle Zwischenlager fest:

„Die Zwischenlagerung der bestrahlten Brennelemente und Wärme entwickelnden Abfälle erfolgt auf Basis eines robusten Schutzkonzeptes, bei dem die Einhaltung der grundlegenden Schutzziele während der Lagerung im bestimmungsgemäßen Betrieb und bei Störfällen primär durch die dickwandigen metallischen Behälter sichergestellt wird. Die Auslegung der Behälter stellt weiterhin sicher, dass auch bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen keine einschneidenden Maßnahmen des Katastrophenschutzes erforderlich werden. Die auf Basis der vorgelegten Unterlagen durchgeführten Untersuchungen und Bewertungen der ESK haben gezeigt, dass die Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente und Wärme entwickelnde Abfälle in fast allen Lastfällen das höchste Stresslevel erfüllen bzw. den höchsten Schutzgrad erreichen.“ (ESK2013a).³⁶

Die ESK verwendet in diesem Zusammenhang den Begriff der „Vitalfunktion“ und meint damit alle zu einem langfristigen Erhalt der Sicherheit der Anlage wichtigen Funktionen, die auch dann erhalten bleiben müssen, wenn im Zuge eines Ereignisses andere Sicherheitsfunktionen ausfallen. Aus dem Ergebnis des Stresstests geht also hervor, dass die eigentliche „Vitalfunktion“ für die Zwischenlager in der Integrität der Lagerbehälter besteht. Die zentrale Botschaft aus dem Stresstest der ESK ist, dass die hoch radioaktiven Abfälle aufgrund der Auslegung der Behälter so eingeschlossen sind „dass auch bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen keine einschneidenden Maßnahmen des Katastrophenschutzes erforderlich werden.“ Sogenannte „Cliff-Edge“-Effekte, bei denen es bei Überschreiten einer bestimmten Belastungsschwelle zu einem sprunghaften Anstieg der radiologischen Auswirkungen außerhalb der Anlage kommt, sind nach Auffassung der ESK bei den betrachteten Zwischenlagern für hoch radioaktive Abfälle nicht zu erwarten. Darin unterscheidet sich die trockene Zwischenlagerung deutlich vom Betrieb von Kernkraftwerken oder auch von der Nasslagerung mit aktiver Kühlung³⁷.

2.1.2 Sicherung von Zwischenlagern

Mit dem Begriff der Sicherung wird die Widerstandsfähigkeit gegen „Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter“ (SEWD) bezeichnet³⁸. „Dritte“ sind dabei Täter, die sich mit dem Ziel, radioaktive Stoffe zu entwenden oder eine Freisetzung radioaktiver Stoffe herbeizuführen, Zugang zu

³⁴ Die ESK bewertet in ihrer Stellungnahme zum Stresstest die Angaben von Betreiber und Behörde zu einem Absturz „eines mittleren Verkehrsflugzeuges (Schutzgrad 2) und zusätzlich eines großen Verkehrsflugzeuges (Schutzgrad 3)“. Der im Prozess um die Genehmigung des Zwischenlagers Brunsbüttel (siehe auch Kapitel 2.3) diskutierte Airbus A 380 als derzeit größter Verkehrsflugzeugtyp wird nicht explizit erwähnt.

³⁵ Bei der von der ESK hier zitierten „BMI-Richtlinie zu Explosionsdruckwellen“ handelt es sich um die „Richtlinie für den Schutz von Kernkraftwerken gegen Druckwellen aus chemischen Reaktionen durch Auslegung der Kernkraftwerke hinsichtlich ihrer Festigkeit und induzierter Schwingungen sowie Sicherheitsabstände“, des Bundesinnenministeriums aus dem Jahr 1976, die nach wie vor gültig ist und daher auch für die Zwischenlager Anwendung findet.

³⁶ Bezüglich des AVR-Behälterlagers hat die ESK die Aussage mit einem Vorbehalt versehen, da sich dieses zum Zeitpunkt der Stellungnahme im Genehmigungsverfahren befand, in dem vor allem Nachweise zur Erdbebensicherheit und zum Flugzeugabsturz noch ausstanden.

³⁷ Die Wasserstoffexplosionen im Zuge der Fukushima-Katastrophe sind Beispiele für solche „Cliff-Edge Effekte“ bei Kernkraftwerken, bei denen die Reaktorgebäude zerstört und freigesetzte Radionuklide in weitem Umkreis verteilt werden.

³⁸ Zur Erläuterung des Begriffs siehe z.B. auch: <https://www.grs.de/begriff-der-woche-sewd> letzter Zugriff 18.12.17

einer Anlage (im Kontext dieses Gutachtens: Zu einem Zwischenlager für hoch radioaktive Abfälle) verschaffen. Sicherungsmaßnahmen dienen dazu, dies zu verhindern.

Da Sicherungsmaßnahmen häufig unwirksam werden, wenn ihre Ausgestaltung potenziellen Tätern bekannt wird, unterliegen sie der Geheimhaltung. Die bei Auslegung der Zwischenlager gegen SEWD erforderlichen Lastannahmen sind in einer Richtlinie festgelegt, die ebenfalls als Verschlussache eingestuft ist. In die Erstellung dieser Richtlinie sind auch die deutschen Sicherheitsbehörden im Hinblick auf die Beschreibung von Bedrohungsszenarien maßgeblich eingebunden.

Es gibt verständlicherweise aufgrund diesbezüglicher Geheimhaltungsvorschriften keine frei verfügbaren technischen Unterlagen zu Sicherungsmaßnahmen, insofern kann hier auch nicht unmittelbar auf entsprechende Dokumente verwiesen werden. Das Bundesumweltministerium hat einige allgemeine Informationen zum Thema SEWD im Internet zusammengestellt³⁹.

In den Lastannahmen zur Auslegung von Zwischenlagern werden Bedrohungssituationen beschrieben und dabei z.B. Täterverhalten, verwendete Waffen oder sonstige Hilfsmittel definiert. Diese Lastannahmen, die zuletzt nach dem Terrorangriff auf das New Yorker World Trade Center am 11.09.2001 deutlich erweitert worden sind, werden nach Angaben des BMUB mindestens alle 3 Jahre evaluiert.

Die Lastannahmen bilden die Grundlage für die Planungen des Anlagenbetreibers für entsprechende Gegenmaßnahmen, die für die Einhaltung zweier allgemeiner Schutzziele geeignet sein müssen:

- ▶ *„Eine Gefährdung von Leben und Gesundheit infolge erheblicher Direktstrahlung oder infolge der Freisetzung einer erheblichen Menge radioaktiver Stoffe muss verhindert werden können.*
- ▶ *Eine einmalige oder wiederholte Entwendung von Kernbrennstoffen in Mengen, mit denen ohne Wiederaufarbeitung und Anreicherung die Möglichkeit der unmittelbaren Herstellung einer kritischen Anordnung gegeben ist, muss verhindert werden können“⁴⁰.*

Bei der Sicherung der Zwischenlager greifen bauliche, technische, personelle und organisatorische Maßnahmen des Betreibers und staatliche Aufgaben (also der Einsatz von Polizeikräften) ineinander. Dabei bildete ursprünglich die störfallrobuste Auslegung der Lagerbehälter (s.o.) auch die Basis für den Schutz gegen die zu unterstellenden gewaltsamen Einwirkungen. BMUB⁴¹ leitet hieraus ab, dass aus diesem Grund Zwischenlagergebäude baulich nicht so robust ausgeführt wurden wie die sicherungsrelevanten Gebäude eines Kernkraftwerks. Heute spielen die Lagergebäude eine zunehmend wichtige Rolle zur Beschränkung des Zugangs zu den Behältern, als Hindernisse gegen Beschuss und indem sie die Abfallbehälter selbst gegen Zielerfassung und direkten Beschuss von außen verbergen.

Wenn sich die Gefährdungsbewertung durch die Sicherheitsbehörden ändert oder wenn sich neue Erkenntnisse zu den Auswirkungen der unterstellten Szenarien gewaltsamer Einwirkungen ergeben, kann eine Anpassung der Sicherungsmaßnahmen erforderlich werden. Entsprechende Änderungen der Gefährdungsbeurteilung haben zu dem seit 2010 diskutierten Nachrüstbedarf bei der Zwischenlagerung geführt; in den Folgejahren wurden Genehmigungsanträge für Nachrüstmaßnahmen durch die Betreiber gestellt. Das BMUB spricht hinsichtlich des Nachrüstbedarfs von „zum Teil umfangreichen baulich-technischen Maßnahmen“⁴². Solange die vorgesehenen baulichen

³⁹ siehe www.bmub.bund.de/P1739/, letzter Aufruf am 18.12.2017

⁴⁰ siehe www.bmub.bund.de/P1739/, letzter Aufruf am 18.12.2017

⁴¹ siehe www.bmub.bund.de/P1739/, dort Punkt 2. „Bisheriges Sicherungskonzept der Zwischenlager“, letzter Aufruf am 18.12.2017

⁴² siehe www.bmub.bund.de/P1739/, letzter Zugriff 18.12.17

Veränderungen in den Zwischenlagern nicht vollständig umgesetzt sind, werden temporäre (i. W. auf personeller Verstärkung und Ausrüstung basierende) Maßnahmen ergriffen, um die Anforderungen an die Standortsicherung zu erfüllen.

Ausweislich der vom BfE im Internet bereitgestellten allgemeinen Informationen⁴³ befinden sich die Genehmigungsverfahren für die erforderliche bauliche Ertüchtigung (die sogenannte „Härtung“) der Zwischenlager in unterschiedlichen Phasen:

TBL-G: Genehmigungsverfahren noch nicht abgeschlossen

TBL-A: Genehmigung 2016 erteilt

Zwischenlager Nord, Halle 8: Der Genehmigungsantrag wurde im Juli 2015 zurückgezogen, die weiteren Planungen zum Vorgehen obliegen dem Betreiber EWN, dem BfE liegen hierzu keine weiteren Informationen dazu vor.

SZL Biblis: Genehmigung 2014 erteilt

SZL Brokdorf: Genehmigungsverfahren noch nicht abgeschlossen

SZL Brunsbüttel: Die ursprüngliche Aufbewahrungsgenehmigung wurde im Januar 2015 letztinstanzlich per Gerichtsentscheid des Bundesverwaltungsgerichts unwirksam, nachdem bereits das OVG Schleswig-Holstein⁴⁴ im Juni 2013 entsprechend geurteilt hatte. Bis zum Entzug der Aufbewahrungsgenehmigung lief auch ein Genehmigungsverfahren zur Erweiterung des baulichen Schutzes gegen SEWD, das nicht abgeschlossen wurde. Derzeit läuft ein neues Genehmigungsverfahren, über dessen Abschluss keine offizielle Prognose vorliegt. Die Aufbewahrung der abgebrannten Brennelemente erfolgt derzeit auf Grundlage einer Anordnung der zuständigen Atomaufsichtsbehörde.

SZL Grafenrheinfeld: Genehmigungsverfahren noch nicht abgeschlossen

SZL Grohnde: Genehmigungsverfahren noch nicht abgeschlossen

SZL Gundremmingen: Genehmigung 2014 erteilt

SZL Isar: Genehmigung 2016 erteilt

AVR-Behälterlager Jülich: Genehmigung war bis zum 30. Juni 2013 befristet und ist mit diesem Datum abgelaufen. Die Aufbewahrung der AVR-Brennelement-Kugeln erfolgt daher auf der Rechtsgrundlage einer Anordnung der zuständigen Atomaufsichtsbehörde nach § 19 AtG. Die Aufsichtsbehörde hat in diesem Kontext im Juli 2014 bereits die unverzügliche Räumung des Lagers verfügt, die mangels Zielort für die Abfallbehälter bis dato nicht erfolgen konnten.

Aktuell werden von der verantwortlichen Besitzerin der Abfälle⁴⁵ mehrere Verfahren zur weiteren Vorgehensweise mehr oder weniger parallel verfolgt: Ein Genehmigungsverfahren zur weiteren Aufbewahrung der AVR-Brennelemente in Jülich läuft zwar, ist aber nicht absehbar entscheidungsreif. Das TBL-A in Ahaus verfügt mittlerweile über eine Genehmigung zur Annahme und Aufbewahrung der Jülicher AVR-Brennelemente, die u.a. von der Stadt Ahaus⁴⁶ beklagt wird. Das

⁴³ Stand Ende November 2017, siehe www.bfe.bund.de/DE/ne/zwischenlager/zwischenlager_node.html

⁴⁴ OVG Schleswig-Holstein AZ: 4 KS 3/08

⁴⁵ hier die Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH (JEN)

⁴⁶ (Stadt Ahaus 2018), www.ahaus.de, zuletzt abgerufen 18.01.2018

Transportgenehmigungsverfahren steht noch aus. Als dritte Option wird von der Besitzerin weiterhin eine Abgabe der AVR-Brennelementkugeln in das Herkunftsland USA geprüft, obwohl diese Option im Hinblick auf die Interpretation des Exportverbotes im AtG⁴⁷ kontrovers diskutiert wird.

SZL Krümmel: Genehmigung 2016 erteilt

SZL Lingen: Emsland: Genehmigung 2015 erteilt

SZL Neckarwestheim: Genehmigungsverfahren noch nicht abgeschlossen

SZL Obrigheim: Das Nasslager Obrigheim wurde geräumt und die abgebrannten Brennelemente ins Zwischenlager Neckarwestheim umgelagert. Dieser Vorgang wurde im Dezember 2017 abgeschlossen. Ein Antrag auf Errichtung eines trockenen Zwischenlagers nach dem STEAG-Konzept wurde zwar gestellt, wird aber nicht weiter verfolgt.

SZL Philippsburg: Genehmigungsverfahren noch nicht abgeschlossen

SZL Unterweser: Genehmigung 2016 erteilt

Über den aktuellen Stand der Umsetzung der baulichen Maßnahmen finden sich keine veröffentlichten Informationen. Im Urteil des OVG Schleswig-Holstein zur Anfechtung der Aufbewahrungsgenehmigung für das Standortzwischenlager Brunsbüttel (OVG Schleswig-Holstein AZ: 4 KS 3/08) werden Zweifel der Kläger dahingehend angeführt, dass bei einem absichtlich herbeigeführten Flugzeugabsturz oder dem Beschuss eines CASTOR®-Behälters mit modernen panzerbrechenden Waffen die Sicherheit des CASTOR®-Behälters nicht nachgewiesen sei⁴⁸.

2.2 Wie ist der aktuelle Stand der sicherheitstechnischen Diskussion über diese Zwischenlager?

Mit der Frage nach der sicherheitstechnischen Diskussion sind insbesondere die Veränderungen in den Blick zu nehmen, die die Zwischenlagerung in den nächsten Jahren bis Jahrzehnten beeinflussen werden. Dazu gehören

- ▶ der Betreiberwechsel gemäß Entsorgungsübergangsgesetz (EntsorgÜG 2017),
- ▶ die Autarkisierung⁴⁹ der standortnahen Zwischenlager durch den zunehmenden Rückbau der Kernkraftwerke und
- ▶ der Bedarf eines längeren Betriebs von Zwischenlagern über die bisher genehmigten 40 Jahre⁵⁰ hinaus.

Darüber hinaus bestimmen auch aktuelle bzw. kurzfristige Entwicklungen die aktuelle Diskussion. Hierzu zählen

- ▶ die genehmigte und bereits weit fortgeschrittene Einlagerung der abgebrannten Brennelemente aus Obrigheim in das Zwischenlager Neckarwestheim,
- ▶ der Genehmigungsentzug und die Neugenehmigung des Zwischenlagers Brunsbüttel und

⁴⁷ AtG §3 (6)

⁴⁸ siehe hierzu auch Kapitel 2.3

⁴⁹ Unter Autarkisierung wird hier die Überführung in eine vom Kernkraftwerk und seiner Infrastruktur unabhängige Betriebsweise verstanden.

⁵⁰ Die zentralen und standortnahen Zwischenlager wurden für eine Betriebszeit von 40 Jahren, beginnend mit der Einlagerung des ersten Behälters genehmigt. Einzige Ausnahme ist das AVR Behälterlagers mit einer Genehmigung für 20 Jahre.

- ▶ die erforderlichen Änderungsgenehmigungen für die Einlagerung von Wiederaufarbeitungsabfällen aus Frankreich und Großbritannien in vier Standortzwischenlager.
- ▶ Ebenfalls zu nennen ist das Zwischenlager in Jülich, das derzeit über keine Genehmigung verfügt und mittels Anordnung betrieben wird. Bis jetzt ist nicht abschließend entschieden, welcher Weg hier eingeschlagen wird.

Diese aktuellen Themen bestimmen maßgeblich die Einschätzung der Sicherheit der Zwischenlager von Seiten der Öffentlichkeit. Sie führen auch zu einer Auseinandersetzung mit der Thematik Zwischenlagerung an sich und zu einer Positionsbestimmung im Hinblick auf den erforderlichen längeren Betrieb. Positionen, Meinungen und Stimmungen hierzu werden in Kapitel 2.3 dargelegt.

2.2.1 Betreiberwechsel

Der Betreiberwechsel von den Energieversorgungsunternehmen (EVU), den derzeitigen Zwischenlagerbetreibern, zum Bund als zukünftigen Betreiber und Entsorgungsverantwortlichen befindet sich derzeit in Umsetzung. Anlass für die Neuordnung waren die Ergebnisse der Kommission zur Überprüfung der Finanzierung des Kernenergieausstiegs (KfK), die das Ziel hatten, die Finanzierung der Entsorgung bis zum Abschluss der Endlagerung sicher zu stellen. Die Ergebnisse (KfK 2016) wurden 2017 in verschiedene Gesetze wie das Entsorgungsübergangsgesetz (EntsorgÜG 2017) und das Entsorgungsfondsgesetz (EntsorgFondsG 2017) überführt.

Gemäß Entsorgungsübergangsgesetz werden die standortnahen Zwischenlager unentgeltlich zum 1. Januar 2019 in das Eigentum und die Entsorgungsverantwortung des Bundes übernommen⁵¹. Voraussetzung ist mindestens die Zahlung eines Teils der gemäß Entsorgungsfondsgesetz anlagenspezifisch festgelegten Einzahlungen in den staatlichen Entsorgungsfond⁵². Außerdem muss das Zwischenlager über eine gültige Genehmigung nach §6 AtG verfügen. Die hoch radioaktiven Abfälle müssen in Transport- und Lagerbehältern verpackt sein und den Annahmebedingungen des Zwischenlagers genügen, was durch die zuständige Aufsichtsbehörde festgestellt sein muss.

Zukünftiger Betreiber ist die Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung mbH (BGZ) (siehe auch Kapitel 1.3). Die Zwischenlager in Jülich und Rubenow bleiben in der Verantwortung der derzeitigen Betreiberin EWN, die sich ebenfalls in Bundesbesitz befindet.

Der Betreiberwechsel wird mittelfristig organisatorische und betriebliche Veränderungen in den Zwischenlagern nach sich ziehen und berührt damit auch sicherheitstechnische Belange. Für die Übernahme hat die BGZ gemäß Entsorgungsübergangsgesetz fünf Jahre Zeit⁵³. Bis dahin kann der jeweils jetzige Betreiber von der BGZ mit dem Zwischenlagerbetrieb beauftragt werden. Derzeit wird von Seiten der BGZ der Betreiberwechsel vorbereitet.

2.2.2 Autarkisierung

Nach ihrer Stilllegung beginnt für die Kernkraftwerke die Phase des Rückbaus, die nach bisherigen Erfahrungen etwa 15 bis 25 Jahre in Anspruch nimmt (Beispiele siehe (BMUB 2017)). Am ehemaligen Kernkraftwerkstandort verbleiben am Ende die Zwischenlager, die dann autark, also unabhängig von der Infrastruktur des Kernkraftwerks, betrieben werden müssen. Bis zum Rückbau der

⁵¹ Für die Zwischenlager der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle gilt der 1. Januar 2020 als Übergabedatum.

⁵² Diese Voraussetzung ist bereits erfüllt, da von allen EVU die Beiträge in vollständiger Höhe in den Entsorgungsfonds eingezahlt wurden.

⁵³ Der Zeitraum setzt an mit der Stilllegung eines Kernkraftwerks. Für bereits stillgelegte Kernkraftwerke gilt der 5-Jahres-Zeitraum ab Inkrafttreten des Entsorgungsübergangsgesetzes (EntsorgÜG 2017)

Kernkraftwerke werden verschiedene Einrichtungen und Dienstleistungen auch für den Zwischenlagerbetrieb mitgenutzt, beispielsweise die Leitwarte, die Objektsicherung, Ver- und Entsorgungseinrichtungen, Arbeits- und Strahlenschutz und anderes mehr. Außerdem steht im Kernkraftwerk bis zum Rückbau das Brennelementlagerbecken als Option für eine potenzielle Reparatur des Primärdeckels von Lagerbehältern zur Verfügung. Für den längerfristigen autarken Zwischenlagerbetrieb müssen diese Funktionen durch bauliche, technische und/oder organisatorische Maßnahmen sichergestellt werden. Gemäß den Anforderungen der ESK (ESK 2013b) ist die Autarkisierung der Zwischenlager zu planen und den zuständigen Aufsichtsbehörden ein entsprechendes Konzept vorzulegen.

Zur Autarkisierung sind nach aktuellen Kenntnissen bisher keine Konzepte veröffentlicht. Der Antrag zur Neugenehmigung des Zwischenlagers Brunsbüttel berücksichtigt aber den Betrieb als autarkes Zwischenlager und auch das geplante, aber nicht verwirklichte Zwischenlager in Obrigheim war für einen autarken Betrieb konzipiert.

Für die Lagerung der Behälter ist ein intaktes Doppeldeckeldichtsystem vorgeschrieben, das kontinuierlich auf Dichtheit überwacht wird. Aufgrund der technischen Auslegung stellt auch jeder Deckel einzeln die Dichtheit des Behälters sicher. Mit dem Doppeldeckeldichtsystem wird eine redundante Qualität erreicht, die eine langfristige Funktionssicherheit gewährleisten soll und zur Dichtheitsüberwachung genutzt wird. Dementsprechend sieht (ESK 2013b) vor, diese Doppelbarriere im Schadensfall wiederherzustellen. Bei einer Undichtigkeit des Sekundärdeckels ist ein Austausch der Dichtung vorgesehen, die im Zwischenlager erfolgen kann. Eine Reparatur am Primärdeckel kann hingegen nur in einer „heißen Zelle“ wie der Pilotkonditionierungsanlage (PKA) in Gorleben oder unter Wasser wie im Brennelementbecken eines Kernkraftwerks erfolgen. Alternativ zur Reparatur kann bei einem Defekt des Primärdeckels mit einem aufzuschweißenden „Fügedeckel“ die Doppelbarriere, dann bestehend aus Sekundärdeckel und Fügedeckel, regelwerkskonform wieder hergestellt werden. In (Neumann 2014) wird die Ausführung mit Fügedeckel im Vergleich zum Primär-/Sekundärdeckel System als nachteiliger angesehen vor allem im Hinblick auf Störfallsituationen, aber auch hinsichtlich der Zugänglichkeit zum Behälterinneren.

Um einen Behälter transportieren zu können, ist eine Transportgenehmigung gemäß der Gefahrgutvorschriften erforderlich. Für den Transport auf öffentlichen Straßen ist für die meisten CASTOR® Typen entweder ein intakter Primärdeckel oder ein intakter Sekundärdeckel ausreichend (ESK 2014b). Mit der im September 2017 für die Zwischenlager Philippsburg, Biblis, Brokdorf und Isar beantragten Einlagerung von verglasten Abfällen aus der Wiederaufarbeitung in Castorbehältern des Typs HAW28M wird das Reparaturkonzept im Rahmen des Genehmigungsverfahrens sicherheitstechnisch zu bewerten sein. Nach derzeitigem Stand der Diskussion kann auch für den CASTOR® HAW28M bei Versagen des Primärdeckels mit einem aufzuschweißenden Fügedeckel das für den Lagerbetrieb erforderliche Doppeldeckeldichtprinzip wieder hergestellt werden. Damit ist der Behälter aber nicht mehr transportierbar, da die derzeit bestehende Behälterzulassung bei diesem speziellen Behältertyp für den Transport nur einen dichten Primärdeckel zulässt (BMUB 2015c). Aus Sicht der ESK (ESK 2014b) ist das Versagen eines Primärdeckels des CASTOR® HAW28M wenig wahrscheinlich, wenn auch nicht auszuschließen. Das Reparaturkonzept mit Fügedeckel wird für den Lagerbetrieb als anforderungsgemäß eingestuft. Sollte für einen solchen Behälter die Reparatur mit Fügedeckel erforderlich werden, muss für einen späteren Transport ein Zustand erreicht werden, der den verkehrsrechtlichen Anforderungen entspricht. Die ESK schlägt dafür ein abgestuftes Konzept vor, das zunächst vorsieht, ein alternatives Deckelsystem für den Transport zu qualifizieren und zuzulassen. Sollte das nicht gelingen, müssen Maßnahmen ergriffen werden, die entweder den Austausch des Primärdeckels oder das Umladen in einen anderen Behälter mit intaktem Deckelsystem ermöglichen (ESK 2014b). Dafür wäre dann vor Ort eine „heiße Zelle“ erforderlich. Im Genehmigungsantrag soll deshalb dargelegt werden, wie eine heiße Zelle an den betroffenen Zwischenlagerstandorten eingerichtet werden kann. Die tatsächliche Errichtung kann dann im

Bedarfsfall erfolgen. Dieser Vorgehensweise ist das BMUB in seinem Gesamtkonzept zur Rückführung von verglasten radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung (BMUB 2015c) gefolgt.

2.2.3 Bedarf eines längeren Betriebs von Zwischenlagern

Bereits jetzt gilt es als sicher dass der genehmigte Zwischenlagerzeitraum von 40 Jahren nicht ausreichen wird, da bis dahin noch kein betriebsbereites Endlager zur Verfügung stehen wird (siehe auch Kapitel 1.1). Der im Nationalen Entsorgungsprogramm (BMUB 2015a) genannte Inbetriebnahme-Zeitpunkt für ein Endlager im Jahr 2050 wird nach wie vor kontrovers diskutiert, er gilt vielfach als (zu) optimistisch (Endlagerkommission 2016; ESK 2015; Thomaske 2016). Stattdessen wird meist über Zwischenlagerzeiträume von noch etlichen Jahrzehnten diskutiert.

Die Konsequenz aus der absehbar langen Verfahrensdauer der Endlagersuche ist eine Vielzahl von offenen Fragen nach der langfristigen Sicherheit der Zwischenlager, dem zukünftigen Zwischenlagerkonzept im Allgemeinen und dem Umgang mit Alterungseffekten. Der aktuelle Sicherheitsstatus der Zwischenlager wurde bereits in Kapitel 2.1 behandelt. Im Hinblick auf die langfristige Sicherheit sind dem gegenüber verstärkt die Auswirkungen von Alterungseffekten zu berücksichtigen. Als Alterungseffekte sind Komponentenversagen, Korrosion oder Materialveränderungen am Behälter oder Inventar zu nennen, aber auch Wissensverlust oder unzureichende Verfügbarkeit der Dokumentation. Art und Umfang potenzieller Schäden sind abhängig von der Zwischenlagerdauer, von Materialeigenschaften, Strukturen und Umweltbedingungen (Köhnke et al. 2017). Aber auch organisatorische Aspekte tragen zum Schadensrisiko bei. Prognosen des Zustands im Behälterinneren haben das Problem, dass sie bisher nur auf Basis von Messungen an der Behälteroberfläche (Köhnke et al. 2017) und von Modellrechnungen, ausgehend von der Beladung des Behälters, erfolgen können. Forderungen nach einer „heißen Zelle“ an Zwischenlagerstandorten, in denen Behälter geöffnet und der Inhalt unmittelbar inspiziert werden kann, werden deshalb auch hinsichtlich des Überwachungsbedarfs häufig erhoben (z.B. (Neumann 2014)). Vieles zum Thema Alterung – insbesondere im Hinblick auf das Verhalten der Brennelemente - ist auch in der Fachwelt noch nicht hinreichend verstanden und bedarf weiterer Forschung, die in den letzten Jahren national und international intensiviert wurde (Geupel et al. 2015; Köhnke et al. 2017).

Die Zwischenlagerung über die genehmigten 40 Jahre hinaus wirft neben den sicherheitstechnischen Aspekten auch Fragen nach dem zukünftigen Konzept auf. Das Diskussionspapier der ESK (ESK 2015) stellt beispielsweise zur Diskussion, ob alle Zwischenlager beibehalten werden sollen oder ob eine Reduzierung auf mehrere regionale bzw. ein zentrales Zwischenlager Vorteile bietet. Diskutiert wird in diesem Zusammenhang auch, zu welchem Zeitpunkt des Verfahrens ein Eingangslager für den zukünftigen Endlagerstandort frühestens errichtet werden könnte. BMUB beschreibt diesbezüglich im Nationalen Entsorgungsprogramm

„Mit der ersten Teilgenehmigung für das Endlager [...] soll am Standort auch ein Eingangslager für alle bestrahlten Brennelemente und Abfälle aus der Wiederaufarbeitung genehmigt und damit die Voraussetzung für den Beginn der Räumung der bestehenden Zwischenlager geschaffen werden“. (BMUB 2015a)

Dieser Vorschlag ist nicht unumstritten. Das Standortauswahlgesetz sieht vor, dass nach der Standortentscheidung zwar der vorgesehene Endlagerstandort verbindlich feststeht, dass aber „die Eignung des Vorhabens im Genehmigungsverfahren vollumfänglich zu prüfen“⁵⁴ ist. Die Genehmigung eines Eingangslagers mit einer ersten Teilgenehmigung kann hier als Präjudizierung eines Standortes

⁵⁴ StandAG, §20(3)

wahrgenommen werden, dessen Eignung noch nicht abschließend geprüft ist. So fordert beispielsweise der BUND in einer Stellungnahme zum Nationalen Entsorgungsprogramm:

„Ein Eingangslager für hoch radioaktive Abfälle darf erst nach einer endgültigen Genehmigung eines „Endlagers“ errichtet werden. Seine Dimensionierung als Zwischenlager mit bis zu 500 Castor-Behältern für alle abgebrannten Brennelemente und Wiederaufarbeitungsabfälle bedarf einer Alternativen-Abwägung.“ (BUND 2015)

2.3 Welche unterschiedlichen Sichtweisen gibt es in dieser Diskussion und wie sind diese zu bewerten?

Für die sicherheitstechnische Bewertung der Zwischenlager durch die Öffentlichkeit ist aktuell der Entzug der Genehmigung des Zwischenlagers Brunsbüttel durch das OVG Schleswig-Holstein maßgeblich (OVG Schleswig-Holstein AZ: 4 KS 3/08). So betont die Genehmigungsbehörde (BfS, heute BfE), dass die Frage der tatsächlichen Sicherheit des Zwischenlagers gar nicht gerichtlich entschieden wurde: *„Die Gerichte haben sich zur Frage der tatsächlichen Sicherheit etwa gegen Terrorangriffe nicht geäußert. Bemängelt wurde der Umfang der Ermittlungen im Genehmigungsverfahren in diesem Bereich.“ (BfE 2017b)*. Eine gegenteilige Sichtweise vertritt beispielsweise der BUND, der in einem Eckpunktepapier zur Zwischenlagerung eine unzureichende Betrachtung und den daraus resultierenden unzureichenden Nachweis als Beeinträchtigung der Sicherheit einstuft: *„Das Brunsbüttel-Urteil des OVG Schleswig zum gleichnamigen Zwischenlager zeigt, dass ein ausreichender Schutz gegen Gefahren von außen (Flugzeugabstürze, Terroranschläge, sog. Störmaßnahmen und sonstige Einwirkungen Dritter SEWD) nicht nachgewiesen ist.“ (BUND 2017)*.

Die Genehmigungsbehörde beruft sich im Fall des Zwischenlagers Brunsbüttel darauf, dass sie aus Gründen der Geheimhaltung dem Gericht nicht detailliert darlegen konnte, wie die Anforderungen des Atomgesetzes zum Schutz vor Einwirkungen Dritter erfüllt werden (BfE 2017a). Die Sachverständige der Gegenseite widerspricht dieser Darstellung und legt dar, dass *„im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen fehlerhaft bewertet und ermittelt wurde.“ (Becker 2017)*.

Das Gericht war im Verfahren beispielsweise nicht davon zu überzeugen, dass die zugrunde gelegten Annahmen aus dem Jahr 1992 hinsichtlich verfügbarer Waffensysteme auch noch zum Genehmigungszeitpunkt 2003 repräsentativ gewesen sein sollen, da die Klageseite über leistungsstärkere Waffen mit höherer Zerstörungskraft berichten konnte (OVG Schleswig-Holstein AZ: 4 KS 3/08). Auch folgte das Gericht der Klägerseite hinsichtlich einer unzureichenden Berücksichtigung eines beabsichtigten Flugzeugabsturzes mit einer großen Verkehrsmaschine.

Bundesumweltministerin Hendricks schloss sich in einer Pressemitteilung von 2015 (BMUB 2015b) der Einschätzung an, dass Geheimhaltungspflichten die Offenlegung der umfassenden Prüfungen der Genehmigungsbehörde untersagten. Sie kündigte aber auch eine Prüfung an, wie geheimhaltungsbedürftige Unterlagen zukünftig in solchen Verfahren berücksichtigt werden könnten. Ein Ergebnis dieser Prüfung ist bisher nicht veröffentlicht.

Hinsichtlich anderer Zwischenlager wird von Seiten der Genehmigungsbehörde auf die laufenden Maßnahmen im Zusammenhang mit der so genannten „Härtung“ verwiesen. Sie sind nicht im Zusammenhang mit dem Brunsbüttel-Urteil ergriffen worden, sondern wurden aufgrund einer insgesamt verschärften Einschätzung von Bedrohungsszenarien erforderlich. Als Weiterentwicklung gegenüber dem bisherigen Status Quo stellen sie einen zusätzlichen Schutz dar. Die Einschätzung, dieser Schutz sei nach Umsetzung der Maßnahmen hinreichend, wird in (Becker 2017) nicht geteilt. Nicht nur aufgrund des Brunsbüttel-Urteils, auch im Hinblick auf die langen Zwischenlagerzeiten wird hier eine weitere Verbesserung zum Schutz der Zwischenlager eingefordert.

Auch für das Zwischenlager Unterweser ist ein Klageverfahren anhängig, bei dem die Kläger Sicherheitsmängel anführen. Die Klage zweier benachbarter Landwirte vor dem

Oberverwaltungsgericht Lüneburg wurde 2010 zunächst abgewiesen. Die Revision der Kläger vor dem Bundesverwaltungsgericht führte 2012 zur Aufhebung dieses Urteils und der Rücküberweisung an das OVG Lüneburg. Begründet wurde dies nicht mit den von den Klägern angeführten Verfahrensfehlern sondern im Hinblick auf die notwendige Beurteilung der Frage einer ausreichenden Berücksichtigung des Schutzes gegen Störmaßnahmen oder sonstiger Einwirkungen Dritter (Bundesverwaltungsgericht (BVerwG) 7 C 1.11). Das Oberverwaltungsgericht Lüneburg hat noch keine Entscheidung über die Rechtmäßigkeit der Genehmigung für das Zwischenlager Unterweser getroffen.

Die Konsequenz aus dem Wegfall der Genehmigung für das Zwischenlager Brunsbüttel ist die Fortführung des Betriebs auf Basis einer Anordnung durch die zuständige Aufsichtsbehörde in Schleswig Holstein. Die Anordnung wurde sogar darauf ausgedehnt, weitere Behälter mit abgebrannten Brennelementen zu beladen und für die Zwischenlagerung bereitzustellen. Begründet wurde dies damit, dass die in Castor-Behälter verpackten Brennelemente sicherer im Standortzwischenlager aufbewahrt werden können als im Brennelementbecken des Kernkraftwerks (MELUND 2017).

Ein ebenfalls kontrovers diskutiertes Thema ist die Frage nach der Erfordernis von Transporten wie der Transport von Castor-Behältern aus Obrigheim nach Neckarwestheim über den Neckar und der Rücktransport hoch radioaktiver Abfälle aus den Wiederaufarbeitungsanlagen in Frankreich und Großbritannien. Auch das Auslaufen der Zwischenlagerebene des AVR Behälterlagers in Jülich berührt diese Frage, da zwei der drei in Betracht gezogenen Entsorgungsoptionen Transporte nach sich ziehen, nämlich die Option Abgabe in das Herkunftsland USA und die Zwischenlagerung im TBL-A in Ahaus. In der Diskussion um die Sicherheit von Transporten stehen Argumente wie die Erhöhung der Sicherheit durch Transfer in ein Zwischenlager mit höherem Sicherheitsniveau (z.B. aus dem Nasslagerbecken von Obrigheim in die trockene Zwischenlagerung in Neckarwestheim) Argumenten der Verwundbarkeit von Behältern während des Transports durch Beschuss mit einer tragbaren panzerbrechenden Waffe gegenüber (siehe auch (Becker 2017)). In Kapitel 2.9 gehen wir auf die Frage nach der Vermeidung von Transporten näher ein.

Für die AVR Behälter aus Jülich hält Greenpeace alleine die Variante Zwischenlagerneubau am Standort für vertretbar (Greenpeace 2016). Transporte werden als mit zu vielen Risiken behaftet eingestuft, der Transport in die USA auch aufgrund des deutschen Exportverbots als illegal bewertet. Gegen letzteren hat Greenpeace Beschwerde bei der Europäischen Union eingelegt. Zudem wehren sich die Betroffenen in den USA. Auch von (Moormann 2017) wird die Terrorgefahr als das bestimmende Risiko bei Transporten sowie bei der Zwischenlagerung eingestuft und auf den besonders dringlichen Bedarf hinsichtlich einer Verbesserung des SEWD Schutzes von Zwischenlagerkonzepten und von Castor-Transporten hingewiesen.

In einer Studie für den BUND spricht sich Becker in (Becker 2017) ausdrücklich gegen die Durchführung unnötiger Transporte aus. Diese sind aus ihrer Sicht immer dann gegeben, wenn mit dem Transport nur Zwischenlösungen erreicht werden, wie beispielsweise die Transporte von Obrigheim nach Neckarwestheim, ohne Vorliegen eines Gesamtkonzeptes zur Zwischenlagerung über die genehmigten 40 Jahre hinaus mit der Konsequenz, dass weitere Transporte erforderlich werden können. Sie plädiert aber auch für das Abwägen zwischen dem Sicherheitsstatus eines Zwischenlagers und dem Risiko eines Transportes. Letztlich ist aus ihrer Sicht das Gesamtrisiko für die Bevölkerung maßgeblich: „In einem Abwägungsprozess sollten die Risiken von notwendigen Lagerungen und Transporten im Rahmen eines Gesamtkonzeptes für die Zwischenlagerung bewertet werden.“ (Becker 2017).

2.4 Wie können bei der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle Wissen, Erfahrung, Begutachtung und Aufsicht langfristig gesichert werden?

Wie auch bei anderen kerntechnischen Anlagen ist bei Zwischenlagern gemäß § 6 des Atomgesetzes die erforderliche Fachkunde des Personals eine Genehmigungsvoraussetzung. Eine Richtlinie zur Fachkunde für den Zwischenlagerbetrieb, die diese Anforderung präzisiert, wie dies für Kernkraftwerke der Fall ist, liegt nicht vor. Hinweise für die Fachkunde von Strahlenschutzbeauftragten in Zwischenlagern ergeben sich aus der „Richtlinie für die Fachkunde von Strahlenschutzbeauftragten in Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen“ (BMUB 2014). Der VGB Power-Tech e.V. hat das Fehlen einer Fachkunderichtlinie zum Anlass genommen einen VGB Standard „Fachkunde und Kenntnisse verantwortlicher Personen in Anlagen nach § 6 AtG“ (VGB 2017) zu entwickeln, der Angaben zur Ausbildung und zum Fachkundeerhalt der verantwortlichen Personen und der Strahlenschutzbeauftragten macht. Die genannten Regelungen und Empfehlungen beziehen sich dabei alle auf den aktuellen Betrieb eines Zwischenlagers. Nicht thematisiert wird der langfristige Wissenserhalt.

Mit zunehmender Zwischenlagerdauer werden die heutigen Wissensträger, die nicht nur über dokumentierbare Informationen über Abläufe und Prozesse verfügen, sondern die auch das Wissen um die Entscheidungsgeschichte oder die Beweggründe dahinter haben, nicht mehr im Dienst sein. Dieses nicht-kodierte Wissen kann entscheidend sein, um beispielsweise Daten nachzuvollziehen (Geupel et al. 2015). Auch die genutzte Infrastruktur, z.B. Software und Hardware, wird viele Erneuerungszyklen durchlaufen. Eine Papierdokumentation unterliegt ebenfalls Alterungsprozessen, die zu berücksichtigen sind.

Auf die Betriebsphase mit Einlagerung der Behälter in die Zwischenlager wird eine lange, statische Phase der Lagerung folgen, an die sich die Auslagerungsphase mit dem Abtransport beispielsweise ins Endlager anschließt. Da für die abgebrannten Brennelemente in den Nasslagerbecken Abklingzeiten, aber auch logistische Fragen inklusive Lieferengpässen bei der Bereitstellung von Behältern zu berücksichtigen sind, ist in Deutschland die Einlagerungsphase in die Zwischenlager wahrscheinlich frühestens fünf Jahre nach Stilllegung des letzten Kernkraftwerks, mithin also 2027 abgeschlossen. Die statische Phase der Lagerung umfasst dann mindestens 30 Jahre, sofern nicht vor der Überführung an einen Endlagerstandort eine Umlagerung an einen anderen Standort zur Konditionierung oder weiteren Zwischenlagerung erfolgt. Der Zeitbedarf für die Auslagerung aus den Zwischenlagern ist abhängig von der Logistik der Überführung in das Endlager und ggf. vorgelagerten Schritte wie Konditionierung und Umverpackung. Zu den hiermit verbundenen Zeitbedarfen gibt es derzeit keine belastbaren Angaben.

Für Wissensmanagement und Dokumentation bedeutet dies die Sicherung und Verfügbarkeit von Informationen über viele Jahrzehnte. Beispielsweise sollten die Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Einlagerungsphase dem für die viel spätere Auslagerungsphase zuständigen Personal zur Verfügung stehen. Weitere relevante Informationen, beispielsweise Fertigungsdaten und Daten vom Brennelementeinsatz, sind bereits aus der Betriebszeit der Kernkraftwerke bis zur Auslagerung aus dem Zwischenlager und darüber hinaus verfügbar zu halten. Während der Lagerphase werden Erkenntnisse zur Alterung von Systemen und Komponenten generiert, auf die das Personal ebenfalls langfristig Zugriff haben muss.

Die ESK Leitlinie zum Zwischenlagerbetrieb (ESK 2013b) fordert für ein Zwischenlager die Etablierung eines Managementsystems durch den Betreiber, beginnend mit der Planung des Zwischenlagers bis zu seinem Rückbau. Das Managementsystem soll alle Anforderungen, Handlungsweisen und Prozesse in allen Betriebszuständen umfassen. Das Managementsystem muss regelmäßige Prüfungen der Maßnahmen und Prozesse auf Eignung und Wirksamkeit vorsehen mit dem Ziel einer kontinuierlichen Verbesserung. Mit dieser Prüfanforderung kann flexibel auf sich

verändernde Bedingungen während eines längerfristigen Betriebs eingegangen werden. Neue Erkenntnisse und Erfahrungen münden so – bei einer sorgfältigen Anwendung des Managementsystems – in kontinuierliche Anpassungen.

In der ESK Leitlinie zur periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) und zum technischen Alterungsmanagement (ESK 2014a) werden die Maßgaben an den Betreiber zur Überprüfung z.B. des Managementsystems auch im Hinblick auf den langfristigen Betrieb der Zwischenlager weiter ausgeführt. Auf das zu etablierende System gehen wir in Kapitel 2.5 dieses Gutachtens ein.

Hinsichtlich der Dokumentation macht die ESK Leitlinie (ESK 2013b) ebenfalls Vorgaben, die unter anderem die langfristige Lesbarkeit zum Ziel haben. So verweist sie auf eine sinngemäße Anwendung der KTA-Richtlinie 1404 zur Dokumentation beim Bau und Betrieb von Kernkraftwerken (KTA 2013). Verbindliche Vorgaben macht die Bekanntmachung des Bundes (BMU 1988) zu Grundsätzen der Dokumentation technischer Unterlagen bei Errichtung, Betrieb und Stilllegung von Kernkraftwerken, die sowohl zum Inhalt als auch zur langfristigen Verfügbarkeit der Dokumentation Aussagen macht.

Außerhalb des kerntechnischen Bereichs liegen in Bezug auf langfristige Dokumentation Erfahrungen aus dem Bereich der Arbeit der Archive vor, die auch auf langfristig verfügbar zu haltende Abfalldaten angewendet werden können. So gibt die Konferenz der Leiterinnen und Leiter der Archivverwaltungen des Bundes und der Länder (KLA)⁵⁵ entsprechende Empfehlungen. Aus verschiedenen DIN- und ISO-Normen zur elektronischen und papiernen Archivierung lassen sich außerdem konkrete Vorgaben ableiten.

Empfehlungen und Richtlinien der Fachkommissionen wie ESK und KTA richten ihre Anforderungen an Managementsysteme und an die Dokumentation in der Regel an Anlagenbetreiber und nicht an weitere Akteure wie Behörden und Sachverständige. Die Internationale Atomenergie Organisation (IAEO) richtet ihre Empfehlungen, die auch Wissensmanagement und Dokumentation umfassen, dagegen auch an den Staat, wie z.B. im Specific Safety Guide „Storage of Spent Nuclear Fuel“ (IAEA 2012). Auch in (Geupel et al. 2015) wird darauf hingewiesen, dass die langfristige Sicherstellung von Wissen und Erfahrung nicht ausschließlich eine Betreiberaufgabe ist. Sie ist auch von den zuständigen Behörden, insbesondere den zuständigen Aufsichtsbehörden, zu gewährleisten. Auch hier sind Erfahrungen und Erkenntnisse aus der aufsichtlichen Praxis langfristig zu erhalten.

Das in der Vergangenheit Wissensmanagement und Dokumentation von Informationen teilweise unzureichend waren, zeigen Beispiele wie die lückenhafte Dokumentation über die in der Asse eingelagerten Abfälle oder die mangelhaften Kenntnisse mancher schwach- und mittelradioaktiver sehr alter Abfälle, die beispielsweise mit Unterstützung bereits in Rente befindlicher Mitarbeiter nacherfasst werden mussten. Die Folge sind zeit- und kostenintensive Bestandsaufnahmen sowie der Ersatz fehlender Information durch Abschätzungen und Modelle.

Das Standortauswahlgesetz (StandAG 2017) enthält in § 38 die Bestimmung, dass *„Daten und Dokumente, die für die End- und Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle bedeutsam sind oder werden können“* vom BfE dauerhaft gespeichert werden. § 38 ermächtigt außerdem das Bundesumweltministerium, Einzelheiten zu Inhalt, Verwendungszweck, Umfang, Übermittlung, Speicherung und Nutzung dieser Daten in einer Rechtsverordnung zu bestimmen. Bis dato liegt eine solche Verordnung noch nicht vor.

Auf den langfristigen Bedarf an Kompetenzen, die sich nicht nur aus einem langen Zwischenlagerbetrieb ergeben, hat jüngst die ESK im September 2017 mit einem Memorandum hingewiesen (ESK 2017b). Sie betont darin die Sorge, dass dauerhaft nicht genügend kompetentes

⁵⁵ Empfehlungen der KLA unter <https://www.bundesarchiv.de/fachinformationen/ark/index.html>

Personal zur Verfügung steht, um die langfristigen Aufgaben der nuklearen Entsorgung wahrzunehmen. Denn letztlich sind es Personen, ihrer Fähigkeiten und Kenntnisse, die die sichere Durchführung des nuklearen Entsorgungsmanagements gewährleisten. Die Aufgabe ist demnach nicht allein durch die oben genannten Maßnahmen der Betreiber- und Behördenseite zu lösen sondern erfordert auch eine entsprechende Aufmerksamkeit politischer Entscheider, angemessene und attraktive Aktivitäten im Bereich der Forschung und Ausbildung, sowie attraktive Berufsbilder mit positivem Image.

Zusammenfassend sind bei der Fragestellung nach Wissensmanagement und Dokumentation zwei Aspekte zu unterscheiden: Ein Aspekt betrifft die Inhalte und den Umfang der erforderlichen Daten, der andere die Sicherstellung der langfristigen Verfügbarkeit durch technische und organisatorische Vorkehrungen. Betroffen sind alle beteiligten Akteure, also Betreiber, Sachverständige und Behörden. Trotz der Fortentwicklungen der Anforderungen an Wissensmanagement und Dokumentation (z.B. ESK-Leitlinien) kann nie ganz ausgeschlossen werden, dass selbst bei optimaler Umsetzung dieser Anforderungen über die Jahrzehnte Wissen verloren geht, sei es, weil es von Anfang an nicht dokumentiert wurde oder weil es im Laufe der Jahrzehnte technisch nicht mehr verfügbar ist. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Pflege der Datenbestände auch finanzieller Ressourcen bedarf.

Dem Informationsverlust entgegenwirkende Maßnahmen sind regelmäßige Überprüfungen wie z.B. im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfung. Mit einer Personalplanung können der zukünftige Bedarf erfasst und insbesondere Engpässe analysiert werden. Zur Weitergabe von Erfahrungswissen sind bei Personalwechsel ausreichend lange Übergangszeiten sowie Mentorenprogramme oder Workshops geeignete Instrumente (Geupel et al. 2015).

2.5 Wie kann ein effektives Alterungsmanagement für die Zwischenlager betrieben werden?

Die Erfordernis eines Alterungsmanagements für Zwischenlager und die daran zu stellenden Anforderungen werden in der ESK Empfehlung „Leitlinien zur Durchführung von periodischen Sicherheitsüberprüfungen und zum technischen Alterungsmanagement für Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente und Wärme entwickelnde Abfälle“ (ESK 2014a) beschrieben. Die ESK-Empfehlung konkretisiert die in AtG §19a festgeschriebene Anforderung nach kontinuierlicher Verbesserung der Sicherheit kerntechnischer Anlagen.

Gemäß der ESK-Empfehlung erfolgt die Etablierung des technischen Alterungsmanagements durch den Betreiber für die eigene Anlage. Nichttechnische Aspekte, die ebenfalls negativen Effekten der Alterung unterliegen, wie beispielsweise der Kompetenzerhalt oder die Aktualität von Prüfprozessen, sollen im Sicherheitsmanagement des Betreibers berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist die Langzeitdokumentation als von Alterung betroffen zu nennen, für die die ESK-Empfehlung auf die einschlägige KTA 1404 verweist (siehe dazu auch Kapitel 2.4).

Alle zehn Jahre ist durch den Betreiber eine periodische Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) durchzuführen, die der Bewertung des Sicherheitsstatus des Zwischenlagers in seiner Gesamtheit dient. Im Rahmen der PSÜ sind u.a. auch die Managementinstrumente zu bewerten. Bei der Bewertung sollen längerfristige Entwicklungen (mit fortschreitender Dauer der Zwischenlagerung also auch Alterungseffekte) in den Blick genommen werden, um vorsorgliche Anpassungen ableiten zu können. Als Konsequenz aus der Bewertung des Sicherheitsstatus der Anlage soll der Betreiber ggf. einen Maßnahmenplan zur weiteren Verbesserung der Sicherheit der Anlage entwickeln.

Die Berichte zum Alterungsmanagement und zur periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) werden der jeweils zuständigen Aufsichtsbehörde und ihren Sachverständigen zur Bewertung vorgelegt. Für das Alterungsmanagement sind von Seiten des Betreibers jährlich, ggf. auch anlassbezogen, Berichte vorzulegen. Der Bericht zur PSÜ wird im 10-Jahresrhythmus erstellt. Gemäß (ESK 2014a) sollen die

Berichte der Behörde der Ergänzung der eigenen Aufsichtstätigkeit dienen. Maßnahmen zur weiteren Verbesserung der Sicherheit werden durch sie festgelegt und ihre Umsetzung wird überwacht.

Die Aufsichtsbehörde soll die Ergebnisse der PSÜ in einem zusammenfassenden Bericht der Genehmigungsbehörde zur Kenntnis vorlegen. Die Genehmigungsbehörde kann aus den Berichten eigene Erkenntnisse für laufende und zukünftige Genehmigungsverfahren ableiten.

Hinsichtlich des Inhalts umfasst das technische Alterungsmanagement die Erstellung eines Überwachungskonzepts, das Schädigungsmechanismen und Überwachungsmaßnahmen bezogen auf die einzelnen Komponenten benennt. In das Überwachungskonzept sind alle Überprüfungen einzubeziehen, beispielsweise Prüfungen im Rahmen der Instandhaltung, der betriebsbegleitenden Überwachung oder die Wiederkehrenden Prüfungen (WKP). Die nachfolgende Tabelle stellt beispielhaft den Aufbau eines solchen Überwachungskonzepts gemäß ESK-Empfehlung dar. In das Alterungsmanagement einbezogen sind Systeme und Komponenten, die unmittelbar oder mittelbar der Einhaltung der Schutzziele, wie in (ESK 2013b) definiert, dienen. Für andere technische Einrichtungen macht (ESK 2014a) keine Vorgaben.

Tabelle 1: Bestandteile des Überwachungskonzepts als Grundlage für das technische Alterungsmanagement gemäß ESK-Empfehlung (ESK 2014a)

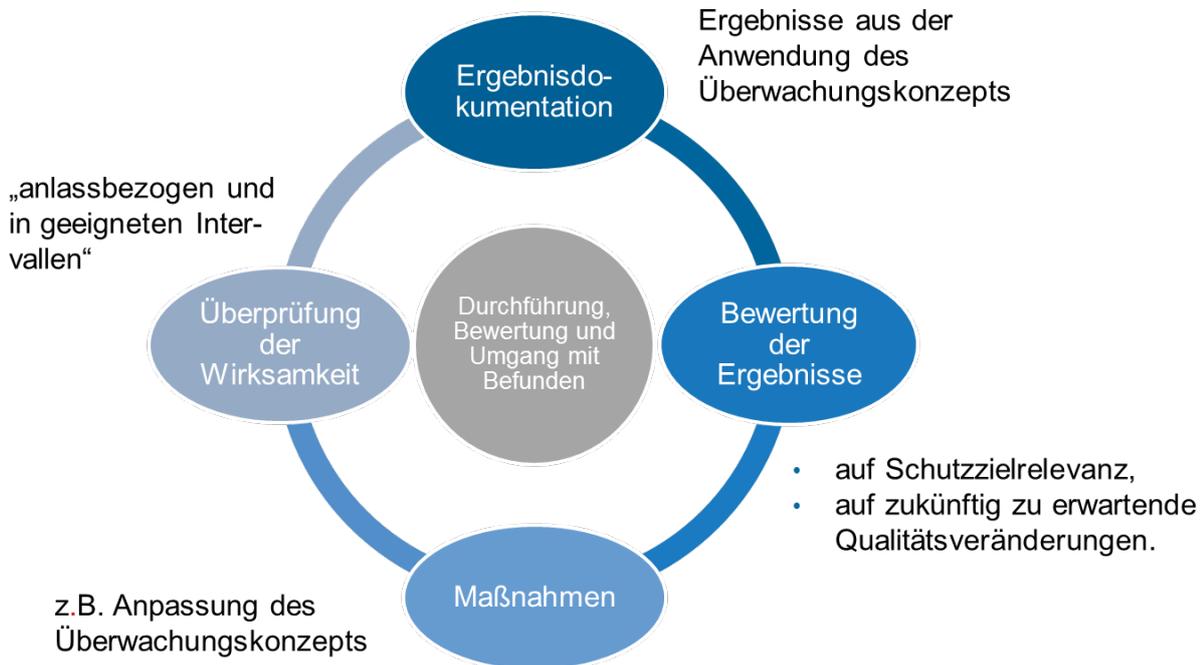
Überwachungskonzept		
System / Komponente 1		
Beschreibung, Austauschbarkeit		
Schädigungsmechanismus	Überwachungsmaßnahme	Prüfhandbuch
Schädigungsmechanismus A	Überwachungsmaßnahme X	Prüfanweisung 1
Schädigungsmechanismus B	Überwachungsmaßnahme Y	Prüfanweisung 2
Schädigungsmechanismus C	Überwachungsmaßnahme Z	Prüfanweisung 3
u. s. w.	u. s. w.	u. s. w.

Quelle: eigene Darstellung

Aus der Anwendung der im Überwachungskonzept festgelegten Überprüfungen resultieren Ergebnisse, die einerseits hinsichtlich der Gewährleistung der Schutzziele und andererseits hinsichtlich zukünftig zu erwartender Qualitätsveränderungen und Beanspruchungen zu bewerten sind. Werden Alterungsbefunde festgestellt, ist zu bewerten, ob und welche Maßnahmen erforderlich sind und wie dringlich ihre Umsetzung ist. Maßnahmen können z.B. von Veränderungen des Überwachungskonzepts bis zum Austausch des Systems oder der Komponente reichen. Außerdem ist zu bewerten, ob sich die Alterungsbefunde auf andere Systeme übertragen lassen. Letzter Schritt ist die Überprüfung der Wirksamkeit der umgesetzten Maßnahmen. Auch diese Ergebnisse sind zu bewerten und ggf. durch weitere Maßnahmen zu optimieren, die wieder überprüft werden müssen.

In der nachfolgenden Abbildung ist der Ablauf des Alterungsmanagements, wie in der ESK Empfehlung (ESK 2014a) beschrieben, schematisch dargestellt. Das Konzept basiert auf dem so genannten „Plan-Do-Check-Act-Zyklus“, der auf ein sich selbst optimierendes System abzielt und Managementsystemen z.B. nach ISO 9000 zugrunde liegt.

Abbildung 2: Umsetzung und Konsequenzen aus dem Überwachungskonzept im Rahmen des technischen Alterungsmanagements gemäß ESK-Empfehlung (ESK 2014a)



Quelle: Öko-Institut (Bildrechte: CC BY-SA 2.0).

Die Etablierung eines Alterungsmanagements für Zwischenlager für hoch radioaktive Abfälle ist eine vergleichsweise neue Anforderung. Entsprechend dürfte es in den meisten Zwischenlagern noch im Aufbau bzw. in einer frühen Erprobungsphase sein. Maßnahmen zur Überprüfung und Überwachung von Systemen und Komponenten sind aber seit Beginn des Zwischenlagerbetriebs etabliert. Das technische Alterungsmanagement setzt also auf Vorhandenes auf und kann auf langjährige Betriebserfahrungen zurückgreifen. Auch das Sicherheitsmanagement und die Dokumentation sind eingeführte Instrumente der Organisation und des Betriebs von Zwischenlagern. Wesentlichen Anteil an der Effektivität und dem Erfolg dieser Instrumente hat der Betreiber als hauptsächlicher Anwender.

Langfristig können aus dem Alterungsmanagement neben dem Sicherheitsgewinn auch Daten und Informationen gewonnen werden, die für einzelne Komponenten eine Extrapolation auf spätere Zustände und/oder die Übertragbarkeit auf andere Komponenten ermöglichen. Relevant ist dabei auch der Erfahrungsaustausch der einzelnen Anlagen untereinander. Dieser eröffnet die Möglichkeit, beispielsweise Schädigungsmechanismen oder Häufungen bestimmter Auffälligkeiten frühzeitig festzustellen. Ergänzend hierzu ist der Austausch über nationale und internationale Forschung unverzichtbar.

Ein Aspekt, der im technischen Alterungsmanagement gemäß ESK (ESK 2014a) nicht explizit berücksichtigt wird, ist die Frage nach der langfristigen Verfügbarkeit von austauschbaren Komponenten wie beispielsweise dem Druckschalter in den Transport- und Lagerbehältern. Diskutiert wird der Aspekt der langfristigen Verfügbarkeit sicherheitsrelevanter Komponenten im Diskussionspapier der ESK (ESK 2015).

Da mittlerweile alle Standortzwischenlager eine Betriebszeit von mindestens 10 Jahren erreicht haben, befinden sich für alle Zwischenlager PSÜs in der Durchführung. Veröffentlichungen zu den Ergebnissen gibt es bisher nicht.

2.6 Wie können (einheitliche) Sicherheitskriterien und -anforderungen bei den Bauwerken gesichert werden?

Die Sicherheitsanforderungen sind für alle Zwischenlager für hochradioaktive Abfälle einheitlich geregelt. Das Zwischenlager wird dabei als Gesamtsystem aus Zwischenlagerbauwerk und Behältern mit den darin enthaltenen Abfällen und ihren spezifischen Barrieren zum Einschluss der radioaktiven Stoffe sowie ggf. weiteren Sicherungseinrichtungen betrachtet. Solange die Anforderungen eingehalten sind, sind die Genehmigungsvoraussetzungen für den Betrieb eines Zwischenlagers gegeben und das Zwischenlager wird genehmigt.

Die ESK hat Sicherheitsanforderungen an die Zwischenlagerung zuletzt 2013 als Leitlinie zusammengefasst (ESK 2013b). Die wesentlichen Anforderungen und Schutzziele hieraus sind in Kapitel 1.2 beschrieben. Dementsprechend schützen die Bauwerke der Zwischenlager in erster Linie die Abfallbehälter vor äußeren Einflüssen und unbefugtem Zugriff, tragen zur Abschirmung nach außen bei und sind so konstruiert, dass die passive Wärmeabfuhr gewährleistet ist.

Darüber hinaus gelten für die Bauwerke die allgemein anerkannten Regeln der Technik und weitere in der ESK-Leitlinie⁵⁶ (ESK 2013b) aufgeführten nutzungsspezifischen Anforderungen. Sie müssen an dieser Stelle nicht im Detail wiederholt werden. Es sei im Hinblick auf die absehbar längerfristige Zwischenlagerung aber auf den Hinweis der ESK in Bezug auf die Nutzungsdauer der Zwischenlagergebäude hingewiesen:

„Bei der Auslegung des Gebäudes ist die vorgesehene Nutzungsdauer im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Baustoffe und Bauteile zu berücksichtigen.“ (ESK 2013b)

Diese Anforderung verweist zunächst auf die der Genehmigung der Zwischenlager zugrunde gelegte Nutzungsdauer von 40 Jahren. Inwiefern die Auslegung der Gebäude ihre Nutzung auch nach Ablauf dieser Frist ermöglicht, wird in den kommenden Jahren zu prüfen sein. Dabei sind längere Nutzungsdauern nicht von vorne herein ausgeschlossen. In den Niederlanden beispielsweise ist der Lagerbereich für hochradioaktive Abfälle des dortigen Zwischenlagers „HABOG“ auf eine Lagerdauer von mindestens 100 Jahren ausgelegt⁵⁷. Während dieses Zeitraums sind auch Kapazitätserweiterungen durch den Zubau weiterer Lagergebäude möglich und vorgesehen.

Eine zentrale Frage in Bezug auf Sicherheit bzw. Sicherung ist die Weiterentwicklung der Anforderungen. Es ist dabei wichtig darauf hinzuweisen, dass das Regelwerk nicht die konkrete Umsetzung einer Anforderung, also beispielsweise eine Wanddicke oder Anzahl und Ausstattung von Sicherungspersonal, vorgibt, sondern die Lastfälle beschreibt, gegen die ein Zwischenlager mindestens ausgelegt werden muss. Dem Betreiber obliegt der Nachweis, dass das von ihm geplante bzw. betriebene Zwischenlager als Gesamtsystem das geforderte Schutzniveau für die vollständige Bandbreite der im Regelwerk vorgegebenen Lastfälle und Lastannahmen erreicht. Dieser Nachweis wird von der zuständigen Behörde geprüft und in der Umsetzung beaufsichtigt.

Im Rahmen der Weiterentwicklung des Regelwerks wurden in der Vergangenheit mehrfach die Anforderungen „Beherrschung eines Flugzeugabsturzes“ an sich ändernde Lasten bezüglich Masse, Geschwindigkeit und Betankung von Flugzeugen angepasst. War ursprünglich der Absturz eines Militärflugzeugs von Typ Starfighter Grundlage der Lastannahmen, so wurde später eine Anpassung des Absturz Szenarios an die Eigenschaften des deutlich schwereren Flugzeugtyps Phantom vorgenommen. Eine Auslegung gegen einen Starfighter-Absturz gilt daher beim ESK-Stresstest (ESK

⁵⁶ siehe dort Kapitel 7 für bauliche Einrichtungen, Kapitel 8 für technische Einrichtungen.

⁵⁷ siehe z. B. den aktuellen Bericht der Niederlande zur Joint Convention (MIE 2017), Seite 30: „The policy assumes that the radioactive waste and spent fuel will be stored in buildings [...] for a period of at least 100 years.“

2013a) als der niedrigste Schutzgrad. Für den Absturz eines zivilen Verkehrsflugzeugs wurden zunächst Flugzeuge des Typs Airbus A 340 bzw. Boeing 747 angenommen und der Auslegung zugrunde gelegt. Nach Indienststellung des Airbus A 380 gilt dieser als Prüfmaßstab⁵⁸ für Genehmigungsverfahren.

Die baulichen Einrichtungen spielen in der Frage der Beherrschung von Einwirkungen Dritter (SEWD) eine wichtige Rolle. Auch hierfür gibt es einheitliche Anforderungen, die aus den oben beschriebenen Gründen der Geheimhaltung unterliegen. Auch für die Lastannahmen für SEWD erfolgten dabei Weiterentwicklungen. Diese haben zu den seit 2010 laufenden Nachrüstverfahren bei den vorhandenen Zwischenlagern geführt (siehe auch Kapitel 2.1.2). Seit dem 11. September 2001 ist dabei auch ein absichtlich herbeigeführter Absturz eines Verkehrsflugzeugs zu betrachten.

Derartige Neubewertungen der Lastannahmen sind vor dem Hintergrund sich verändernder Randbedingungen unverzichtbar. Wesentliche Auslöser von Neubewertungen sind hierbei Lastannahmen zu Flugzeugabsturzscenarien, Anpassung an klimatische Veränderungen (z.B. bezüglich Hochwasserszenarien oder Starkniederschlägen) und SEWD-Szenarien (z.B. in Bezug auf Täterverhalten und Waffentechnik).

Neue Lastannahmen bedeuten dabei nicht zwingend Nachrüstbedarf für bestehende Zwischenlager. Zunächst muss eine Prüfung dahingehend erfolgen, ob das Zwischenlager bei höherer Lastannahme (z.B. beim Absturz eines größeren Flugzeugs) seine Sicherheitsfunktionen weiterhin erfüllt. Der ESK-Stresstest (siehe auch Kapitel 2.1.1 und (ESK2013a)) ist ein Beispiel für eine derartige Prüfung.

Kann die Erfüllung einer erhöhten Anforderung nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden, muss der verantwortliche Betreiber nachrüsten, was dann wiederum Gegenstand eines atomrechtlichen und, in Bezug auf bauliche Maßnahmen, eines baurechtlichen Genehmigungsverfahrens ist⁵⁹.

Die ESK hat in ihrem Stresstest (ESK 2013a) festgestellt, dass im Hinblick auf Einwirkungen von außen (EVA) „[d]ie Auslegung der Behälter [sicher] stellt, dass auch bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen keine einschneidenden Maßnahmen des Katastrophenschutzes erforderlich werden.“. Sofern beim Störfall Flugzeugabsturz zu unterstellen ist, dass das Gebäude zerstört wird, wurden in den Genehmigungsverfahren entsprechende Nachweise geführt, dass weder durch Flugzeugteile, noch durch herabstürzende Trümmer noch durch die vorübergehende Bedeckung der Behälter mit Gebädetrümmern und die damit reduzierte Wärmeabfuhr erhebliche Freisetzungen aus den Behältern erfolgen. Die ESK verweist bezüglich ihrer Bewertungen zum gezielten Flugzeugabsturz auf Prüfergebnisse des BfS. Für das AVR-Behälterlager Jülich führt die ESK an, dass für dieses Zwischenlager in Bezug auf Erdbebensicherheit und Flugzeugabsturz keine ausreichenden Nachweise vorgelegt wurden. Sie verweist im Weiteren auf das laufende Genehmigungsverfahren.

Die Widerstandsfähigkeit der Zwischenlager gegenüber weiterentwickelten Bedrohungsszenarien eines herbeigeführten Flugzeugabsturzes und eines Angriffs mit panzerbrechenden Waffen ist Gegenstand aktueller Diskurse. Dies zeigt der Entzug der Genehmigung des Zwischenlagers Brunsbüttel (OVG Schleswig-Holstein AZ: 4 KS 3/08) und die fortdauernde Diskussion um die Hintergründe des Urteils⁶⁰ und die Auswirkungen auf andere Zwischenlager⁶¹. Streitpunkte sind vor

⁵⁸ siehe auch http://www.bfe.bund.de/DE/ne/zwischenlager/genehmigung/flugzeugabsturz/flugzeugabsturz_node.html letzter Zugriff am 18.12.17

⁵⁹ siehe hierzu auch die Angaben des BfE zu den einzelnen laufenden Genehmigungsverfahren unter http://www.bfe.bund.de/DE/ne/zwischenlager/zwischenlager_node.html, letzter Zugriff am 18.12.2017

⁶⁰ siehe diesbezüglich auch <http://www.atommuellreport.de/themen/zwischenlager/einzelansicht/das-brunsbuettel-urteil-und-seine-folgen.html>, zuletzt abgerufen am 13.12.2017, oder zum Standpunkt der Behörde die Broschüre des BfE zum Zwischenlager Brunsbüttel (BfE 2017c)

allein die seitens der Kläger vorgebrachten Zweifel, ob die bei der Auslegung des Zwischenlagers zugrunde gelegten Lastannahmen zum Zeitpunkt der Genehmigung noch aktuell waren. Waren sie veraltet stellt sich unmittelbar die Frage, ob sie nicht angemessen weiter entwickelt worden sind. Hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen ist also die regelmäßige Überprüfung und erforderlichenfalls Anpassung der Lastannahmen eine zentrale Aufgabe.

Für die einzelnen Anlagen stellt sich letztendlich die Frage, ob und wieweit die Gebäude oder das Zwischenlager als Gesamtsystem an geänderte Anforderungen angepasst werden können, wenn sich dies als notwendig erweist. Maßstab ist auch hier die nach (AtG 2017) erforderliche Vorsorge gegen Schäden und der hierfür anzusetzende Stand von Wissenschaft und Technik. Zweifel daran, ob dies gelungen ist, haben letztlich zum Entzug der Genehmigung für das Zwischenlager Brunsbüttel beigetragen. Vor diesem Hintergrund wird auch in den mit Ablauf der befristeten Genehmigungen anstehenden neuen Genehmigungsverfahren zu prüfen sein, welche Lastannahmen einer Neugenehmigung zugrunde zu legen sind. Unabhängig davon, ob eine Weiternutzung oder ein Neubau von Gebäuden angestrebt wird, ist dann nachzuweisen, dass der erforderliche Schutz gegen diese Einwirkungen gegeben ist. Den Implikationen aus einem sich hieraus ergebenden Nachrüstbedarf geht das folgende Kapitel 2.7 nach.

Bis dato ungeklärt ist im Übrigen das weitere Verfahren nach Ablauf der Genehmigungen für die einzelnen Behälter, beginnend bereits im Jahr 2032 mit den im TBL-A lagernden Behältern mit abgebrannten THTR-Brennelementkugeln (siehe auch Kapitel 1.1). Grundsätzlich ist auch hier mit Ablauf der Genehmigung zu prüfen, ob die jeweiligen Behälter den erforderlichen Schutz weiterhin gewährleisten, bzw. welche Konsequenzen aus Alterungserscheinungen oder geänderten Lastannahmen abzuleiten sind. Neben der weitgehend unveränderten Weiternutzung der derzeitigen Behälter diskutiert Köhler auch die Entwicklung optimierter Zwischenlagerbehälter oder die Nachertüchtigung der vorhandenen Behälter⁶². Änderungen am Behälterkonzept während der Zwischenlagerung sollten allerdings unbedingt den gesamten Entsorgungspfad berücksichtigen, der neben der Zwischenlagerung den Transport, ggf. Konditionierung und Umladen in spezielle Endlagerbehälter und die Endlagerung selbst umfasst, vgl. beispielsweise (ESK 2015).

2.7 Müssen die Gebäude aller Zwischenlager für hoch radioaktive Abfälle auf ein (einheitliches) Sicherheitsniveau gehoben werden?

Die ESK hat in (ESK 2013a) bestätigt, dass die Sicherheit der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle ganz überwiegend auf den Abfallbehältern beruht, die auch bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen (z.B. bei einem Flugzeugabsturz auf das Lager) die radioaktiven Stoffe so weitgehend einschließen oder zurückhalten, dass keine einschneidenden Maßnahmen des Katastrophenschutzes erforderlich werden. In der derzeitigen Sicherheitsphilosophie der Zwischenlagerung (s. a. Kapitel 1.2) ist ein vollwertiger Ersatz der Behälterfunktionen durch das Zwischenlagergebäude⁶³ für den Fall eines Behälterversagens nicht vorgesehen. Das Gebäude hat vielmehr ergänzende Sicherheitsfunktionen: es schützt den Behälter vor äußeren Einflüssen und unbefugtem Zugriff, behindert dabei die Wärmeabfuhr nicht und trägt zur Abschirmung der von den Behältern ausgehenden radioaktiven Strahlung bei.

⁶¹ siehe diesbezüglich z. B. die Pressemitteilung des BUND vom 26.02.2015: <https://www.bund.net/service/presse/pressemitteilungen/detail/news/nach-brunsbuettel-urteil-sicherheit-saemtlicher-atommuellager-muss-ueberprueft-werden-zwischenlagerung/>, zuletzt abgerufen am 13.12.2017

⁶² Ansgar Köhler: Interventionstechniken für Zwischenlagerbehälter. In (Köhnke et al. 2017), S.51-70

⁶³ Im kerntechnischen Sprachgebrauch wird eine solche Ersatzfunktion als Redundanz bezeichnet.

Wie in den Kapiteln 1.1 und 2.1 beschrieben, unterscheiden sich die heute in Deutschland vorhandenen Zwischenlagergebäude in ihrer baulichen Ausführung recht deutlich voneinander. Besondere Aufmerksamkeit erfährt in der öffentlichen Wahrnehmung die höhere Wand- und Deckenstärke der nach dem STEAG-Konzept errichteten Lagergebäude⁶⁴, sowie die Robustheit der Tunnelbauweise des Zwischenlagers Neckarwestheim.

Aus der fortgeschrittenen Bauweise der Anfang der 2000er Jahre errichteten Standortzwischenlager nach dem STEAG- aber auch dem WTI-Konzept kann geschlossen werden, dass diese über eine höhere Robustheit verfügen als die in den 1990er Jahren in Betrieb genommenen zentralen Zwischenlager Gorleben, Ahaus und Rubenow sowie das AVR-Behälterlager Jülich. Für beide Konzepte wurde in den Genehmigungsverfahren vom BfS festgestellt, dass die Zwischenlager die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden gewährleisten. Dabei kommt es im Kern weniger auf bauliche Unterschiede zwischen den Lagergebäuden an als vielmehr darauf, dass das Zwischenlager als Gesamtsystem sämtlichen abzuprüfenden Lastfällen widersteht. Wie der Betreiber dies in der konzeptionellen Auslegung gewährleistet ist nicht festgelegt.

Grundsätzlich hat die ESK in (ESK 2013a) für alle Zwischenlager bestätigt, dass aufgrund der von den Behältern ausgehenden Robustheit des Gesamtsystems kein Sicherheitsdefizit gegenüber Einwirkungen von außen besteht. Dies gilt in dem Rahmen, wie ihn die ESK gesetzt hat, auch über die den Genehmigungen zugrunde liegenden Anforderungen hinaus. Aus der Bewertung der ESK ergibt sich daher keine Notwendigkeit, die Zwischenlagergebäude baulich aufzurüsten, um ihr Sicherheitsniveau einander anzugleichen.

Für das AVR-Behälterlager Jülich ist die Frage der Neugenehmigung nach dem Ablauf der vorherigen Genehmigung im Jahr 2013 offen und von Betreiber und Behörde noch nicht beantwortet. Aufgrund der noch laufenden Diskussion um die Erdbebensicherheit steht eine Bewertung der Sicherheit noch aus. Mit ihrer Forderung nach einer unverzüglichen Räumung des Lagers hat die zuständige Aufsichtsbehörde klargemacht, dass eine Neuerteilung der Genehmigung alles andere als selbstverständlich ist. Neben den Optionen einer Umlagerung der Abfälle nach Ahaus oder einer Abgabe ins Herkunftsland USA steht hier nach wie vor auch die Möglichkeit eines Neubaus im Raum.

Hinsichtlich der Standortsicherung gegenüber SEWD (siehe auch Kapitel 2.1), zu der das Zwischenlagergebäude maßgeblich beiträgt, laufen derzeit Verfahren mit dem Ziel, die Zwischenlager auf ein den heutigen Bedrohungsszenarien entsprechendes Sicherungsniveau anzuheben. Mit welchen Mitteln dies geschieht und welche Lastfälle hierbei zugrunde gelegt werden, ist aus Geheimhaltungsgründen nicht öffentlich bekannt. Die Notwendigkeit der Maßnahmen ist allgemein anerkannt, auch wenn die Umsetzung nicht an allen Standorten gleich weit gediehen ist. Für das Zwischenlager in Jülich steht grundsätzlich in Frage, ob eine Ertüchtigung möglich ist. Für das Zwischenlager Nord in Rubenow ist jüngst die Entscheidung für einen Neubau gefallen (FOCUS online 2017).

Details der vorgesehenen Maßnahmen sind natürlich nicht öffentlich und daher für Außenstehende nicht bewertbar. In (Becker 2017)⁶⁵ wird diesbezüglich anerkannt, dass Nachrüstungen zu einem besseren Schutz vor einem Terroranschlag führen. Kritisiert wird allerdings auch, dass die Maßnahmen selbst Gegenstand von Verhandlungen zwischen Bundesregierung und den Betreibern waren. Daraus wird abgeleitet, dass die Zumutbarkeit der Maßnahmen für die verantwortlichen

⁶⁴ siehe auch Kapitel 1.1, Seite 24: Die Wand- und Deckenstärke stellt alleine kein abdeckendes Robustheitskriterium dar. Vielmehr ist das Zusammenwirken des Gesamtsystems [...] zu betrachten.

⁶⁵ siehe dort Seite 23

Betreiber eine maßgebliche Rolle bei der Festlegung der Maßnahmen gespielt hat, und dass dadurch möglicherweise Abstriche bei der Behebung von Sicherheitsdefiziten gemacht wurden.

Darüber hinaus hat die Frage nach einer baulichen Angleichung über die bestehenden Genehmigungen hinaus eine besondere Relevanz dahingehend, ob für zukünftige Genehmigungen eine weitere Nutzung bestehender Gebäude aus heutiger Sicht in Frage käme, oder ob Ersatzneubauten (entweder für alle oder nur für die schwächer dimensionierten Zwischenlagergebäude) erforderlich werden. Für zukünftige Genehmigungen (die gemäß (ESK 2015) eine Neugenehmigung und keine Verlängerung bestehender Genehmigungen darstellen) ist dabei erneut zu prüfen, ob die bestehenden Gebäude einen ausreichenden Beitrag zu der gemäß AtG nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderlichen Vorsorge gegen Schäden leisten. Hierfür wird der vor Ablauf der Genehmigungsfristen erreichte Stand von Wissenschaft und Technik heranzuziehen sein. Im Zusammenhang mit der noch lange notwendigen Zwischenlagerung diskutiert Reichardt in (Köhnke et al. 2017)⁶⁶ die Möglichkeit einer durch das Zwischenlagergebäude dargestellten vollwertigen mechanischen Barriere als Redundanz zu den Sicherheitsfunktionen des Behälters. Aktuell existiert eine solche Anforderung nicht, Reichardt stellt sie aber für eine langfristig ausgerichtete Zwischenlagerung als Option in den Raum. Entsprechend den Ergebnissen des ESK-Stresstests orientiert er sich dabei im Wesentlichen an dem Befund, dass die heutige Auslegung der Zwischenlagergebäude gegen Erdbeben und Explosionsdruckwellen an sich bereits robust ist, und dass daher der maßgebliche Lastfall für zukünftige Anforderungen ein Flugzeugabsturz mit den dann anzunehmenden Eigenschaften von Militär- und Verkehrsflugzeugen sei. Das Zwischenlagergebäude als vollwertige mechanische Barriere gegenüber den heute geltenden Flugzeugabsturzzenarien würde Wandstärken zwischen 150 und 180 cm erfordern, die in keinem der heutigen Zwischenlager realisiert sind. Für den Fall, dass zukünftige Genehmigungen an eine vollständige Barrierewirkung des Zwischenlagergebäudes geknüpft würden, wären also für alle heutigen Zwischenlager Ersatzneubauten unverzichtbar. Einzige Ausnahme wäre wahrscheinlich das Standortzwischenlager Neckarwestheim, dessen Tunnelbauweise bereits heute „einen besonderen Schutz gegenüber Flugzeugabsturz“ (ESK 2013a) darstellt.

2.8 Welche Reparatur-, Wartungs- und Prüfmaßnahmen müssen für die Bauwerke und Behälter vor Ort sichergestellt werden?

Für den Betrieb eines Zwischenlagers sind verschiedene Systeme und Komponenten erforderlich, wie beispielsweise das Zwischenlagergebäude, der Lagerhallenkran, die Behälterüberwachung, die Ersatzstromversorgung, die Brandmeldeanlage und der Blitzschutz. Damit diese funktionsfähig bleiben, muss der Betreiber regelmäßig Wartungs- und Reparaturbedarf prüfen und entsprechende Maßnahmen durchführen.

Die gesetzliche Grundlage für die Qualitätssicherung im Zwischenlager sind das Atomgesetz und die Strahlenschutzverordnung, die die Einhaltung des Standes von Wissenschaft und Technik in Bezug auf die Vorsorge gegen Schäden einfordern. Die Empfehlung der ESK (ESK 2013b) sieht so genannte Wiederkehrende Prüfungen (WKP) vor, deren Art und Häufigkeit nach der sicherheitstechnischen Bedeutung einer Komponente und entsprechenden fachspezifischen Regelungen⁶⁷ festzulegen sind. Die Prüfanweisungen sind im Prüfhandbuch, einem Bestandteil des Betriebshandbuchs des jeweiligen

⁶⁶ Manuel Reichardt: Herausforderungen und Randbedingungen für das Zwischenlagerbauwerk als langfristig wirksame, vollwertige mechanische Barriere. In (Köhnke et al. 2017), S.89-113

⁶⁷ Hier sind beispielsweise die KTA Regeln zu nennen. Sie richten sich eigentlich an Kernkraftwerke, können aber sinngemäß auf Systeme und Komponenten von Zwischenlagern angewendet werden. Das Regelwerk der KTA findet sich unter <http://www.kta-gs.de/>

Zwischenlagers, zu dokumentieren. Ebenso sollen alle anderen sicherheitsrelevanten Erkenntnisse beispielsweise aus der Instandhaltung oder aus Inspektionen dokumentiert werden.

Kommt es zu Abweichungen vom Normalbetrieb, ist gemäß der Meldeverordnung AtSMV (AtSMV 2010) vorzugehen. Meldepflichtige Ereignisse sind nach den in der AtSMV festgelegten Kriterien einzustufen. Aus der Auswertung von meldepflichtigen Ereignissen auch in anderen Anlagen sind Konsequenzen abzuleiten, die wiederum Eingang in das betriebseigene Prüfregime finden sollen.

Auch unabhängig von meldepflichtigen Ereignissen ist der Erfahrungsaustausch mit vergleichbaren Anlagen sicherzustellen. Dabei ist unter anderem über die Ergebnisse der wiederkehrenden Prüfungen regelmäßig zu berichten. Die ESK Empfehlung (ESK2013b) weist darauf hin, dass so insbesondere schleichend ablaufende Alterungserscheinungen erkannt und in allen Anlagen frühzeitig berücksichtigt werden können. Neben dem Austausch auf Betreiberseite dient der „Bund Länder Fachausschuss Ver- und Entsorgung“ (FA VE) dem Austausch zwischen Aufsichtsbehörden und dem Bund. Speziell für den Erfahrungsaustausch bei Belade-, Abfertigungs- und Einlagerungsprozeduren besteht die Koordinierungsstelle für Behälterabfertigung (KOBFAF), in der Behälterhersteller, Betreiber, Fachbehörden und Sachverständige vertreten sind.

Vorgaben zu wiederkehrenden Prüfungen (WKPs) werden in den Genehmigungen der einzelnen Anlagen oder im Rahmen der Aufsicht gemacht.

In der Genehmigung für das Zwischenlager Biblis (BfS 2003) sind beispielsweise für den Hallenkran WKPs durch externe Sachverständige, Setzungsmessungen am Zwischenlagergebäude und im 10 Jahresabstand eine stichprobenartige Begutachtung von Behältern im Hinblick auf Korrosionen vorgeschrieben. Die Ergebnisse der WKPs sind der Aufsichtsbehörde halbjährlich vorzulegen. Auch sieht die Genehmigung vor, alle zehn Jahre einen Druckschalter aus einem Behälter der ersten Einlagerungskampagne für Untersuchungen auszutauschen, deren Ergebnisse der Aufsichtsbehörde zu übermitteln sind.

Die Genehmigungsaufgaben für die einzelnen Zwischenlager können unterschiedlich sein, beispielsweise in Abhängigkeit von örtlichen Gegebenheiten oder dem Zeitpunkt der Genehmigungserteilung. So findet sich z.B. die Vorgabe zum Druckschalterausbau in der Genehmigung zum TBL Gorleben nicht (BfS 2010).

Über die behördlich vorgeschriebenen WKPs hinaus finden Überprüfungen durch den Betreiber im Sinne einer vorbeugenden Instandhaltung statt (BMUB 2017). Sie nehmen einen deutlich größeren Umfang ein als WKPs. Durch die Instandhaltungsuntersuchungen werden verschiedene Ziele verfolgt: Mit ihnen wird der Zustand bzw. der Verschleiß einer Komponente bestimmt, um beispielsweise rechtzeitig einen Austausch vorzusehen, oder um Komponenten vorsorglich nach Erreichen eines bestimmten Alters auszutauschen. Sie dienen auch der Reinigung und der Pflege von Systemen und Komponenten. Außerdem wird so der Fachkunderhalt des Personals in der Anlage unterstützt. Da Prüfbefunde auch zu Anpassungen der Überprüfungsmaßnahmen führen, haben sich diese im Laufe der Zeit immer weiter entwickelt. Auch zukünftig sind daher bedarfsgerechte Anpassungen des Prüfungsumfanges zu erwarten.

Ein wichtiges System in einem Zwischenlager ist das Behälterüberwachungssystem mit dem Druckschalter, der die Dichtheit der Behälterdeckel überwacht. Das Behälterüberwachungssystem ist selbstüberwachend und meldet daher auch einen Defekt des Druckschalters oder der Energiezufuhr. Ein defekter Druckschalter kann im Zwischenlager ausgetauscht werden. Das Funktionsprinzip des Behälterüberwachungssystems ist in Kapitel 1.1 beschrieben.

Zu den Betriebserfahrungen mit Druckschaltern stellt die GNS in (Heck et al. 2014) dar, dass sie mittlerweile Erfahrungen aus über 13.000 Jahren Druckschalternutzungszeit gesammelt hat und dabei nur einige wenige Alarmierungen auftraten. Im TBL Gorleben seien mit Stand 2014 fünf Ereignisse

gezählt worden. In keinem Fall habe sich eine beeinträchtigte Dichtungswirkung des Primär- oder Sekundärdeckels als Ursache für das Druckschalter Signal herausgestellt. Die Ergebnisse belegten demzufolge die Funktionstüchtigkeit der Behälterüberwachung. In (Heck et al. 2014; Oelschläger et al. 2013) wird auch berichtet, dass die GNS alle Druckschalterereignisse auswertet und daraus Optimierungen für den Druckschalter ableitet.

Als weitere Erkenntnisse aus Behälterinspektionen in Gorleben wurden in (Heck et al. 2014) kleine Beschädigungen am Anstrich bzw. der Beschichtung sowie Korrosionen von untergeordneter Bedeutung festgestellt. In einem Fall war eine Reparatur erforderlich. In TBL Ahaus wurde eine Erneuerung der Korrosionsbeschichtung an den 305 Behältern des Typs CASTOR THTR/AVR erforderlich (ESK 2015).

Die ESK fasst in ihrem Diskussionspapier Erfahrungen mit der Zwischenlagerung von Behältern zusammen. Sie lassen auf Basis von 20 Jahren Betriebserfahrungen *„keine sicherheitstechnisch relevanten Eigenschaftsveränderungen der Behälter und ihrer Komponenten erkennen“* (ESK 2015). Auch gibt es offenbar keine grundsätzlichen Zweifel daran, dass das Sicherheitsniveau des Behälters bei verlängerter Zwischenlagerung erhalten bleibt. Dies ist aber mit belastbaren Daten noch zu belegen. Um Degradationserscheinungen berücksichtigen zu können, müssen die Veränderungsprozesse von Eigenschaften über die Zeit bekannt sein, das heißt ggf. erforscht werden.

Für den sicheren Einschluss der hoch radioaktiven Abfälle in den Lagerbehältern ist die Dichtheit der beiden Behälterdeckel essenziell. Kann die Dichtung des äußeren Deckels noch problemlos vor Ort ausgetauscht werden, so ist die Reparatur einer undichten Primärdeckeldichtung eine ungleich aufwändigerer Aufgabe, die nicht ohne eine sogenannte „Heiße Zelle“ oder unter Wasser (wie beim Beladen des Behälters) durchgeführt werden kann. Die Standortzwischenlager haben derzeit noch Zugriff auf die Beladebecken in dem zugehörigen Kernkraftwerk, was mit deren Stilllegung aber absehbar nicht mehr der Fall sein wird. Das Reparaturkonzept mit aufgeschweißtem Fügedeckel (siehe auch Kapitel 2.2.2) ist im Zwischenlager selber umsetzbar und kann die Doppeldeckelfunktion wieder herstellen. Es wirft aber, gerade in der längerfristigen Perspektive, Fragen zur weiteren Reparaturfähigkeit eines verschweißten Deckels und, im Falle der Reparatur eines Behälters mit hoch radioaktiven Wiederaufarbeitungsabfällen, Fragen nach dessen Transportierbarkeit auf (Neumann 2014). Zukünftig wird daher zu entscheiden sein, wie das Gesamtkonzept zu gestalten ist, mit dem die Reparaturfähigkeit der Behälter im Hinblick auf Lagerung und Transport gewährleistet wird.

Nicht unmittelbar überwacht werden der Behälterinnenraum und das eingebrachte Inventar. Diesbezüglich bestehen bisher in Deutschland keine Regelwerksanforderungen.

Nach derzeitigem Kenntnisstand (ESK 2015) werden für die eingelagerten Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung auch über lange Lagerzeiten keine Eigenschaftsveränderungen mit Folgen für die Handhabung erwartet. In Frankreich liegen bereits entsprechende Erfahrungen aus 40 Jahren Zwischenlagerzeit vor. Für abgebrannte Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren wurde im Rahmen der Genehmigungsverfahren ein Nachweis erbracht, dass nach 40 Jahren Lagerzeit eine uneingeschränkte Handhabbarkeit erfolgen kann. Grundlegend dafür ist, dass die Hüllrohre, die den Brennstoff und insbesondere auch gasförmige Spaltprodukte einschließen, überwiegend intakt bleiben. Für andere Brennelementtypen ist die Wissensbasis geringer.

Zum Langzeitverhalten von Brennstäben abgebrannter Brennelemente finden Forschungsarbeiten statt, beispielsweise betrachtet die GRS mit Simulationsrechnungen Langzeiteffekte wie Versprödung oder Konsequenzen der Hydridbildung in Hüllrohren. In (Rowold & Hummelsheim 2017) verweisen die Autoren aber auch darauf, dass die Modellrechnungen durch Erkenntnisse aus der Praxis, zum Beispiel zerstörungsfreie Prüfungen oder Behälteröffnungen validiert und weiter entwickelt werden müssen.

Fragen nach dem Langzeitverhalten der eingelagerten Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren sind international von großer Bedeutung, da aufgrund fehlender Endlager die Notwendigkeit einer längerfristigen Zwischenlagerung größer wird. Entsprechende internationale Forschungsprogramme werden sich daher in den kommenden Jahren und Jahrzehnten auch mit der Öffnung von Lagerbehältern und der Untersuchung des Zustands der Abfälle befassen müssen. So wurden in den USA, Japan und Korea Forschungsprogramme an beladenen Brennelement-Behältern angestoßen (ESK 2015). Ziel ist jeweils, die Alterungserscheinungen von Leichtwasserreaktorbrennelementen unter Zwischenlagerbedingungen zu erforschen. In Deutschland steht insbesondere über die Bundesanstalt für Materialforschung (BAM) mit der internationalen Forschung im Austausch.

2.9 Wie können unnötige Transporte von hoch radioaktiven Abfällen vermieden werden?

Jeglicher Transport hoch radioaktiver Abfälle steht unter dem Vorbehalt der Strahlenschutzgrundsätze der Rechtfertigung, Dosisbegrenzung und Vermeidung unnötiger Strahlenexposition, wie sie in den Paragraphen vier bis sechs der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV 2017) festgelegt sind. Offensichtlich unnötige Transporte sind vor diesem Hintergrund gar nicht erst zulässig. Die Notwendigkeit eines Transports ist daher vor Erteilung der Transportgenehmigung zu begründen. Was in diesem Kontext als notwendig oder unnötig angesehen wird, kann natürlich dennoch Gegenstand von Diskussionen sein, in denen auch strahlenschutzfremde Erwägungen eine Rolle spielen können (s.u.).

In Kapitel 1.4 dieses Gutachtens wird die Gesamtlogistik bei der Entsorgung hoch radioaktiver Abfälle umrissen und dabei auch die Frage nach den damit verbundenen Transporten angesprochen. Nach Abschluss der Transporte von CASTOR®-Behältern mit abgebrannten Brennelementen aus Obrigheim per Schiffstransport zum Zwischenlager Neckarwestheim steht noch der Rücktransport verglaster hoch radioaktiver Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in Großbritannien (drei Transporte mit bis zu 21 Behältern)⁶⁸ aus. Diese Rückführung ist ebenso wie die Rückführung der verglasten mittel radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich (ein Transport von 5 Behältern) nach derzeitiger Planung im Zeitraum 2019 bis 2021 vorgesehen (BMUB 2017). Die Anträge zur Aufbewahrung dieser Abfälle in den Standort Zwischenlagern Philippsburg, Biblis und Isar haben die zuständigen Energieversorgungsunternehmen am 29. September 2017 gestellt⁶⁹. Bezüglich des Genehmigungsantrags für die Aufbewahrung im Zwischenlager Brokdorf liegen derzeit keine Informationen vor.

Der Abtransport der Behälter mit AVR-Brennelementen aus dem Behälterlager Jülich⁷⁰ ist nach wie vor offen. Das Bundesumweltministerium bezeichnet in (BMUB 2017) keine der drei bestehenden Optionen als entscheidungsreif. Insofern ist nicht absehbar, ob und wann diese Transporte durchgeführt werden.

Transporte hoch radioaktiver Abfälle ins TBL Gorleben und ins ZLN Rubenow werden in absehbarer Zeit nicht mehr stattfinden. In das TBL Ahaus werden nach derzeitiger Planung die Brennelemente aus den derzeit betriebenen Forschungsreaktoren nach deren noch nicht terminierten Stilllegung verbracht sowie die hochdruck-kompaktierten mittel radioaktiven Hülsen und Strukturteile aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich.

⁶⁸ Der aktuelle deutsche Bericht zur Joint Convention (BMUB 2017) spricht davon, „die voraussichtlich 21 Behälter mit verglasten hochradioaktiven Abfällen [...] zu je gleichen Teilen auf die standortnahen Zwischenlager Biblis in Hessen, Brokdorf in Schleswig-Holstein und Isar in Bayern zu verteilen“.

⁶⁹ <http://www.bfe.bund.de/DE/ne/abfaelle/rueckfuehrung/rueckfuehrung.html>, letzter Aufruf 18.01.2018

⁷⁰ hier lagern derzeit 290.000 AVR-Brennelementkugeln in 152 CASTOR®-Behältern

Mit Abschluss der heute absehbaren Transporte in die Zwischenlager Isar, Philippsburg, Biblis und Brokdorf sollten Transporte hoch radioaktiver Abfälle über öffentliche Verkehrswege in die Standort Zwischenlager vorerst abgeschlossen sein.. Die Transporte aus Obrigheim nach Neckarwestheim haben kontroverse Diskussionen zu den Risiken eines CASTOR®-Transports über den Neckar ausgelöst. Sie haben aber auch dazu beigetragen, die zuvor in einem Nasslager lagernden abgebrannten Brennelemente in eine deutlich sicherere trockene Zwischenlagerung in einem robusten Zwischenlager in Tunnelbauweise zu überführen. Die Umlagerung hatte insbesondere auch den Zweck, die Kernbrennstofffreiheit des Standorts Obrigheim herbeizuführen und den Rückbau des Kernkraftwerkstandorts zu ermöglichen. Die Rückführung der verglasten Wiederaufarbeitungsabfälle aus Frankreich und Großbritannien ist vertraglich festgelegt und insofern unvermeidbar. Sie steht auch in Übereinstimmung mit der Verantwortung für die Entsorgung deutscher Abfälle im Inland.

Noch unklar, aber doch relativ wahrscheinlich, sind Transporte aus dem AVR-Behälterlager Jülich, falls sich die Verantwortlichen letztlich für eine Umlagerung nach Ahaus oder eine Abgabe in die USA (entweder unmittelbar aus Jülich oder über Ahaus) entscheiden. Das TBL-A in Ahaus verfügt zwar über die Genehmigung zur Aufbewahrung der Jülicher AVR-Brennelemente, allerdings scheinen die Randbedingungen der erforderlichen Transporte dorthin noch nicht geklärt. Amtliche Angaben zu den Transporten gibt es derzeit nicht. Der Bundestagsabgeordnete Hubertus Zdebel geht davon aus, dass die Transporte frühestens 2019 stattfinden können und zitiert hierzu am 06. Februar 2017⁷¹ eine in den Westfälischen Nachrichten veröffentlichte Äußerung von Staatssekretär Peter Knitsch aus dem zuständigen Umweltministerium des Landes Nordrhein-Westfalen.

Eine Abgabe der Jülicher AVR-Brennelemente in die USA ist nach wie vor Gegenstand kontroverser Diskussionen, auch im Zusammenhang mit dem im AtG (dort §3(6) oder im StandAG (dort § 1(2)) mittlerweile verankerten (eingeschränkten) Exportverbot. Eine Entscheidung für den Neubau eines Zwischenlagers am Standort Jülich würde die Transporte unnötig machen, über den hiermit verbundenen Zeitbedarf, während dem das bestehende, nicht mehr genehmigte Zwischenlager weiter zu nutzen wäre, gibt es derzeit keine belastbaren Aussagen.

Auch zukünftig können Transporte auf öffentlichen Verkehrswegen erforderlich werden. Mögliche Anlässe könnten sein

- ▶ Reparatur in einer Anlage außerhalb des Zwischenlagerstandorts;
- ▶ Umlagerung in ein Zwischenlager an einem anderen Standort;
- ▶ Umladen und ggf. konditionieren in einer Anlage an einem anderen Standort
- ▶ Abgabe an ein Eingangslager am zukünftigen Endlagerstandort.

Die tatsächliche Notwendigkeit, Anzahl und Transportlängen ergeben sich aus den verschiedenen denkbaren Optionen für die Realisierung der längerfristigen Zwischenlagerung, der (endlagergerechten) Konditionierung einschließlich einer möglichen Umladung in andere Behälter sowie der Anlieferung am und Einlagerung im Endlager.

Diese Aspekte sind derzeit noch weitgehend offen und hängen neben (sicherheits-) technischen und rechtlichen auch mit politisch-gesellschaftlichen Erwägungen zusammen. Hinsichtlich der Transportminimierung spielt dabei eine Rolle, welcher Entsorgungsschritt wann und wo durchgeführt werden soll. So sind beispielsweise zusätzliche Transporte im Zusammenhang mit der Reduzierung der Anzahl der Zwischenlagerstandorte abzuwägen gegenüber Vorteilen, die sich in Bezug auf die Sicherung ergeben, wenn hoch radioaktive Abfälle gegenüber den heutigen 16 Standorten nur noch an

⁷¹ siehe <http://www.hubertus-zdebel.de/geheimsache-sewd-zwischenlager-atomtransporte-und-der-terrorschutz/>, zuletzt aufgerufen am 13.12.2017

wenigen oder einem zentralen Standort überwacht werden müssen. Auch die Frage nach der Verfügbarkeit von Reparatur- oder Konditionierungsanlagen ist mit der Frage nach den Transporten dorthin verknüpft. Und nicht zuletzt ist auch die Frage nach der gesellschaftlichen Lastenteilung, aktuell im Hinblick auf die aus dem Ausland zurück zu führenden radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung, mit den Transporten in die hierfür vorgesehenen Zwischenlager verknüpft: Transporte der aus Großbritannien erwarteten Abfallbehälter ließen sich theoretisch hinsichtlich der Transportlängen minimieren, wenn diese in norddeutschen Zwischenlagern untergebracht würden. Die Vereinbarung hierüber hat aber eben nicht nur sicherheitstechnische, sondern auch (gesellschafts-)politische Aspekte, die solche Transporte rechtfertigen können.

.

3 Fazit

Die vorangegangenen Kapitel haben das Ziel, die seitens des Nationalen Begleitgremiums formulierten Fragen zu beantworten. Ergänzend hierzu ziehen wir im Folgenden ein Fazit aus unserer Sicht, in dem wir auch auf einige übergeordnete Aspekte hinweisen.

In Deutschland wird mit der trockenen Zwischenlagerung der hoch radioaktiven Abfälle in massiven Behältern in Gebäuden eine technische Option für die vorübergehende Aufbewahrung verfolgt, die gegenüber Konzepten, die auf eine aktive Kühlung angewiesen sind oder auf massive Behälter verzichten (insbesondere Nasslager) deutliche Vorteile aufweist. Das zu realisierende Schutzniveau ist im Regelwerk definiert, insbesondere anhand der zu unterstellenden Störfälle und Lastannahmen. Dem verantwortlichen Betreiber obliegt der Nachweis, dass das von ihm geplante bzw. betriebene Zwischenlager als Gesamtsystem das geforderte Schutzniveau erreicht, wobei er über die konkrete technische Ausführung frei entscheiden kann. Dieser Nachweis wird von der zuständigen Behörde geprüft und in der Umsetzung beaufsichtigt. Der „Stresstest“ den die Entsorgungskommission (ESK) nach dem Fukushima-Unglück durchgeführt hat, bestätigte, dass die in Deutschland betriebenen Zwischenlager für hochradioaktive Abfälle keine Sicherheitsdefizite aufweisen, was ihre Widerstandsfähigkeit gegen naturbedingte und zivilisatorische Einwirkungen von außen (EVA) angeht.

Insbesondere bestätigte die ESK, dass auch im Fall von Einwirkungen, die die geforderte Auslegung deutlich überschreiten, wie beispielsweise durch deutlich höhere Erdbeben oder Hochwasser, keine Zustände erreicht werden, bei denen große Mengen Radioaktivität freigesetzt werden. Dies gilt (mit Ausnahme der derzeit unvollständigen Nachweisführung für das AVR-Behälterlager) auch für die aus einem Flugzeugabsturz resultierenden mechanischen und thermischen Lasten. Sogenannte „cliff edge“ Effekte sind somit ausgeschlossen. Die trockene Zwischenlagerung in dickwandigen Behältern hat daher deutliche sicherheitstechnische Vorteile gegenüber der Nasslagerung, wie sie beispielsweise in England und Frankreich im Eingangslager der Wiederaufarbeitungsanlagen praktiziert wird, bei der ein Versagen der Kühlung zu schwerwiegenden Unfallszenarien mit nennenswerten Freisetzungen von Radioaktivität führen kann.

Gleichwohl erfordert auch die trockene Zwischenlagerung in Behältern eine kontinuierliche Aufmerksamkeit auf die Aufrechterhaltung der Sicherheit. Die zentralen zukünftigen Herausforderungen liegen in der regelmäßigen Analyse von und der angemessenen Reaktion auf technische Weiterentwicklungen z.B. im Bereich der Luftfahrttechnik (beabsichtigter oder unbeabsichtigter Flugzeugabsturz), aber auch der Waffentechnik und zukünftiger Bedrohungsszenarien (SEWD).

Gerade in der längerfristigen Perspektive einer notwendigen Zwischenlagerung bis ein Endlager verfügbar ist, ist es notwendig, die Zwischenlager als Gesamtsystem regelmäßig auf ihren Sicherheitsstatus zu überprüfen, zu warten und anzupassen, um ein hohes Schutzniveau zu erhalten. Dies erfordert auch, mögliche zukünftige Entwicklungen, die zu Schäden an sicherheitsrelevanten Systemen, Strukturen und Komponenten führen können, möglichst früh zu antizipieren. Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt, sind die Grundlagen dafür bereits im Alterungsmanagement und in den periodischen, zehnjährlichen Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ) etabliert und müssen konsequent umgesetzt und weiterentwickelt werden.

Auch die Forschung zu noch nicht ausreichend bekannten sicherheitsrelevanten Effekten bei einer Zwischenlagerung deutlich jenseits der heute genehmigten Zeiträume muss fortgesetzt und der diesbezügliche nationale und internationale Erfahrungsaustausch weiter unterstützt werden. Dies gilt insbesondere für das Verhalten der Brennelemente im Behälter. Um diese Forschung umfassend realisieren zu können, ist sicherzustellen, dass auch zukünftig die Informationen über die Herstellung und die Betriebshistorie der Brennelemente verfügbar sind.

Ein konsequentes Wissensmanagement ist darüber hinaus auch erforderlich, um die Zwischenlager über den gesamten erforderlichen Zeitraum sicher betreiben und die Behälter sicher handhaben zu können. Außerdem sind die nachfolgenden Entsorgungsschritte zu berücksichtigen, bei denen die Abfälle transportiert und zur Vorbereitung auf die Endlagerung behandelt werden müssen.

Das Zusammenwirken der verschiedenen handelnden Akteure ist ein wichtiger Beitrag für den sicheren Zwischenlagerbetrieb. Der Betreiberwechsel bei den Zwischenlagern wird zu der Situation führen, dass zukünftig sowohl der Betrieb als auch die Genehmigung in der Hand des Bundes liegen, wenn auch in unterschiedlichen Organisationen und Organisationsformen. Damit ist die Zwischenlagerung den wirtschaftlichen Zwängen und Risiken der Abfallverursacher entzogen. Der Vorteil an dieser Lösung ist, dass dem Staat als Betreiber eine langfristige Kontinuität und Stabilität hinsichtlich des Erhalts der zuständigen Organisationen zugetraut wird. Zu beachten ist hingegen, dass auch im Fall staatlicher Akteure ein starkes System an „Checks and Balances“, transparente Verfahren und eine aufmerksame Öffentlichkeit gewährleistet werden, um sicherzustellen, dass der Staat in seiner Verantwortung der kommenden Jahrzehnte dauerhaft sicherheitsgerichtet agiert. Dies gilt insbesondere auch dann, falls sich in der Zukunft herausstellen sollte, dass die Mittel des Entsorgungsfonds (EntsorgFondsG 2017), der zur Finanzierung der Zwischenlagerung, Standortauswahl und Endlagerung vorgesehen ist, knapp werden oder durch Steuermittel ergänzt werden müssen. Auch in diesem Fall dürfen finanzielle Restriktionen nicht zu Abstrichen in der Sicherheit führen.

Die Aufsichtsbehörden sind derzeit in den Bundesländern angesiedelt. Nach dem Rückbau der Kernkraftwerke wird das Aufgabengebiet dieser Behörden deutlich kleiner. Daher wird sich die Frage stellen, ob die derzeitige Zuständigkeitsverteilung im Hinblick auf den Kompetenzerhalt und aus ökonomischer Sicht noch sinnvoll ist, oder ob beispielsweise eine Konzentration in einer zentralen Bundesbehörde oder in zwei bis drei Landesbehörden anzustreben wäre. In jedem Fall müssen auch dann Überwachung und Eingriffsmöglichkeiten ausbalanciert sein.

Gemäß Atomgesetz (siehe dort § 24b Selbstbewertung und internationale Prüfung) ist im 10-Jahres-Abstand eine Selbstbewertung des „*Gesetzes-, Vollzugs- und Organisationsrahmens für die nukleare Sicherheit kerntechnischer Anlagen und für die sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle sowie des diesbezüglichen Behördenhandelns*“ (AtG 2017) vorgesehen, die dann von internationalen Experten geprüft werden soll. Eine solche Selbstbewertung könnte einen geeigneten Rahmen darstellen, um für die Zwischenlagerung das Zusammenspiel der einzelnen Behörden und des Systems an „Checks and Balances“ zu prüfen.

Die im Standortauswahlprozess der Endlagerung angestrebte Transparenz gegenüber der Öffentlichkeit sollte auch für die Zwischenlagerung maßgeblich sein. Und zwar nicht nur im Hinblick auf die oben angesprochenen verfahrensbezogenen Fragen sondern auch bezüglich der sicherheitsrelevanten Entwicklungen. So sollte deutlich werden, dass umfassende Überprüfungen erfolgen, die eine einzelne Anlage wie beispielsweise bei einer PSÜ oder das gesamte System Zwischenlagerung wie bei einem internationalen Peer Review in den Blick nehmen. Relevante Ergebnisse, die einen Sicherheitsgewinn verdeutlichen oder Handlungsbedarf aufzeigen, sollten veröffentlicht werden. Dabei sollte kritisch geprüft werden, wo wirklich ein Bedarf an Geheimhaltung besteht.

Da die Zwischen- und Endlagerung voneinander abhängige Bestandteile des angestrebten Entsorgungswegs sind, richtet das Nationale Begleitgremium seine Aufmerksamkeit zu Recht auch auf die Randbedingungen der Zwischenlagerung. Spätestens mit dem Übergang der Zwischenlager in staatliche Verantwortung ergibt sich eine weitere Verzahnung über die handelnden Akteure und die verfügbaren finanziellen Ressourcen. Dabei können folgende Aspekte besonders von der durch das Begleitgremium mit herbeigeführten Transparenz und Öffentlichkeit profitieren:

- ▶ das Regelwerk zur Sicherheit (und zu den Grundsätzen der Sicherung) der Zwischenlager transparent fortschreiben
- ▶ Sicherheit und Schutzniveau von Fragen der Wirtschaftlichkeit abkoppeln
- ▶ ein wirksames System von „Checks and Balances“ mit einer starken und unabhängigen Genehmigung und Aufsicht aufrecht erhalten
- ▶ Forschung und Erfahrungsaustausch einfordern
- ▶ regelmäßige Sicherheitsüberprüfungen der Zwischenlager, deren Ergebnisse und Konsequenzen auch zur Kommunikation über den Sicherheitsstatus nutzen
- ▶ die Endlagerung als Ziel der nuklearen Entsorgung sichtbar halten und damit der „gefühlten Endlagerung“ an den Zwischenlagerstandorten entgegenwirken

4 Quellenverzeichnis

AtG (2017). Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) (Bundesgesetzblatt (BGBl.), 2017).

AtSMV (2010). Verordnung über den kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten und über die Meldung von Störfällen und sonstigen Ereignissen (Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung - (AtSMV)) (08.06.2010).

Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (Hrsg.) (2017): France - Sixth National Report on Compliance with the Joint Convention Obligations, Paris.

Becker, Oda (2017): Aktuelle Probleme und Gefahren bei deutschen Zwischenlagern für hochradioaktive Abfälle (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND), Hrsg.). Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND).

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) (2015): BUND-Stellungnahme zum Nationalen Entsorgungsprogramm.

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) (2017): Atommüll-Zwischenlager-Konzept jetzt überprüfen. BUND-Eckpunkte Zwischenlagerung hoch radioaktiver Atommüll.

Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) (2017a): Aktueller Stand der Rechtsprechung - OVG Schleswig: Krümmel, Brunsbüttel, zuletzt abgerufen am 24.11.2017.

Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) (Hrsg.) (2010): Regelungsgehalt der Aufbewahrungsgenehmigung für das Transportbehälterlager Gorleben vom 02.06.1995 in der Fassung der 4. Änderungsgenehmigung vom 29.01.2010 (Nicht-amtliche Lesefassung).

Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) (2017b): Stand der Genehmigungsverfahren - Standort-Zwischenlager Brunsbüttel (Schleswig-Holstein), zuletzt abgerufen am 14.11.17.

Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) (2017c): Standort-Zwischenlager Brunsbüttel.

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2003): Genehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen im Standort-Zwischenlager in Biblis der RWE Power AG und der RWE Rheinbraun AG. Az.: GZ-V3 - 8531 510.

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2010): Regelungsgehalt der Aufbewahrungsgenehmigung für das Transportbehälterlager Gorleben vom 02.06.1995 in der Fassung der 4. Änderungsgenehmigung vom 29.01.2010 (Nicht-amtliche Lesefassung). BfS.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (1988): Bekanntmachung der Grundsätze zur Dokumentation technischer Unterlagen durch Antragsteller/Genehmigungsinhaber bei Errichtung, Betrieb Und Stilllegung von Kernkraftwerken.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2014). Richtlinie für die Fachkunde von Strahlenschutzbeauftragten in Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen (20.02.2014).

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2015a): Programm für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (Nationales Entsorgungsprogramm).

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2015b): Hendricks: Gerichtsentscheid erzwingt neues Genehmigungsverfahren.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2015c): Gesamtkonzept zur Rückführung von verglasten radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2017): Gemeinsames Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle. Bericht der Bundesrepublik Deutschland für die sechste Überprüfungskonferenz im Mai 2018.

Bundesverwaltungsgericht (BVerwG) (22.03.2012) 7 C 1.11.

EnBW Kraftwerke AG (2008): Sicherheitsbericht Standort-Zwischenlager für das Kernkraftwerk Obrigheim (EnBW Kraftwerke AG, Hrsg.).

EnBW Kraftwerke AG (2017): EnBW schließt Verlagerung von Brennelementen von Obrigheim nach Neckarwestheim erfolgreich ab. Pressemitteilung.

Endlagerkommission (2016): Verantwortung für die Zukunft - Ein faires und transparentes Verfahren für die Auswahl eines nationalen Endlagerstandortes. Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe.

EntsorgFondsG (2017). Gesetz zur Errichtung eines Fonds zur Finanzierung der kerntechnischen Entsorgung Entsorgungsfondsgesetz (27.01.2017).

EntsorgÜG (2017). Gesetz zur Regelung des Übergangs der Finanzierungs- und Handlungspflichten für die Entsorgung radioaktiver Abfälle der Betreiber von Kernkraftwerken (Entsorgungsübergangsgesetz) (27.01.2017).

Entsorgungskommission (ESK) (2013a): STELLUNGNAHME - ESK-Stresstest für Anlagen und Einrichtungen der Ver- und Entsorgung in Deutschland, Teil 1: Anlagen der Brennstoffversorgung, Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente und Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle, Anlagen zur Behandlung bestrahlter Brennelemente. Entsorgungskommission (ESK).

Entsorgungskommission (ESK) (2013b): EMPFEHLUNG - Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Behältern (Revidierte Fassung vom 10.06.2013).

Entsorgungskommission (ESK) (2014a): EMPFEHLUNG - ESK-Leitlinien zur Durchführung von periodischen Sicherheitsüberprüfungen und zum technischen Alterungsmanagement für Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente und Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle. Entsorgungskommission (ESK).

Entsorgungskommission (ESK) (2014b): Rückführung verglaster Abfälle aus der Wiederaufarbeitung im europäischen Ausland. Aufbewahrung der verglasten Abfälle in Standortzwischenlagern aufgrund der Änderung des Atomgesetzes am 01.01.2014 (§ 9a Absatz 2a AtG). Entsorgungskommission (ESK), zuletzt abgerufen am 29.09.2017.

Entsorgungskommission (ESK) (2015): Diskussionspapier zur verlängerten Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und sonstiger Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle.

Entsorgungskommission (ESK) (2017a): Empfehlung: Anforderungen an Endlagergebinde zur Endlagerung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle. Entsorgungskommission (ESK).

Entsorgungskommission (ESK) (2017b): MEMORANDUM - Kompetenzerhalt im Bereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle.

FOCUS online (2017): Atom - Terrorschutz: EWN plant neues Atomlager für Castoren, zuletzt abgerufen am 15.01.2018.

Geupel, S.; Hummelsheim, K.; Keßen, S.; Kilger, R.; Rowold, F.; Neles, J.; Schmidt, G.; Spieth-Achtnich, A.; Völzke, H. & Wolf, D. (2015): Sicherheitstechnische Fragen der längerfristigen Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und verglasten hochradioaktiver Abfälle. Abschlussbericht des Vorhabens 3612R03300. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Öko-Institut e.V., Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung (BAM).

Greenpeace (2016): Nicht transportfähig. USA gegen Atom Müll-Einfuhr aus Jülich. Verfügbar unter <https://www.greenpeace.de/themen/energiewende/atomkraft/nicht-transportfaehig>, zuletzt abgerufen am 13.12.2017.

Heck, M.; Oelschläger, L. & Graf, W. (2014, Mai): GNS experience in the dry interim storage facilities in Ahaus and Gorleben. IAEA DPC 2014.

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2012): Storage of Spent Nuclear Fuel. Specific Safety Guide No. SSG-15.

Kerntechnischer Ausschuss (KTA) (2013). Dokumentation beim Bau und Betrieb von Kernkraftwerken KTA 1404.

Köhnke, D., Reichardt, M. & Semper, F. (Hrsg.) (2017): Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle. Randbedingungen und Lösungsansätze zu den aktuellen Herausforderungen (SpringerLink : Bücher). Wiesbaden: Springer.

Kommission zur Überprüfung der Finanzierung des Kernenergieausstiegs (KfK) (2016): Verantwortung und Sicherheit - Ein neuer Entsorgungskonsens. Abschlussbericht.

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig Holstein (MELUND) (2017): Reaktor Gebäude des Kernkraftwerks Brunsbüttel brennelementfrei.

Ministry of Infrastructure and the Environment (MIE) (2017): Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. National Report of the Kingdom of the Netherlands for the Sixth Review Meeting.

Moormann, Rainer (2017). Verlängerte Zwischenlagerung wärmeentwickelnder Abfälle - eine wissenschaftlich orientierter Beitrag zur Positionsbestimmung der Umweltbewegung. Strahlentelex 2017 (Nr. 738-739).

Neumann, Wolfgang (G. (2014): Zur Notwendigkeit einer Heißen Zelle an Zwischenlagerstandorten. Auftraggeber Greenpeace e.V. Intac GmbH.

Oelschläger, L.; Heck, M. & Graf, W. (2013): GNS experience on the LongTerm Storage at Dry Interim Storage Facilities especially in Ahaus and Gorleben. Abstract für den OECD/NEA International Workshop "Safety of Long Term Interim Storage Facilities". FP029LTIS (FP029LTIS). GNS mbH.

OVG Schleswig-Holstein (19.06.2013) AZ: 4 KS 3/08.

Rowold, Florian & Hummelsheim, Klemens (2017, Juni): Untersuchungen technischer Aspekte der längerfristigen Zwischenlagerung. Symposium „Verlängerte Zwischenlagerung“.

Stadt Ahaus (2018): Aktuelle Entscheidung des BfE im einstweiligen Rechtsschutzverfahren in Sachen der Jülich-Castoren. Online verfügbar unter www.ahaus.de, zuletzt geprüft am 18.01.2018.

StandAG (2017). Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz - StandAG) (2017).

StrlSchV (2017). Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) (2017).

Thomauske, B. (2016): Abschätzung des Zeitbedarfs bis zur Inbetriebnahme des Endlagers. Kommissionsdrucksache der Endlagerkommission, K-Drs. / AG3-119.

VGB PowerTech e.V. (VGB) (2017): VGB-Standard Fachkunde und Kenntnisse verantwortlicher Personen in Anlagen nach §6 AtG.