

Bund für
Umwelt und
Naturschutz
Deutschland



Aktuelle Probleme und Gefahren bei deutschen Zwischenlagern für hoch-radioaktive Abfälle

Studie
von Diplom-Physikerin Oda Becker
im Auftrag des BUND

Juni 2023

Vorwort

Nach 62 Jahren Atomstromproduktion sind im April 2023 die letzten drei Reaktoren in Deutschland vom Netz gegangen. Dies ist einer der größten Erfolge der deutschen Umweltbewegung und ein Meilenstein auf dem Weg hin zu einer tatsächlich nachhaltigen Stromversorgung aus 100 Prozent Erneuerbaren Energien. Die Betriebszeit der Atomkraftwerke (AKW) steht dabei in keinem Verhältnis zur Zeitspanne, in der die radioaktiven Hinterlassenschaften unsere Welt verseuchen. Der Atommüll ist trauriges Zeugnis, dass Atomkraftwerke niemals hätten gebaut werden dürfen. Die vorliegende Studie befasst sich mit der Situation der 16 Zwischenlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland.¹

Die Zwischenlager Brunsbüttel und Jülich haben seit zehn Jahren keine Genehmigung, weil notwendige Sicherheitsnachweise nicht erbracht wurden. Sie werden aber weiterhin betrieben – auf Anordnung der Aufsichtsbehörde. Nachbesserungen sind nicht erkennbar. Stattdessen wird versucht, scheinweise Genehmigungen zu bekommen. So sind für Jülich neun Jahre beantragt, für Brunsbüttel fünf. Für das Zwischenlager Jülich wird parallel die Räumung geprüft. Castortransporte in das schlecht geschützte Zwischenlager Ahaus wären dann laut Medienberichten ab 2024 möglich.² Das Zwischenlager Brunsbüttel ist wegen der fehlenden Genehmigung noch nicht an die zuständige Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung mbH (BGZ) übergegangen, sondern weiterhin unter Aufsicht des früheren Betreibers Vattenfall. Eine temporäre Genehmigung könnte die Übertragung der Zuständigkeit ermöglichen. Vielmehr sollte der Betreiber aber endlich seiner Verantwortung nachkommen.

Statt solcher Salami-Taktik muss größtmögliche Sicherheit gewährleistet und entsprechend nachgebessert werden. Zumal zu befürchten steht, dass dieses Vorgehen auch für die nahenden Neugenehmigungsprozesse der Zwischenlager übernommen werden könnte: Der Müll bleibt ohne Genehmigung in unsicheren Lagern oder die Aufbewahrung wird immer wieder für kurze Zeiträume genehmigt.

Im Zwischenlager Nord bei Lubmin ist ein Neubau des Gebäudes notwendig, das nicht ausreichend gegen Einwirkungen Dritter schützt. Entgegen vorheriger Zusagen wird dort allerdings keine Heiße Zelle eingebaut, also kein Raum, in dem die Castorbehälter überprüft werden könnten.³ Damit ist der erste Neubau dieser Art kein Neustart, sondern eine verpasste Chance.

Alle Zwischenlager sind jeweils für 40 Jahre genehmigt, da für diese Zeitspanne die Sicherheit der Castorbehälter rechnerisch nachgewiesen sein soll. Allerdings wurde 2023 offiziell bestätigt, dass sich die Suche nach einem tiefengeologischen Lager für hochradioaktive Abfälle weiter verzögern und erst im kommenden Jahrhundert mit einer Einlagerung gerechnet werden kann. Damit verlängert sich auch die notwendige Lagerungszeit der Castoren erheblich.⁴ Obwohl schon lange absehbar, agiert die zuständige BGZ immer noch nach dem unrealistischen Zeitplan, als würde ein tiefengeologisches Lager 2051 zur Verfügung stehen. Auch politisches Handeln bleibt aus.

Die aktuelle Sicherung und Sicherheit der Zwischenlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland ist teilweise hoch problematisch. Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) fordert eine zügige und umfassende Überprüfung des gesamten Zwischenlagerkonzepts und direkte Nachbesserungen:

¹ BUND-Studie zur aktuellen Situation der Zwischenlagerung der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle in Deutschland: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/atomkraft/atomkraft_zwischenlager_atommuell_studie_2021.pdf

² WDR: Atommüll-Transporte aus Jülich nach Ahaus ab 2024 möglich: <https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/atommuell-transporte-juelich-ahaus-100.html>

³ BUND-Stellungnahme zum geplanten Neubau eines Ersatztransportbehälterlagers (ESTRAL) bei Lubmin: [bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/atomkraft/atomkraft_neubau_zwischenlager_lubmin_stellungnahme.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/atomkraft/atomkraft_neubau_zwischenlager_lubmin_stellungnahme.pdf)

⁴ Die Internationale Atomenergiebehörde IAEA spricht bei Zeiträumen von über 50 Jahren nicht mehr von Zwischen- sondern von Langzeitlagerung: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1503_web.pdf

- In den Zwischenlagern fehlt es an Reparatur- und Inspektionsmöglichkeiten, um defekte Castoren zu überprüfen. Es müssen daher belastbare Konzepte vorgelegt werden, wie die Sicherheit der Behälter auch über lange Zeiträume überprüft und ein eventueller Defekt repariert werden kann.
- Alterungseffekte können negative Auswirkungen auf Behälterkomponenten und damit die Sicherheit haben. Ohne ausreichende Forschung können Schwachstellen und Gefahren zu lange unerkannt bleiben. Hier muss dringend nachgebessert und wissenschaftliche Expertise aufgebaut, sowie Mess- und Überwachungssysteme installiert werden.
- Der Schutz gegen potenzielle Terroranschläge bleibt bei allen Zwischenlagern unzureichend. Dabei gibt es durch den russischen Angriffskrieg in der Ukraine neue Ereignisse und Angriffe auf Atomanlagen, die dringend in die Betrachtung der Bedrohungslagen eingehen müssen.
- Die Sicherheit der Castoren wird bislang rein rechnerisch geführt, doch diese Berechnungen müssen durch stichprobenartiges repräsentatives Öffnen von Behältern auch überprüft werden können.
- Die BGZ hat ihre Planung und Forschung weiterhin auf den unrealistischen Zeitraum mit einer sogenannten „Endlagerung“ in den 2050er Jahren ausgerichtet. Dies muss dringend korrigiert und an einen realistischen Zeitplan angepasst werden. Laut Entsorgungskommission (ESK) sind das Zeiträume von bis zu 120 Jahren. Die politischen Verantwortlichen und insbesondere das Bundesumweltministerium als übergeordnete Behörde, müssen das Problem der Langzeit-Zwischenlagerung ohne adäquates Sicherheitskonzept schnellstmöglich beheben.
- Aktuell besteht die Gefahr, dass das Zwischenlagerproblem als Argument für eine Beschleunigung der Atommülllagersuche angeführt wird, auf Kosten von Sicherheit und Partizipation. Stattdessen muss ein neues Zwischenlagerkonzept erarbeitet werden, transparent und in einem breiten öffentlichen Prozess mit umfassenden Beteiligungsmöglichkeiten der Bevölkerung. Das würde zudem die politische Glaubwürdigkeit erhöhen – auch im Hinblick auf die Standortauswahl für ein tiefengeologisches Abfalllager.

Die Zeit läuft: Die Genehmigungen der Zwischenlager laufen zwischen 2034 und 2047 aus. Sechs Jahre vor Ende der Aufbewahrungsgenehmigung muss die zuständige BGZ den Verbleib der eingelagerten Brennelemente nachweisen. Für das Zwischenlager Gorleben ist das im Jahr 2028.

Informationen und Rückfragen

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND)
Juliane Dickel, Leitung Atompolitik
Kaiserin-Augusta-Allee 5
10553 Berlin
Tel.: +49 30 275 86-562
Email: juliane.dickel@bund.net

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	6
1 Einleitung	11
2 Mengen, Lagerung und Verantwortlichkeit	12
2.1 Mengen an abgebrannten Brennelementen und hoch-radioaktiven Abfällen	12
2.2 Lagerung der abgebrannten Brennelemente und hoch-radioaktiven Abfälle	13
2.3 Neustrukturierung der Verantwortlichkeit.....	16
2.4 Export radioaktiver Stoffe	17
3 Erhebliche Verlängerung der bisher genehmigten Lagerdauer	18
3.1 Gesetzliche Anforderungen an die Verlängerte Zwischenlagerung	19
3.2 Forschungsprogramm der BGZ.....	22
3.3 Bewertung.....	24
4 Gebäude für die verlängerte Zwischenlagerung	25
4.1 Anforderungen an eine verlängerte Zwischenlagerung laut ENTRIA	26
4.2 „Faktencheck“ zur Wandstärke von Zwischenlager-Mauern der BASE	28
4.3 Fehlende Einrichtungen (Heiße Zellen).....	29
4.4 Autarkie der Zwischenlager	30
4.5 Exkurs: Mögliche Systeme für trockene Zwischenlagerung.....	31
4.6 Bewertung.....	31
5 Behälter für die verlängerte Zwischenlagerung	32
5.1 Ableitung des Forschungsbedarfs durch die BGZ	34
5.1.1 Langzeitverhalten der Metaldichtungen (MSTOR)	35
5.1.2 Druckschalter (DPOPT)	37
5.1.3 Dosisleistungs- und Temperaturmessprogramm (OBSERVE).....	37
5.2 Mängel in der Qualitätssicherung.....	38
5.3 Bewertung.....	39
6 Forschung zum Inventar für die verlängerte Zwischenlagerung	40
6.1 Bestand: Gelagerte Brennelemente und hoch-radioaktive Abfälle	41
6.2 Ableitung des Forschungsbedarfs für BE aus AKWs durch die BGZ	43
6.2.1 SCIP IV – Studsvik Cladding Integrity Project	44
6.2.2 SpizWurZ - Spannungsinduzierte Wasserstoffumlagerung in Brennstabhüllrohren während der längerfristigen Zwischenlagerung	45
6.2.3 Thermal Modelling Benchmark	45
6.2.4 LEDA – Experimentelle Langzeitstudien zum Hüllrohrverhalten	46
6.2.5 DCS-Monitor II	46
6.2.6 Forschungsverbund Myonenradiografie	47
6.3 Brennelementprobleme im Reaktorbetrieb und Fehler bei Beladung	47
6.4 Die ARTEMIS-Mission	47
6.5 Einfluss der verlängerten Zwischenlagerung auf die Endlagerung	48
6.6 Bewertung.....	48

7 Unzureichender Schutz gegen Terrorangriff und kriegerische Einwirkungen	51
7.1 Nachrüstungen gegen SEWD-Ereignisse.....	51
7.2 Konsequenzen aus dem Brunsbüttel-Urteil.....	55
7.3 Aktuelle Bedrohungssituation durch den Krieg in der Ukraine.....	55
8 Spezielle Probleme	60
8.1 Problem: Rückführung der restlichen Abfälle aus der Wiederaufarbeitung	60
8.2 Problem: Fehlende Genehmigung für das Zwischenlager Jülich.....	66
8.3 Problem: Fehlende Genehmigung für das Standort-Zwischenlager Brunsbüttel.....	69
8.4 Problem: Lagerung des waffenfähigen Materials aus FRM II im TBL Ahaus	71
9 (Unnötige) Transporte	75
9.1 Überführung der Behälter von Zwischenlagerstandorten zum Endlagerstandort	75
9.2 Transporte zur Rückholung der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung	75
9.3 Transporte vom AKW Obrigheim zum SZL Neckarwestheim	76
9.4 Transporte von bestrahlten Brennelementen aus Forschungsreaktoren	77
9.5 Bewertung	78
10 Unplausibles Eingangslager	79
10.1 Bewertung	80
11 Überwachung und Strahlenschutz im Lagerbetrieb.....	81
11.1 Bewertung	82
12 Neubewertungsprozess des Zwischenlagerkonzepts.....	83
12.1 Transparenz und Partizipation aus Sicht der BGZ	84
12.2 Bewertung	86
Literatur	90

ZUSAMMENFASSUNG

Laut Richtlinie 2011/70/EURATOM sind die Mitglieder der Europäischen Union verpflichtet, nationale Programme für die Entsorgung ihrer abgebrannten Brennelemente und radioaktiven Abfälle zu erstellen. Ziel ist die sichere und verantwortungsvolle Entsorgung zum Schutz von Arbeitskräften und Bevölkerung vor ionisierender Strahlung. Künftigen Generationen sollen keine unangemessenen Lasten aufgebürdet werden. Das Nationale Programm (NaPro) ist das aktuelle Konzept der Bundesregierung zur geplanten Entsorgung der radioaktiven Abfälle. In Deutschland existieren mehrere schwerwiegende Gründe, die eine Neubewertung der Situation der Zwischenlagerung erfordern. Im NaPro werden die Probleme nicht erwähnt oder ihre Bedeutung wird nicht ausreichend dargestellt.

Die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente und der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung erfolgt in Deutschland in Transport- und Lagerbehältern (TLB) in Lagergebäuden. Das Konzept sieht vor, die abgebrannten Brennelemente an den Standorten der Atomkraftwerke (AKW) bis zur Endlagerung zwischenzulagern. So sollen Brennelement-Transporte vermieden werden. An insgesamt zwölf AKW-Standorten befinden sich Standortzwischenlager (SZL). Weiterhin existieren drei zentrale Zwischenlager (das TBL Ahaus, das TBL Gorleben und das Zwischenlager Nord in Lubmin) sowie zusätzlich ein Zwischenlager in Jülich. Die Durchführung und Finanzierung der Zwischenlagerung liegt in der Verantwortung des Bundes.

Die Genehmigungen der Zwischenlagerung ist auf 40 Jahre befristet. Das Ende der Genehmigungen für die Zwischenlager (2034-2047) stand bereits nicht mit den anvisierten offiziellen Plänen zur Inbetriebnahme eines geologischen Tiefenlagers (etwa 2050, Standortauswahl im Jahr 2031) in Einklang. Laut NaPro sollten daher einerseits die Genehmigungen für die Zwischenlager verlängert und zum anderen ein Eingangslager am Endlagerstandort errichtet werden, um eine Lagerung bis zur Endlagerung zu ermöglichen.

Die Lagerung der hoch-radioaktiven Abfallstoffe in den einzelnen Behältern ist jeweils auf 40 Jahre befristet. Mit einem Umräumen der Behälter ist die aus der Verlängerung der Lagerung entstehende sicherheitstechnische Problematik nicht gelöst.

Nach der aktuellen Schätzung der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) wird sich die Standortauswahl vermutlich um 15 bis 37 Jahre verzögern. Auf dieser Basis hält die Entsorgungskommission (ESK) Zwischenlagerzeiträume von bis zu 120 Jahren, also eine Verdreifachung der ursprünglich geplanten Zwischenlagerzeit, für notwendig. Die Frage nach den erforderlichen Zeiträumen ist von großer Bedeutung: Sie beeinflusst maßgeblich den Umfang der Sicherheitsanforderungen. Die bisherigen **Anforderungen** an Untersuchungen und Sicherheitsnachweise beziehen sich nur auf einen Lagerzeitraum von 40 Jahren. Die ESK hat im März 2023 ein Positionspapier zur verlängerten Zwischenlagerung veröffentlicht. Darin wird ein nationales Regelwerk für die verlängerte Zwischenlagerung empfohlen. Diese Initiative der ESK ist zu begrüßen.

Im Forschungsprojekt ENTRIA wurden erweiterte Anforderungen und mögliche technische Realisierungsvarianten entwickelt, um eine sichere Zwischenlagerung in **Lagergebäuden** über planmäßig lange Zeiträume zu gewährleisten. Der technische Entwurf eines Zwischenlagers wird wesentlich durch die angestrebte Lagerdauer bestimmt. Aufgrund der notwendigen langen Lagerzeiten sollten an allen langfristigen Zwischenlagerstandorten⁵ „Heiße Zellen“ vorhanden sein. Auch die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) riet im Rahmen der 2019 durchgeführten ARTEMIS Mission, einen Notfallplan für die Reparatur von Lagerbehältern und die Umlagerung abgebrannter Brennelemente aufzustellen.

Die BGZ als Betreiber und Genehmigungsinhaber ist verpflichtet, die Einhaltung der Schutzziele für die verlängerte Zwischenlagerung nach Stand von Wissenschaft und Technik dauerhaft nachzuweisen. Die

⁵ Welche Standorte dies sind, sollte in einem partizipativen Verfahren festgelegt werden.

BGZ hat dazu ein Forschungsprogramm zur verlängerten Zwischenlagerung hoch-radioaktiver Abfälle erarbeitet.

Fast alle in Deutschland gelagerten Behälter sind CASTOR-Behälter des Herstellers GNS. Diese werden fast nur in Deutschland eingesetzt. Insofern ist nationale Forschung besonders wichtig. Mit zunehmender Zwischenlagerdauer ist von einer alterungsbedingten Veränderung der Materialien bzw. des Zustandes von Behälterkomponenten auszugehen. Der Umfang des BGZ-Forschungsprogramms zum Thema Behälter ist sehr gering. Die meisten Effekte von potenziell negativ von Alterung betroffenen Behälter-Komponenten werden als vernachlässigbar bewertet. Das liegt vor allem daran, dass der bewertete Zeitraum im Forschungsprogramm sich nur auf etwas mehr als 40 Jahre bezieht. Anmerkung: Auch die bereits beobachteten Qualitätsmängel an Behälterkomponenten wirken sich bei einem deutlich längeren Lagerzeitraum stärker aus und müssen daher neu bewertet werden.

Aufgrund der notwendigen erheblichen Verlängerung der Lagerzeit wäre es dringend erforderlich, den Zustand des Behälterinventars und des Tragekorbs sowie weiterer Behälterbauteile stichprobenartig zu überprüfen. Dies kann nur durch Daten aus dem Inneren eines gelagerten Behälters geschehen. Die Zielsetzung des BGZ-Forschungsprogramms ist jedoch nicht ausreichend, da von einem Start der Einlagerung in ein Endlager für das Jahr 2050 ausgegangen wird. Die Darstellung der BGZ zur Ableitung des Forschungsbedarfs zum Inventar zielt vor allem darauf ab, zu erklären, welcher Forschungsbedarf nicht erforderlich ist. **Solange die BGZ an der limitierten Zielsetzung für ihr Forschungsprogramm festhält, wird die Sicherheit für die notwendige lange Zwischenlagerzeit nicht gewährleistet.**

Die Ergebnisse der internationalen Forschung sind für das Inventar nur bedingt zu verwenden, weil in Deutschland höher angereicherte Brennelemente (BE) eingesetzt wurden. Die BGZ führt nun in Schweden mit dem Projekt „LEDA“ auch ein eigenes Forschungsprojekt zum Hüllrohrverhalten durch. Die zu untersuchenden Brennstabsegmente repräsentieren laut BGZ bestmöglich die in Deutschland eingesetzten Brennstäbe. Informationen, welche Brennstabsegmente untersucht werden, hat die BGZ bisher nicht zur Verfügung gestellt.

Für eine verlässliche Vorhersage der Hüllrohrintegrität nach verlängerter Zwischenlagerung müssen Degenerierungseffekte bekannt sein und verlässlich beschrieben werden können. Für die Sicherheitsbewertungen der langen Lagerzeiten müssen zuverlässige Prognosen aufgestellt werden. Dazu müssen für eine geeignete repräsentative Auswahl von Behältern Untersuchungen im Behälterinneren erfolgen. Die ESK empfiehlt ein Überwachungsprogramm, aus dem sicher geschlossen werden kann, dass die Behälter transportfähig sind. Die Frage ist auch, ob jetzt ein Überwachungssystem an den letzten noch zu beladenden Behältern installiert werden könnte oder sollte, wie dies z. B. in den USA erfolgt ist.

Zur Bewertung des langfristigen Zustands der Hüllrohre ist auch zu bedenken, dass Ereignisse im Betrieb der deutschen Reaktoren – wie die erhöhten Oxidschichtdicken an Hüllrohren – negative Auswirkungen auf die gelagerten Inventare in den Zwischenlagern haben.

Aktuell sieht die BGZ weder für Brennelemente (BE) aus Forschungs- und Prototypreaktoren noch für die hoch-radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufbereitung einen Forschungsbedarf. Dieses sollte aufgrund der geänderten Situation erneut geprüft werden. **Auch die wichtige Thematik „Einfluss der verlängerten Zwischenlagerung auf die Endlagerung“ ist im Rahmen des BGZ-Forschungsprogramms bisher nicht adressiert.**

Für das Verhalten der Materialien, welche die Dichtheit bzw. deren Überwachung (Dichtungen, Druckschalter, Schweißnähte usw.) gewährleisten sollen, fehlen die Nachweise über die notwendige, lange Lagerzeit. Aufgrund der langen Betriebszeit ist eine kontinuierliche Messung der Raumluft im Lagergebäude bzw. der Abluft notwendig. In den letzten Jahren zeigt sich nach Auffassungen einiger Forschungsgruppen, dass ionisierende Strahlung bereits im Niedrigdosisbereich negative Wirkungen hat.

Es wird u.a. vom BUND gefordert, dass Grenzwerte im Strahlenschutz gesenkt werden. **Diese Fragestellungen und die Gewährleistung eines erweiterten Strahlenschutzes der Bevölkerung müssen aufgrund der langen Betriebszeit der Zwischenlager öffentlich diskutiert werden.**

Neben den Fragen der Sicherheit und des Strahlenschutzes sind auch Aspekte der **Sicherung** (vor allem Schutz vor Terrorangriffen) von großer Bedeutung. Die Basis für die Sicherung von Zwischenlagern bildete zur Zeit der Errichtung der Zwischenlager der Schutz durch den Transport- und Lagerbehälter selbst. Die bauliche Auslegung des Zwischenlagergebäudes musste keine sicherheitstechnische Funktion erfüllen.

In den norddeutschen SZL nach dem STEAG-Konzept (Stärke der Wand: ca. 120 cm, Stärke der Decke: 130 cm) soll das Lagergebäude zumindest einen gewissen Schutz vor Einwirkungen von außen gewährleisten. In den süddeutschen SZL nach dem WTI-Konzept (Stärke der Wand: ca. 85 cm, Stärke der Decke: ca. 55 cm) sowie in den zentralen Zwischenlagern Ahaus und Gorleben (Wand- und Deckenstärke 20-50 cm) sollten die Behälter selbst den Schutz vor Einwirkungen von außen gewährleisten.

In 2010 forderte das Bundesumweltministerium aufgrund geänderter Erkenntnislage zu potenziellen Terrorangriffen, Nachrüstmaßnahmen für alle deutschen Zwischenlager. 13 Jahre später sind die erforderlichen Nachrüstungen noch immer nicht an allen Standorten umgesetzt. An einigen Standorten sind nicht einmal die erforderlichen Genehmigungen erteilt. Aber auch nach Durchführung der Nachrüstungen („Härtungen“) der Zwischenlager muss davon ausgegangen werden, dass eine bewaffnete und entschlossene Terrorgruppe in der Lage ist, in die Halle einzudringen. Zudem können sogenannte Innentäter (Personen, die im Zwischenlager tätig sind) in die Lagerhalle gelangen.

Militärische Aktionen gegen kerntechnische Anlagen, wie die russischen Angriffe auf die ukrainischen Atomanlagen, stellen eine weitere Gefahr dar, die in der gegenwärtigen globalen Situation besondere Aufmerksamkeit verdient. Aktuell sind Szenarien rund um kerntechnische Anlagen eingetreten, die bisher als kaum realistisch galten. Das Risiko katastrophaler Unfälle hat sich durch diese kriegerischen Auseinandersetzungen an Atomanlagen erhöht. Eine neue Risikobewertung muss derartige Szenarien in die Sicherheitsbetrachtung für Zwischenlager in Deutschland einbeziehen.

Mit Urteil des Oberverwaltungsgerichts (OVG) Schleswig (4 KS 3/08) am 19.06.2013 wurde die Genehmigung für **das SZL Brunsbüttel** aufgrund einer Klage eines Anwohners aufgehoben. Das Gericht stellte bei der Genehmigung mehrere Ermittlungs- und Bewertungsdefizite hinsichtlich möglicher Auswirkungen eines gezielten Flugzeugabsturzes und eines Beschusses mit panzerbrechenden Waffen fest. Die 2015 beantragte Neugenehmigung ist noch nicht erteilt, zusätzlich wurde am 07.02.2020 eine Genehmigung für einen Zeitraum von fünf Jahren beantragt.

Auch das Zwischenlager Jülich wird nunmehr seit fast zehn Jahren (seit dem 30. Juni 2013) ohne Genehmigung betrieben, obwohl bereits 2007 – vor 16 Jahren (!) – eine Verlängerung der Genehmigung beantragt wurde. Die fehlenden Nachweise betreffen insbesondere die Erdbebensicherheit. Es werden jetzt zwei Optionen für die Zwischenlagerung der Abfälle geprüft: Transport in das TBL Ahaus oder der Neubau eines Zwischenlagers am Standort in Jülich. Statt schnellstmöglich eine konstruktive bauliche Verbesserung anzustreben, wird versucht, das Problem anderweitig zu lösen. Zurzeit wird auch versucht, für das bestehende Lager wieder eine Genehmigung für weitere neun Jahre zu erhalten.

Anhand der Erfahrungen in Jülich und Brunsbüttel kann antizipiert werden, wie die Situation der Zwischenlager bei Auslaufen der jetzigen Genehmigungen sein wird: Die Behälter werden in aufgrund von Sicherheitsbedenken nicht genehmigten Zwischenlagern noch Jahrzehnte aufbewahrt werden (müssen). Zudem scheint auch ein Genehmigungsantrag für kurze Betriebszeiten das Mittel der Wahl zu sein.

Momentan stehen noch drei **Transporte** mit der Rückführung der hoch-radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAW) nach Deutschland aus. Weiterhin ist geplant, die hochangereicherten Brennelemente aus den Forschungsreaktoren in das TBL Ahaus zu transportieren. Die Brennelemente des Forschungsreaktors der TU München (FRM II), die noch immer atomwaffenfähig sind, sollen nun

über Jahrzehnte in einem relativ schlecht geschützten Zwischenlager in Ahaus lagern, dessen Betriebsgenehmigung zudem bereits 2036 endet. Diese Vorgehensweise ist unter Risikogesichtspunkten nicht vertretbar. Nach Ahaus sollen eventuell auch die Behälter aus dem ungenehmigten Zwischenlager in Jülich verbracht werden.

Es ist wenig nachvollziehbar, warum ohne vorhandenes Gesamtkonzept für die langfristige Zwischenlagerung aktuell Transporte erfolgen sollen. So kann nicht ausgeschlossen werden, dass die hoch-radioaktiven Stoffe häufiger und über größere Strecken als erforderlich transportiert werden müssen. Ein Integritätsverlust eines Behälters während des Transports durch einen Unfall oder einen Terrorangriff würde massive Strahlendosen in der Umgebung verursachen.

Um die zeitliche Lücke zwischen dem Ende der Zwischenlagergenehmigungen und der Inbetriebnahme des Endlagers zu schließen, sieht das NaPro die schnelle Errichtung eines großen Eingangslagers am Endlagerstandort vor. Nach den Plänen der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) soll jedoch frühestens 2046 ein Endlagerstandort feststehen. Die BGE räumt ein, eine Entscheidung könne auch erst 2068 fallen. Die Inbetriebnahme eines Endlagers würde sich entsprechend ebenfalls erheblich verzögern. Das zentrale Eingangslager kann laut NaPro bereits nach der ersten Teilgenehmigung des Endlagers errichtet werden. Dann bestehen jedoch weder Rechtssicherheit noch die Garantie, dass das Endlager tatsächlich in Betrieb genommen wird. Verfrühte Transporte zu einem vermeintlichen Eingangslager könnten eine ganze Reihe unnötiger Transporte zur Folge haben. Insgesamt sind mindestens 150 Transporte von Zwischenlagern zum Endlager über einen Zeitraum von 30 Jahren zu erwarten.

Die ESK weist im aktuellen Positionspapier darauf hin, dass bei einer deutlichen Verzögerung der Standortauswahl die Option Errichtung eines größer dimensionierten Eingangslagers, das ab 2046 oder früher alle in den existierenden Zwischenlagern befindlichen Behälter aufnehmen kann, entfallen würde.

Zwei deutsche Zwischenlager besitzen seit Jahren aufgrund fehlender Sicherheitsnachweise keine gültigen Genehmigungen. Es wäre fatal, aus diesen Fehlern nicht zu lernen und abzuwarten, bis eine derartige Situation erneut eintritt. Daher muss frühzeitig eine umfassende Überprüfung des gesamten Zwischenlagerkonzepts erfolgen. Vernünftig erscheint die Idee der Entsorgungskommission, das Zwischenlagerkonzept regelmäßig umfassend zu überprüfen. Auch die IAEO empfahl 2019 ein Verfahren zur regelmäßigen Überwachung des Fortschritts des NaPro. Momentan basiert das Zwischenlagerkonzept in Deutschland auf „Durchwurschteln“: Die Behälter sollen in den bestehenden Zwischenlagern verbleiben und dann in ein Eingangslager verbracht werden. Da ein betriebsbereites Endlager voraussichtlich frühestens am Ende dieses Jahrhunderts zur Verfügung stehen wird, wäre diese risikoreiche Zwischenlagerung noch Jahrzehnte lang erforderlich.

Drei Optionen für ein (neues) Zwischenlagerkonzept in Deutschland wurden bisher diskutiert: a) Alle bestehenden Standorte für die Zwischenlagerung beizubehalten und weitere an den Standorten der Nicht-Leistungsreaktoren einzurichten; b) An mehreren Standorten zentrale Zwischenlager einzurichten; c) Ein Eingangslager am vermutlichen Standort des zukünftigen Endlagers zu errichten. In einem Abwägungsprozess sollte entschieden werden, mit welcher der genannten Optionen (oder Kombination der Optionen) die geringsten Risiken verbunden sind.

Dezentrale Zwischenlager direkt an den Standorten der Erzeugung sind gegenüber zentralen Lagern vorzuziehen, da sie die erforderlichen Transporte von radioaktiven Stoffen und das damit verbundene Risiko minimieren. Das gilt aber nur dann, wenn die Zwischenlager ausreichend geschützt sind. In einem Abwägungsprozess sollten die Risiken von notwendigen Lagerungen und Transporten im Rahmen eines Gesamtkonzeptes für die Zwischenlagerung bewertet werden. Die dann notwendigen Transporte sollten unter geeigneten konstruktiven Sicherheitsmaßnahmen erfolgen.

Die BGZ hat eine veraltete Vorstellung von Partizipation und Transparenz: Sie sieht beides als Einbahnstraße und will lediglich die (unwissende) Bevölkerung über die Richtigkeit ihrer Vorgehensweise informieren. **Eine vollständige andere Sicht- und Vorgehensweise der BGZ ist erforderlich, insbesondere da sich die Lagerzeit verdreifachen kann.**

Ein transparentes und partizipatives Verfahren für die Entwicklung eines neuen Zwischenlagerkonzepts mit einer umfassenden Bürgerbeteiligung wäre ein erforderlicher und zudem ein wirksamer Schritt in Richtung einer erfolgreichen Standortauswahl für ein geologisches Tiefenlager. Eine risikoarme Zwischenlagerung ist eine Grundbedingung für eine erfolgreiche Endlagersuche.

1 Einleitung

Laut RL 2011/70/EURATOM des Rates „über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle“ sind die Mitglieder der Europäischen Union verpflichtet, nationale Programme für die Entsorgung ihrer abgebrannten Brennelemente und radioaktiven Abfälle zu erstellen. (EU-RL 2011) Diese Programme müssen alle Stufen der Entsorgung umfassen. Ziel ist die sichere und verantwortungsvolle Entsorgung zum Schutz von Arbeitskräften und Bevölkerung vor ionisierender Strahlung. Künftigen Generationen sollen keine unangemessenen Lasten aufgebürdet werden. Diese Nationalen Programme sollen alle drei Jahre der Europäischen Kommission vorgelegt werden. Erstmals musste dieses bis zum 23. August 2015 erfolgen.

Im Folgenden wird das von der Bundesregierung vorgelegte Nationale Programm (NaPro) (BMUB 2015g) bezüglich der Angaben zur Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente und hoch-radioaktiver Abfälle diskutiert. Denn das NaPro ist als das aktuelle Konzept der Bundesregierung zur geplanten Entsorgung der radioaktiven Abfälle zu verstehen. Die Richtlinie 2011/70/EURATOM verpflichtet die Mitgliedstaaten der Europäischen Union (EU), den Bericht über die Durchführung dieser Richtlinie (Durchführungsbericht) vorzulegen und alle drei Jahre zu aktualisieren. Der zweite Durchführungsbericht wurde im August 2018, der dritte Bericht im August 2021 vorgelegt. (BMU 2018a, 2021a)⁶

Die im NaPro präsentierten Pläne/Konzepte und technischen Lösungen für die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente und hoch-radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung sind unzureichend. In Deutschland existieren mehrere schwerwiegende Gründe, die gesamte Situation der Zwischenlagerung derartiger Abfälle neu zu bewerten und das bestehende Zwischenlagerkonzept in Frage zu stellen. Im NaPro werden die existierenden Probleme entweder nicht erwähnt oder ihre Bedeutung wird nicht ausreichend dargestellt.

In der hier vorgelegten Studie werden die Probleme der Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen und hoch-radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung diskutiert. In Kapitel 2 werden zunächst Mengen und Standorte der Lagerung sowie Verantwortlichkeiten beschrieben. Dann wird in Kapitel 3 die erforderliche erhebliche Verlängerung der Genehmigung der Zwischenlager diskutiert, auf die die BGZ mit einem Forschungsprogramm reagiert, um die erforderlichen Nachweise für die Sicherheit zu erbringen. In Kapitel 4, 5 und 6 werden die Konsequenzen aus der erheblichen Verlängerung der Lagerdauer für das Gebäude, die Behälter und das Inventar dem (unzureichenden) BGZ-Forschungskonzept gegenübergestellt.

In Kapitel 7 wird der unzureichende Schutz gegen potenzielle Terroranschläge thematisiert. In Kapitel 8 werden exemplarisch weitere aktuelle Probleme der derzeitigen Zwischenlagerung erörtert. Kapitel 9 thematisiert das Transportrisiko. In Kapitel 10 wird die Idee eines Eingangslagers am Standort des zukünftigen geologischen Tiefenlagers beleuchtet. Eine deutliche Verlängerung der Betriebszeit kann auch Implikationen auf die Freisetzungsüberwachung im sogenannten Normalbetrieb der Zwischenlager haben (siehe Kapitel 11). Insgesamt ist ein Neubewertungsprozess des Zwischenlagerkonzepts erforderlich, in welchem die Risiken der verschiedenen Optionen abgewogen werden (siehe Kapitel 12).

Die vorgelegte Studie ist eine Aktualisierung der Studie „Aktuelle Probleme und Gefahren bei deutschen Zwischenlagern“ von März 2020. (BUND 2020)

⁶ Die EU Kommission hat im September 2021 eine Stellungnahme an Deutschland übermittelt, weil das gemeldete NaPro nicht im Einklang mit bestimmten Anforderungen der Richtlinie 2011/70/EURATOM steht. Deutschland hatte zwei Monate Zeit, um die von der Kommission ermittelten Mängel zu beheben. Sollte es keine zufriedenstellende Antwort geben, kann die Kommission beim Gerichtshof der Europäischen Union Klage gegen Deutschland einreichen. (EU KOM 2021) Soweit bekannt, hat Deutschland bisher weder die Mängel behoben noch wurde von der EU Kommission Klage eingereicht.

2 Mengen, Lagerung und Verantwortlichkeit

2.1 Mengen an abgebrannten Brennelementen und hoch-radioaktiven Abfällen

Insgesamt wird von einem kumulierten Gesamtanfall aller deutschen Atomkraftwerke bis zu ihrer Stilllegung von **16.787 Mg SM⁷** ausgegangen. Diese Menge setzt sich wie folgt zusammen (GRS 2020a):

- **6.673 Mg SM** wurden bisher zur Wiederaufarbeitung nach Karlsruhe (WAK) oder ins Ausland (Cogema/Frankreich, BNFL/Großbritannien, UdSSR, Eurochemic/Belgien), zur dauerhaften Lagerung (CLAB/Schweden) oder zur Weiterverwendung (Paks/ Ungarn) abtransportiert.
- **10.098 Mg SM** verbleiben für die direkte Endlagerung in Deutschland.

Am 31.12.2019 befinden sich 6.565 Mg SM an **abgebrannten Brennelementen** in der Trockenlagerung (in Behältern in Zwischenlagern) und 2.539 Mg SM in der Nasslagerung (in den Lagerbecken der Reaktoren). (BMU 2020a)

Verglaste hoch-radioaktive Abfälle lagern in Form von 3.164 Kokillen in 113 Behältern im Transportbehälterlager (TBL) Gorleben⁸ und dem Zwischenlager Nord.⁹ (BMU 2018b)

Die aus **Nicht-Leistungsreaktoren¹⁰** stammende Menge bestrahlter Kernbrennstoffe ist laut NaPro deutlich geringer als die zu entsorgende Menge aus Leistungsreaktoren. Aus den Nicht-Leistungsreaktoren wird eine Abfallmenge im Bereich von 10 bis 12 Mg SM erwartet. (BMU 2018b) Die abgebrannten Brennelemente aus den deutschen Versuchs- und Demonstrationsreaktoren¹¹ lagern zurzeit in 461 Behältern im Zwischenlager Ahaus (305 Behälter), im Forschungszentrum Jülich (152) und im Zwischenlager Nord (4). Die aus Forschungsreaktoren stammende Menge bestrahlter Brennelemente lagert in 18 Behältern im Zwischenlager Ahaus und in den Nasslagern an den Forschungsreaktoren in Berlin, Garching und Mainz.

Bewertung

Mit dem als Folge des Reaktorunfalls in Fukushima verabschiedeten 13. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes wurden für die einzelnen Reaktoren definierte Zeitpunkte festgelegt, bis zu denen die Berechtigung zum Leistungsbetrieb für die Stromerzeugung erlosch, und zwar für Grafenrheinfeld der 31. Dezember 2015, für Gundremmingen B der 31. Dezember 2017, für Philippsburg 2 der 31. Dezember 2019, für Grohnde, Gundremmingen C und Brokdorf der 31. Dezember 2021, für Isar 2, Emsland und Neckarwestheim 2 zunächst der 31. Dezember 2022, geändert mit der 19. Änderung des AtG auf den 15. April 2023. Biblis A, Biblis B, Brunsbüttel, Isar 1, Krümmel, Neckarwestheim I, Philippsburg 1 und Unterweser blieben seit 2011 dauerhaft abgeschaltet. Die in Deutschland noch zu erwartende Menge an abgebrannten Brennelementen aus Leistungsreaktoren ließen sich aufgrund der durch das Atomgesetz festgelegten Laufzeiten bzw. Elektrizitätsmengen gut prognostizieren.

Auch wenn die Menge an Kernbrennstoff aus Nicht-Leistungsreaktoren geringer ist als die aus den Leistungsreaktoren, ist es dennoch eine große Menge an hoch-radioaktiven Stoffen. Diese müssen noch für einen langen Zeitraum sicher bzw. risikoarm gelagert werden.

⁷ MgSM = Megagramm Schwermetall: Maß für Brennstoffgehalt (Uran, Plutonium und Thorium) eines BE.

⁸ 108 Behälter mit HAW-Glaskokillen aus Wiederaufarbeitung deutscher BE bei AREVA NC in La Hague.

⁹ 5 Behälter aus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK)

¹⁰ Versuchs-, Demonstrations- und Forschungsreaktoren

¹¹ Versuchs- und Demonstrationsreaktoren (inzwischen alle in Stilllegung oder bereits abgebaut): AVR (Jülich), HDR (Großwelzheim), VAK (Kahl), KKN (Niederaichbach), KNK II (Karlsruhe), MZFR (Karlsruhe), THTR-300 (Hamm) und das Nuklearschiff Otto-Hahn (Geesthacht).

2.2 Lagerung der abgebrannten Brennelemente und hoch-radioaktiven Abfälle

Die Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente und der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung soll in Deutschland in Transport- und Lagerbehältern in Lagergebäuden erfolgen. Die aus den Reaktoren entladenen Brennelemente werden zunächst mehrere Jahre in den Lagerbecken innerhalb des Reaktorgebäudes aufbewahrt, bevor sie in Transport- und Lagerbehälter umgeladen werden.

Ende 2019 wurden noch rund 40% der abgebrannten Brennelemente (bezogen auf die Mg SM) in den Lagerbecken der jeweiligen Reaktoren nass gelagert. Das Konzept der Bundesrepublik Deutschland sieht vor, die abgebrannten Brennelemente an den Standorten der Atomkraftwerke zwischenzulagern, bis sie endlagergerecht konditioniert und endlagert werden. So sollen Brennelementtransporte vermieden werden. An insgesamt zwölf AKW- Standorten befinden sich Standortzwischenlager (SZL).¹²

Für diese **12 dezentralen Standort-Zwischenlager (SZL)** werden zwei Lagerhallenkonzepte (STEAG- und WTI-Konzept) für die Auslegung der Lagerhallen verwendet, die sich in ihrer Schutzfunktion gegen Einwirkungen von außen unterscheiden. Ausnahme bildet das SZL Neckarwestheim, dort werden die Behälter aufgrund der Standortbedingungen in zwei Tunnelröhren im Berg aufbewahrt. In der folgenden Tabelle sind die Genehmigungsdaten sowie die Belegung dargestellt.

Tabelle 1: Standortzwischenlager in Deutschland an den AKW-Standorten (Belegung Stand 12.5.2023)

Standort	Genehmigung	Erste Einlagerung / Inbetriebnahme	Ende Betriebsgenehmigung	Masse Schwermetall (MgSM)	Aktivität (Bq)	Wärmeleistung (MW)	Behälterstellplätze: genehmigt	Behälterstellplätze: benötigt	Behälterstellplätze: belegt
<i>STEAG-Konzept</i>									
Brokdorf	28.11.2003	05.03.2007	04.03.2047	1.000	$5,5 * 10^{19}$	3,75	100	84	40
Lingen	06.11.2002	10.12.2002	09.12.2042	1.250	$6,9 * 10^{19}$	4,7	125	86	47
Grohnde	20.12.2002	27.04.2006	26.04.2046	1.000	$5,5 * 10^{19}$	3,75	100	75	40
Unterweser	22.09.2003	18.06.2007	17.06.2047	800	$4,4 * 10^{19}$	3,0	80	40	40
Krümmel	19.12.2003	14.11.2006	13.11.2046	775	$9,6 * 10^{19}$	3,0	65	42	42
Brunsbüttel ¹³	28.11.2003	05.02.2006	04.02.2046	200	$4,0 * 10^{19}$	0,3	24	20	20
<i>WIT-Konzept</i>									
Gundremmingen	19.12.2003	25.08.2006	24.08.2046	1.850	$2,4 * 10^{20}$	6,0	192	178	117
Isar	22.09.2003	12.03.2007	11.03.2047	1.500	$1,5 * 10^{20}$	6,0	152	124	88
Philippsburg	19.12.2003	19.03.2007	18.03.2047	1.600	$1,5 * 10^{20}$	6,0	152	107	101
Grafenrheinfeld	12.02.2003	27.02.2006	26.02.2046	800	$5,0 * 10^{19}$	3,5	88	54	54
Biblis	22.09.2003	18.05.2006	17.05.2046	1.400	$8,5 * 10^{19}$	5,3	135	108	108
<i>Tunnel</i>									
Neckarwestheim	22.09.2003	06.12.2006	05.12.2046	1.600	$8,3 * 10^{19}$	3,5	151	127	94

¹² Eine Ausnahme stellt das stillgelegte AKW Obrigheim dar, dessen abgebrannte Brennelemente 2018 aus dem dortigen Nasslager in das SZL Neckarwestheim transportiert wurden. Das zunächst am Standort Obrigheim geplante Zwischenlager wurde nicht errichtet. Ein Antrag zur Errichtung eines Trockenlagers am Standort Obrigheim wurde am 13. Februar 2018 seitens des Betreibers zurückgezogen.

¹³ Aktuell keine gültige Aufbewahrungsgenehmigung; die Aufbewahrung erfolgt auf Basis einer aufsichtlichen Anordnung. Neuantrag wurde 2015 gestellt.

Die drei **zentralen Zwischenlager** sind das Transportbehälterlager (TBL) **Ahaus** (genehmigt 1997), das TBL **Gorleben** (genehmigt 1995) und das Zwischenlager Nord. Im TBL Gorleben sind 113 der 420 Stellplätze mit Behältern belegt. Aktuell befinden sich im TBL Gorleben fünf Behälter mit abgebrannten Brennelementen und 108 Behälter mit HAW-Glaskokillen, die aus der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente bei der AREVA NC in La Hague (Frankreich) stammen. Weitere Einlagerungen sind in das TBL Gorleben nicht geplant.

Im TBL Ahaus sind 68 der 420 Stellplätze belegt. Neben sechs Behältern mit abgebrannten Brennelementen aus Leistungsreaktoren werden auch 323 Behälter mit abgebrannten Brennelementen aus Forschungsreaktoren¹⁴ aufbewahrt. (305 Behälter mit THTR/AVR-Brennelementen und 18 CASTOR MTR2 Behälter mit Forschungsreaktor-Brennelementen aus Rossendorf). Weitere Einlagerungen von Nicht-Leistungsreaktoren sind geplant (siehe unten).

Für die abgebrannten Brennelemente der stillgelegten AKWs Greifswald und Rheinsberg wurde 1999 ein weiteres zentrales Zwischenlager bei Rubenow (**Zwischenlager Nord**) in Betrieb genommen. (BMUB 2014b) Im Zwischenlager Nord werden 74 Behälter (80 Stellplätze) aufbewahrt. Das derzeitige Lager kann aber die bestehenden Anforderungen nicht erfüllen (siehe Kapitel 7.1) und wird daher neu errichtet.

Die Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH (EWN) hat mit dem Schreiben vom 29. Mai 2019 den Genehmigungsantrag nach § 6 Atomgesetz (AtG) für ein neu zu errichtendes Transportbehälterlager gestellt. Das Ersatztransportbehälterlager – kurz ESTRAL – wird in unmittelbarer Nähe zum bestehenden Zwischenlager Nord (ZLN) errichtet. Für das Vorhaben ist vor der Genehmigungserteilung eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchzuführen. (EWN 2021a)

Die Aufbewahrungsdauer der Castor-Behälter im ESTRAL bleibt auf 40 Jahre ab Verschluss des jeweiligen Castor-Behälters beschränkt, so wie es nach aktuellem Regelwerk und derzeitiger Nachweisführung genehmigungsfähig ist. Von den 74 Castor-Behältern wurde der erste 1996, der letzte 2011 verschlossen, d. h. die 40-jährige Aufbewahrungsdauer endet behälterspezifisch zwischen 2036 und 2051. (EWN 2021a)

Seit 1993 existiert das **Zwischenlager Jülich** für die Aufbewahrung der bestrahlten kugelförmigen Brennelemente des stillgelegten AVR-Versuchsreaktors. Dort lagern 152 Transport- und Lagerbehälter des Typs CASTOR THTR/AVR. Betreiber ist die Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH (JEN). Seit dem 30. Juni 2013 fehlt dem Zwischenlager die Genehmigung (Kapitel 8.2).

Tabelle 2: Zentrale Zwischenlager und das Zwischenlager Jülich

Zentrale Zwischenlager	Genehmigung	Ende Betriebsgenehmigung	Behälterplätze genehmigt	Behälterplätze belegt
Gorleben	1995	2034	420	113
Ahaus	1992	2036	420	56
Lubmin ¹⁵	1999	2039	80	74
Forschungszentrum				
Jülich ¹⁶	1993	2013	158	152

¹⁴ Bei der Lagerbelegung ist zu beachten, dass 6-7 dieser Behälter einen Stellplatz einnehmen.

¹⁵ Ein Ersatztransportbehälterlager – ESTRAL – wird errichtet, da das Zwischenlager Nord nicht die Anforderungen erfüllt.

¹⁶ Aktuell keine gültige Aufbewahrungsgenehmigung; die Aufbewahrung erfolgt auf Basis einer aufsichtlichen Anordnung

Eine von drei untersuchten Optionen zur Räumung des Zwischenlagers Jülich ist die Verbringung der Behälter in das Zwischenlager in Ahaus. Dorthin sollen zudem die noch in Deutschland vorhandenen und noch erzeugten abgebrannten Brennelemente aus den Forschungsreaktoren verbracht werden:

- Der **Forschungsreaktor München II** (FRM II) wird mit hochangereichertem Uran (HEU, Highly Enriched Uranium, Anreicherung 93 Prozent) betrieben. Die FRM II-Brennelemente sollen in das TBL Ahaus verbracht werden. (siehe Kapitel 8.4)
- Die abgebrannten Brennelemente aus dem **Forschungsreaktor BER II** in Berlin wurden bisher an das amerikanische Department of Energy (DoE) zurückgegeben. Am 26. Juni 2017 wurde letztmalig ein Transport mit bestrahlten Brennelementen aus dem BER II in die USA durchgeführt.¹⁷ (BMUB 2017a) Im Sommer 2018 hat der Betreiber des Berliner Forschungsreaktors (BER II), Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB), der BGZ seine Absicht mitgeteilt, abgebrannte Brennelemente des BER II in Ahaus zwischenlagern zu wollen. Die Lagerung soll in drei Behältern vom Typ CASTOR MTR3 erfolgen.¹⁸
- Der **TRIGA-Reaktor (Mainz)** hat einen Lebenszeitkern.¹⁹ Insgesamt sind 89 Brennelemente am Standort vorhanden.²⁰ Es ist beabsichtigt, die bestrahlten Brennelemente im TBL Ahaus zwischenzulagern. (KOMMISSION 2015a)

Nach aktuellem Stand ist geplant, die Rückführung aller HAW-Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung ebenso wie die letzte Einlagerung von LWR-Brennelementen in die Zwischenlager bis 2027 abzuschließen. Über das Jahr 2027 hinaus sind nur noch Einlagerungen von Behältern der Bauart CASTOR® MTR3 mit bestrahlten Brennelementen aus deutschen Forschungsreaktoren absehbar.

Bewertung

Im Falle von Stör- oder Unfällen in Zwischenlagern für abgebrannte Brennelemente und hoch-radioaktive Abfälle ist grundsätzlich eine Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre möglich.

Unter dem Gesichtspunkt potenzieller unfallbedingter Auswirkungen ist eine trockene Zwischenlagerung in Behältern gegenüber der Nasslagerung zu bevorzugen, da zum einen die Anfälligkeit für Störfälle geringer ist und zum anderen die Freisetzungsmengen radioaktiver Stoffe im Falle eines Unfalls geringer wären (da im Allgemeinen nicht gleichzeitig eine große Menge von Brennelementen vom Unfall betroffen wäre). Das gilt zumindest dann, wenn der Schutz des Gebäudes und/oder der Behälter ausreichend ist.

Bei der Entladung der abgebrannten BE aus den Lagerbecken traten seit 2011 erhebliche Verzögerungen auf, unter anderem wegen Unvollständigkeit der Antragsunterlagen für die verkehrsrechtliche Behälterzulassung des CASTOR V/52 und wegen fehlender Konzepte für den Umgang mit beschädigter und/oder unvollständig abgebrannter Brennstäbe. (DBT 2015a)

Auch für Brennelemente aus den **Forschungsreaktoren** muss eine risikoarme langfristige Zwischenlagerung gewährleistet werden. Es ist sicherheitstechnisch wenig vorausschauend diese in das schlechtgeschützte Zwischenlager Ahaus zu transportieren, dessen Betriebsgenehmigung zudem bereits am 31.12.2036 endet.

¹⁷ Die Rückführung ist mit einem vollständigen Eigentumsübergang verbunden, d.h. es besteht keine Verpflichtung zur Rücknahme von radioaktiven Abfällen.

¹⁸ Ein Antrag zur Zwischenlagerung wurde bereits 1995 gestellt; da aber absehbar war, dass das HZB zum damaligen Zeitpunkt die Genehmigung nicht nutzen würde, wurde der Antrag 2004 zurückgestellt. Aufgrund ihrer vertraglichen Verpflichtungen gegenüber dem HZB nimmt die BGZ das Genehmigungsverfahren wieder auf.

¹⁹ Nahezu alle Brennelemente sind seit Betriebsbeginn 1965 im Kern eingesetzt und werden bis zur Stilllegung dort verbleiben. Alle vier bis fünf Jahre wird ein neues TRIGA-Brennelement in den Kern eingesetzt.

²⁰ Vier bestrahlte Brennelemente werden in speziellen Lagergruben gelagert.

Darüber hinaus besteht für den Brennstoff aus dem **FRM II** ein besonderes Problem: Aufgrund der relativ kurzen Einsatzzeit im Kern haben die abgebrannten Brennelemente immer noch eine hohe Anreicherung (87 Prozent) und sind nach wie vor atomwaffenfähig. Das Umweltinstitut München lehnt den Einsatz von HEU im Forschungsreaktor von Garching sowie einen Transport nach Ahaus ab, da waffenfähiges Material dort in einem „relativ ungeschützten Zwischenlager“ lagern würde. Stattdessen sollte für die bereits vorliegenden hoch-radioaktiven Abfälle ein Zwischenlager am Standort errichtet werden. Zudem sollte ein Verfahren entwickelt werden, mit dem die abgebrannten Brennelemente konditioniert und abgereichert werden können. (UIM 2017) (Siehe auch Kapitel 8.4)

2.3 Neustrukturierung der Verantwortlichkeit

Auf Grundlage der Ergebnisse der „Kommission zur Überprüfung der Finanzierung des Kernenergieausstiegs“ (KFK) wird seit Ende 2016 eine bedeutende Neustrukturierung der Verantwortlichkeiten im Bereich radioaktiver Abfälle durchgeführt. Mit dem „Gesetz zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung“ wurden langfristig die Verantwortlichkeiten für die Stilllegung und den Rückbau der Atomkraftwerke sowie für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle neu geregelt. Die Betreiber der Atomkraftwerke sind für die Abwicklung und Finanzierung der Bereiche Stilllegung, Rückbau und die fachgerechte Verpackung der radioaktiven Abfälle zuständig. Die Durchführung und Finanzierung der Zwischen- und Endlagerung fällt zukünftig in die Verantwortung des Bundes.

Die finanziellen Mittel für die Finanzierung der Bereiche Zwischen- und Endlagerung wurden dem Bund von den Betreibern der Atomkraftwerke zur Verfügung gestellt. Am 3. Juli 2017 haben die Betreiber insgesamt ca. 24,1 Milliarden Euro an die öffentlich-rechtliche Stiftung – „Fonds zur Finanzierung der kerntechnischen Entsorgung“ (Entsorgungsfonds) – übertragen, die mit Inkrafttreten des Entsorgungsfondsgesetzes eingerichtet wurde. Der Entsorgungsfonds legt die von den Betreibern übertragenen Geldmittel an.

Die Zwischenlagerung der bestrahlten Brennelemente und der radioaktiven Abfälle wird zukünftig von einer in privater Rechtsform organisierten, aber in alleinigem Bundeseigentum befindlichen, eigenständigen Gesellschaft durchgeführt. Am 1. März 2017 ist von der Gesellschaft für Nuklear-Service (GNS), einem Gemeinschaftsunternehmen der Atomkonzerne, die Gesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ) gegründet worden. Im August 2017 übernahm der Bund die Geschäftsanteile an der BGZ – einschließlich der Transportbehälterlager Ahaus und Gorleben. Die BGZ ist eine in privater Rechtsform organisierte Gesellschaft und ist im vollständigen Eigentum des Bundes. Sie soll den sicheren und zuverlässigen Betrieb von Zwischenlagern für schwach-, mittel- und hoch-radioaktive Abfälle gewährleisten. Die BGZ übernahm ab 2019 auch die zwölf dezentralen Standort-Zwischenlager mit Ausnahme des SZL Brunsbüttel, das zurzeit keine gültige Betriebsgenehmigung hat (siehe Kapitel 7). Hier wird der BGZ das Zwischenlager für hoch-radioaktive Abfälle erst übertragen werden, sobald das laufende Verfahren zur Neuerteilung der Aufbewahrungsgenehmigung abgeschlossen ist. 2020 übernahm die BGZ auch für zwölf Lager mit schwach- und mittel-radioaktiven Abfällen aus dem Betrieb und Rückbau der Atomkraftwerke die Verantwortung.

Das Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) bzw. seit 1.1.2020 das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) ist seit dem 30. Juli 2016 die nach § 6 des Atomgesetzes zuständige Genehmigungsbehörde für die Aufbewahrung von Kernbrennstoffen in zentralen und dezentralen Zwischenlagern. Es hat diese Aufgabe vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) übernommen.

Die übrigen beiden Zwischenlager für hoch-radioaktive Abfälle werden von Unternehmen der EWN-Gruppe betrieben, die aus Mitteln der öffentlichen Hand finanziert werden. Dabei handelt es sich um das sogenannte Transportbehälterlager des Zwischenlagers Nord (ZLN) der EWN Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH, in dem Kernbrennstoff und kernbrennstoffhaltige Abfälle aus dem Betrieb von den Atomkraftwerken der ehemaligen DDR sowie aus kerntechnischen Einrichtungen des Bundes zwischengelagert werden. Die ebenfalls zur EWN-Gruppe gehörende Jülicher Entsorgungsgesellschaft für

Nuklearanlagen mbH (JEN) betreibt in Jülich das sogenannte AVR-Behälterlager für die Zwischenlagerung der Brennelement-Kugeln aus dem Versuchsreaktor AVR Jülich.

Bewertung

Die Atomkonzerne haben sich durch eine Einmalzahlung von rund 24,1 Mrd. Euro von den weiteren Kostenrisiken der Lagerung der radioaktiven Abfälle vollständig befreit und deren Haftung beendet. Mit der künftigen staatlichen Verantwortung übernehmen die Steuerzahlerinnen und Steuerzahler die Risiken für die Finanzierung der künftigen Kosten.

Auch die EU Kommission sieht diese Risiken und erklärt: „Die Kommission kam bei ihrer Prüfung zu dem Schluss, dass die Entscheidung Deutschlands zur Übernahme der Haftung für die Entsorgung radioaktiver Abfälle eine staatliche Beihilfe beinhaltet, da die Gesamtkosten für die Entsorgung radioaktiver Abfälle mit erheblicher Unsicherheit behaftet sind und die geplante Zahlung von rund 24,1 Mrd. EUR Deutschland nicht in vollem Umfang vor Kostenüberschreitungen schützen wird. Zwar liegen dem in den neuen öffentlich-rechtlichen Fonds einzuzahlenden Betrag die besten derzeit verfügbaren Kostenschätzungen zugrunde, diese Berechnungen sind aber aus verschiedenen Gründen sehr unsicher. Vor allem hat Deutschland noch keinen Standort für die Endlagerung radioaktiver Abfälle festgelegt, und es gibt keine vergleichbaren Kosten-Benchmarks für den Bau einer entsprechenden Anlage.“ (EU KOM 2017) Die EU Kommission genehmigt dennoch den Vorgang.

Es ist zwar zu begrüßen, dass die Atomkraftwerksbetreiber ihre Rückstellungen für die Zwischen- und Endlagerung in einen öffentlich-rechtlichen Fonds übertragen haben und einen – wenngleich auch geringen – Risikozuschlag zahlen. Zu kritisieren ist aber, dass mit dieser Regelung die Betreiber von sämtlichen finanziellen Verpflichtungen befreit werden. **Wie sich die Neuregelung der Verantwortlichkeiten auf die Sicherheit der Zwischenlagerung auswirkt, wird sich zeigen müssen. Insbesondere wird sich zeigen müssen, ob es von Vor- oder Nachteil ist, dass der Bund Betreiber und zuständige Genehmigungsbehörde ist.**

2.4 Export radioaktiver Stoffe

Laut NaPro dürfen bestrahlte Brennelemente aus Nicht-Leistungsreaktoren entsprechend den gesetzlichen Regelungen in ein Land, in dem Brennelemente für Forschungsreaktoren bereitgestellt oder hergestellt werden, verbracht werden. (BMUB 2015g)

Nach neuer Rechtslage, die seit dem 16. Mai 2017 gilt, darf die Erteilung einer Genehmigung zur Ausfuhr von aus dem Betrieb von Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen zu Forschungszwecken stammenden bestrahlten Brennelementen nur aus schwerwiegenden Gründen der Nichtverbreitung von Kernbrennstoffen oder aus Gründen einer ausreichenden Versorgung deutscher Forschungsreaktoren mit Brennelementen für medizinische und sonstige Zwecke der Spitzenforschung erfolgen. (BMU 2018a)

Bewertung

Nach RL 2011/70/EURATOM, Art. 4 Abs. 1, hat jeder Mitgliedstaat die abschließende Verantwortung für die Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle, die in seinem Hoheitsgebiet entstanden sind. Aus den Angaben im NaPro wird nicht deutlich, welche Brennelemente aus Nicht-Leistungsreaktoren exportiert werden sollen. Bis Herbst 2022 wurde erwogen, die im Zwischenlager Jülich gelagerten abgebrannten Brennelemente aus dem AVR Jülich und dem THTR Hamm-Uentrop zur Wiederaufarbeitung und zum dauerhaften Verbleib in die USA zu exportieren. Es sind verschiedene Rechtsauffassungen zur Rechtmäßigkeit eines derartigen Exports vorhanden (siehe z.B. (WOLLENTEIT 2014). Dies wäre in jedem Fall als Verstoß gegen die Zielsetzung der Entsorgung auf nationalem Territorium anzusehen.

In der aktualisierten Fassung des NaPro werden Anlagen, die der Spaltung von Kernbrennstoffen, aber nicht der gewerblichen Erzeugung von Elektrizität dienen, Nicht-Leistungsreaktoren genannt. (BMUB 2015f) Damit wurde die strittige Unterteilung in Versuchs-, Demonstrations- und Forschungsreaktoren

– zumindest sprachlich – vermieden. Aber auch in der aktualisierten Fassung wird weiterhin die Ausfuhr von bestrahlten Brennelementen aus „Nicht-Leistungsreaktoren“ in Länder erlaubt, in denen Brennelemente für Forschungsreaktoren bereitgestellt oder hergestellt werden.

Der Bericht der Endlagerkommission enthält folgende Empfehlung: „Die Kommission spricht sich für die gesetzliche Einführung eines generellen Exportverbots für hoch-radioaktive Abfälle aus.“ Zur Begründung schreibt die Kommission, sie sähe darin ein wichtiges Signal, um das Ziel einer umfassenden Endlagerung von bestrahlten Brennelementen im Inland zu unterstreichen. Die Kommission fordert die Bundesregierung auf, eine Neuregelung²¹ zu einem Exportverbot auch für bestrahlte Brennelemente aus Forschungsreaktoren zu erarbeiten. (KOMMISSION 2016a)

In der Novellierung des Standortauswahlgesetzes setzt der Gesetzgeber die Empfehlung der Endlagerkommission nicht um. Das Nationale Begleitgremium (NBG) setzt sich weiter für ein striktes Exportverbot ein. Auch der BUND setzt sich weiterhin für ein umfassendes Exportverbot ein.

3 Erhebliche Verlängerung der bisher genehmigten Lagerdauer

Die Genehmigungen zur Aufbewahrung der abgebrannten Brennelemente und der hoch-radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in den Zwischenlagern sind auf 40 Jahre befristet. Die Befristung der Genehmigung auf 40 Jahre gilt bei den Standortzwischenlagern ab der Einlagerung des ersten Behälters, bei den Transportbehälterlagern in Ahaus und Gorleben sowie beim Zwischenlager Nord in Lubmin ab Erteilung der Genehmigung. Bei fast allen in Zwischenlagern aufbewahrten Behältern erreicht die Genehmigung des Lagers früher das Fristende als die Genehmigung der jeweiligen Behälter. Ausnahme bilden 305 Behälter im Zwischenlager Ahaus. (KOMMISSION 2016a)

Das Ende der Genehmigungen für die derzeit betriebenen Zwischenlager (Ende der Genehmigungen 2034-2047)²² steht nicht in Einklang mit den noch offiziellen Plänen zur Inbetriebnahme eines geologischen Tiefenlagers (etwa 2050). Im NaPro wird erklärt, dass *in diesem Zeitraum eine vollständige Räumung der Lager nicht gewährleistet werden kann*. Mit der ersten Teilgenehmigung für das Endlager soll am Standort auch ein Eingangslager genehmigt und damit die Voraussetzung für den Beginn der Räumung der bestehenden Zwischenlager geschaffen werden. Die abgebrannten Brennelemente und die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung sollen bis dahin an vorhandenen Zwischenlagerstandorten aufbewahrt werden. (BMUB 2015g)

Im Bericht der Endlagerkommission wird erklärt, dass es schon bei der optimistischen Zeitstruktur des Standortauswahlgesetzes zu einem zeitlichen Delta zwischen dem Auslaufen der derzeitigen Genehmigungen für die Zwischenlager und bis zur vollständigen Einlagerung aller Behälter käme. **Die Endlagerkommission stuft die genannten Daten (Standortauswahl: 2031 und Inbetriebnahme: etwa 2050) mit Blick auf die Phasen im Standortauswahlverfahren als unrealistisch ein.** (KOMMISSION 2016a)

Beschleunigungsmöglichkeiten im Verfahren auf Kosten von Sicherheit oder auf Kosten von Beteiligung lehnt die Kommission aber ab. Der Aufbau von Vertrauen benötige Zeit und stehe in Konflikt mit Ansätzen zu einer Beschleunigung des Verfahrens. Der Zeitbedarf ist hinsichtlich der Gewichtung nachrangig zu den Zielen Sicherheit und Partizipation. (KOMMISSION 2016a)

Derzeit (April 2023) befindet sich Deutschland in der ersten von drei Phasen des Standortauswahlverfahrens. Schritt 1 von Phase I ist abgeschlossen, Ziel von Schritt 2 der Phase I ist die **Ermittlung von Standortregionen**. Diese Standortregionen sollen im Rahmen der Suche nach einem Endlagerstandort für hoch-radioaktive Abfälle in Deutschland oberirdisch erkundet werden. Im jetzigen Zeitplan sollen die Standortregionen bis 2027 bestimmt werden. Die BGE als Vorhabenträger hat im September 2017

²¹ Die Kommission weist darauf hin, dass diese Neuregelung zwingenden Gesichtspunkten der Non-Proliferation und der Ermöglichung von Spitzenforschung, insbesondere im Forschungsreaktor FRM II, Rechnung tragen soll.

²² Die erste Genehmigung für das TBL Gorleben endet bereits am 31.12.2034.

mit dem Standortauswahlverfahren begonnen. Die BGE stellte Ende 2022 erstmals einen Zeitplan für das Standortauswahlverfahren auf. Demnach kann nicht in 2031, sondern erst 2046 bis 2068 die Entscheidung für einen Standort getroffen werden.

Die ESK schätzte in ihrem Positionspapier 2023 ab, dass bei einer Verzögerung der Entscheidung über den Standort des Endlagers bis 2046 bzw. 2068 – wie von der BGE abgeschätzt – einer unterstellten Errichtungsdauer von ca. 20 Jahren und einer Betriebsdauer von 30 Jahren, die ab 2034 auslaufenden Zwischenlagereignisgenehmigungen teilweise um etwa **80 Jahre verlängert** werden müssen. Theoretisch sind somit **Zwischenlagerzeiten von bis zu 120 Jahren** erforderlich, eventuell sogar darüber hinaus, falls es auch bei der Errichtung und dem Betrieb des Endlagers Verzögerungen gegenüber den derzeitigen Annahmen geben sollte. **Dies bedeutet, dass sich die ursprünglich geplante Zwischenlagerdauer verdreifachen kann, was zu einer Zunahme von Unsicherheiten bzgl. des Komponenten- und Inventarverhaltens führt.** Selbst wenn derzeit keine Cliff-Edge-Effekte bei der trockenen Zwischenlagerung in Behältern erkennbar sind, so stellt dies doch erhebliche Anforderungen an das Alterungsmanagement für die Behälter und das Lagergebäude sowie an die Abtransportierbarkeit der Behälter nach so langer Zwischenlagerung dar. (ESK 2023)

3.1 Gesetzliche Anforderungen an die verlängerte Zwischenlagerung

Sowohl eine Verlängerung der geltenden Genehmigungen nach § 6 AtG der Zwischenlager als auch eine Verlängerung der Aufbewahrungszeit der Kernbrennstoffe in den einzelnen Behältern bedürfen eines Genehmigungsverfahrens, in dem alle Nachweise neu geprüft und bewertet werden.

Laut BGZ handelt es sich bei den zu führenden Genehmigungsverfahren nicht um Verlängerungen der bestehenden Aufbewahrungsgenehmigungen, sondern um völlig neu zu erlangende Genehmigungen nach dem Atomgesetz. (BGZ 2023e)

Die Betreiber der Zwischenlager sind verpflichtet, sich spätestens acht Jahre vor Ablauf der Genehmigung schriftlich über ihre Vorhaben zu äußern, in Einzelfällen spätestens sechs Jahre vor Ablauf. 2034 läuft die erste Zwischenlager-Genehmigung aus, ab 2026 müssen die Betreiber also Pläne zum weiteren Umgang vorlegen.

Im „Erster Bericht zur Durchführung der Richtlinie 2011/70/EURATOM“ (BMUB 2015f) wird erklärt, dass für die Zwischenlagerung von bestrahlten Brennelementen und radioaktiven Abfällen die von der Entsorgungskommission (ESK) erarbeiteten Leitlinien „*ESK-Leitlinien für die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Behältern, Empfehlung der Entsorgungskommission*“ (ESK 2013) zu Grunde liegen. Durch diese würden Anforderungen an eine sichere Zwischenlagerung unter Berücksichtigung der wechselseitigen Abhängigkeiten der einzelnen Entsorgungsschritte gestellt. Auch in dem zweiten (2018) und dem dritten Bericht (2021) zur Durchführung der Richtlinie 2011/70/EURATOM wird auf diese Leitlinien der Entsorgungskommission (ESK-Leitlinien) verwiesen. (BMU 2018a, 2021a)

Die ESK-Leitlinien beziehen sich auf eine zeitlich befristete Aufbewahrung mit dem Ziel einer nachfolgenden Endlagerung. Als geeigneter Maßstab kann laut ESK der Zeitraum von 40 Jahren herangezogen werden.

Die ESK veröffentlichte zusätzlich die „ESK-Leitlinien zur Durchführung von periodischen Sicherheitsüberprüfungen und zum technischen Alterungsmanagement zur Zwischenlagerung für bestrahlte Brennelemente und Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle“ die im letzten Jahr aktualisiert wurden. (ESK 2022)

Zu den Zielen der Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) gehört auch eine aktualisierte Sicherheitsbewertung unter Berücksichtigung des Standes von Wissenschaft und Technik und die Einhaltung der sicherheitstechnischen Anforderungen im Hinblick auf die Handhabung und den späteren Abtransport der Transport- und Lagerbehälter. Der Inhalt der PSÜ soll auch eine Überprüfung und ggf. Aktualisierung der Störfallanalyse im Hinblick auf die Auslegungsstörfälle und auslegungsüberschreitenden Ereignisse sowie der dafür vorgesehenen Maßnahmen umfassen. (BMUB 2014b)

Zu den Prüfzielen der PSÜ gehört auch das Technische Alterungsmanagement. Dieses betrifft: zugängliche Behälterbereiche, Gebäude, technische Einrichtungen aber nicht die unzugänglichen Behälterbereiche und Inventare. In den ESK-Leitlinien zur PSÜ sind weder Vorgaben zur Prüfung der Brennelemente bzw. HAW-Kokillen noch zur Prüfung der Primärdeckeldichtungen, des Behälterinnenraumes bzw. der in ihm befindlichen Komponenten enthalten.

Die Periodischen Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ) beinhalten unter anderem:

- die regelmäßige Überprüfung des Lagergebäudes durch Begehung,
- die Anfertigung eines Zustandsberichts mit besonderer Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Gebäudeteile,
- die Durchführung wiederkehrender Setzungsmessungen,
- die Auswertung der Messungen und Prüfergebnisse und
- die Festlegung und Durchführung geeigneter Instandsetzungsmaßnahmen.

Für Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren im Bereich der Behandlung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle spielen die Empfehlungen der SSK und der ESK eine wichtige Rolle.²³

Die Entsorgungskommission hat bei ihrer Sitzung des Ausschusses Abfallkonditionierung, Transporte und Zwischenlagerung (AZ) am 23.08.2022 das Thema „*Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle in Behältern*“ behandelt. Zunächst berichtete das BASE über die Erfahrungen bei der Anwendung der Leitlinien und gab Hinweise für deren Überarbeitung und dann wurde über Änderungsvorschläge und Überarbeitung der Leitlinie beraten. Eine aktualisierte ESK-Leitlinie wurde bisher nicht veröffentlicht.

Für die verlängerte Zwischenlagerung liegt bisher nur das Diskussionspapier der ESK aus 2015 vor. In dem „Diskussionspapier zur verlängerten Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und sonstiger Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle“ vom 29. Oktober 2015 wird die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente über den genehmigten Zeitraum von 40 Jahren hinaus diskutiert.

Im April 2023 veröffentlichte die ESK jedoch ein **Positionspapier „Verlängerte Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und sonstiger hoch-radioaktiver Abfälle in Abhängigkeit von der Auswahl des Endlagerstandorts“**. Darin erklärt die ESK einleitend, sie habe im Jahr 2019 das Thema erneut aufgegriffen und im Jahr 2021 eine Anhörung aller Verfahrensbeteiligten durchgeführt. Hierzu gehörten neben den Lagerbetreibern BGZ und EWN auch der Behälterhersteller GNS, die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) als Gutachter sowie das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) als Genehmigungsbehörde für die Zwischenlager und als Zulassungsbehörde für die Transport- und Lagerbehälter (TLB). Zusätzlich erfolgte eine Anhörung der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE), um auch die Schnittstelle zwischen der verlängerten Zwischenlagerung und der Endlagerung zu beleuchten. Ziel war es, eventuell noch bestehende Kenntnislücken und Handlungsbedarf zur Erbringung der Sicherheitsnachweise für eine über die 40 Jahre hinausgehende Zwischenlagerung sowie zur Sicherstellung der Transportierbarkeit der Behälter nach Ablauf der Zwischenlagerzeit zu identifizieren. Laut ESK wurde im Verlauf dieser Befassung zunehmend deutlich, dass die Realisierung der Endlagerung bis 2050 sehr ambitioniert ist und neben der verlängerten Zwischenlagerung eine Reihe weiterer Maßnahmen erforderlich macht, die unter Umständen auf dem zeitkritischen Pfad liegen.²⁴ (ESK 2023)

²³ Diese unabhängigen Expertengremien beraten das BMU in Fragen des Strahlenschutzes und der nuklearen Entsorgung.

²⁴ Da die Zwischenlagerung nur ein Teil des gesamten Entsorgungsprozesses ist, hat sich die ESK auch mit den wechselseitigen Abhängigkeiten befasst und diese in einem Zeitstrahl dargestellt. Daraus wird erkenntlich, dass insbesondere bis zur Standortfestlegung 2031 eine Reihe von Aktivitäten parallel erfolgen müssen. Dies betrifft insbesondere die Entwicklung

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

Aus Sicht der ESK ist zunächst die zu berücksichtigende Zwischenlagerdauer festzulegen, da diese Einfluss auf die erforderliche Nachweisführung hat. Im Hinblick auf die lange Zeitspanne bis zur geplanten Inbetriebnahme des Endlagers und die mit dem Prozess insgesamt verbundenen Unsicherheiten sollte die Zwischenlagerdauer ausreichend bemessen werden, um eine nochmalige Genehmigungsverlängerung zu vermeiden. Einschränkung erklärt die ESK: Alternativ könnte eine an den Betriebszeitraum des Endlagers gekoppelte Aufbewahrungsgenehmigung beantragt werden, sofern über Periodische Sicherheitsüberprüfungen und Alterungsmanagement die Einhaltung aller Sicherheitsanforderungen nachgewiesen werden kann. (ESK 2023)

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

- Verwendung realistischer Behälter- und Inventardaten,
- Nachweis der Handhabbarkeit der Brennelemente bei der Zwischenlagerung/Ausschluss systematischen Hüllrohrversagens,
- Festlegung auslegungsüberschreitender Störfälle und zugehöriger Eintrittswahrscheinlichkeiten,
- Zulässigkeit des Einsatzes von probabilistischen Nachweismethoden.

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

Wenn das jeweilige Standortzwischenlager über die bisherige Genehmigungsdauer hinaus weiterbetrieben werden soll, ist eine komplette Neugenehmigung erforderlich. Dies darf gemäß § 6 AtG nur aus unabwiesbaren Gründen und nach vorheriger Befassung des Deutschen Bundestags erfolgen. **Die neuen Aufbewahrungsgenehmigungen nach § 6 AtG müssen zum Zeitpunkt des Auslaufens der aktuellen Genehmigungen vorliegen, um einen ungenehmigten Zustand zu vermeiden.** Es müssen zwischen 2034 und 2042 bis zu vier, im Jahr 2046 sieben und im Jahr 2047 vier neue Aufbewahrungsgenehmigungen nach § 6 AtG erteilt sein. Das bedeutet, dass zeitweise bis zu elf Genehmigungsverfahren parallel geführt werden müssen. Dies setzt eine sehr effiziente Prozesssteuerung voraus und ist aus Sicht der ESK nur auf Basis standardisierter Antragsunterlagen und einer zwischen allen Verfahrensbeteiligten abgestimmten Nachweisstrategie realisierbar. Dies gilt umso mehr, da für die über die bisher genehmigte Zwischenlagerdauer von 40 Jahren hinausgehende Zwischenlagerung zusätzliche Nachweise insbesondere zum Langzeitverhalten der Behälter und Inventare erforderlich sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für die erforderlichen Nachweise im Wesentlichen nur die bereits vorhandenen Inventardaten zur Verfügung stehen. **Es können weitere Informationen (insbesondere zum Alterungsverhalten) in begrenztem Umfang aus internationalen Forschungsprogrammen und aus bereits von der BGZ angestoßenen Forschungsprojekten gewonnen werden.** (ESK 2023)

und sukzessive Konkretisierung von Endlagerbehälterkonzepten für die verschiedenen Wirtsgesteine sowie die Festlegung der damit verbundenen Konditionierungstechnik. (ESK 2023)

Zum Nachweis, dass den zwischengelagerten Behältern **eine Transportfähigkeit** wie zum Zeitpunkt der Einlagerung attestiert werden kann, ist laut ESK ein Alterungsmanagement zu implementieren, dessen Auswertung eine zusätzliche Basis für die Genehmigung der erforderlichen Transporte am Ende der Zwischenlagerphase bildet. Im Rahmen dieses Alterungsmanagements sind alle Alterungsprozesse zu erfassen und hinsichtlich ihrer möglichen Auswirkungen zu bewerten. Für potenziell sicherheitsrelevante Prozesse ist ein Überwachungsprogramm zu erstellen, das sowohl die Spezifika der einzelnen Behältertypen und Inhalte als auch mögliche äußere Einflüsse und insbesondere die maximal notwendige Dauer der Zwischenlagerung berücksichtigt. (ESK 2023)

3.2 Forschungsprogramm der BGZ

Die Dauer der Aufbewahrung für Transport- und Lagerbehälter ist derzeit auf 40 Jahre begrenzt. Die BGZ als Betreiber und Genehmigungsinhaber ist verpflichtet, den Verbleib der Transport- und Lagerbehälter und die Einhaltung der Schutzziele für die verlängerte Zwischenlagerung nach Stand von Wissenschaft und Technik dauerhaft nachzuweisen.

Die BGZ hat in den letzten Jahren eine Fachabteilung aufgebaut und das Forschungsprogramm zur verlängerten Zwischenlagerung hoch-radioaktiver Abfälle erarbeitet. Die BGZ erklärt, dass dieses Forschungsprogramm den notwendigen Forschungsbedarf aufzeigt und einen Überblick über ihre Forschungsstrategie sowie die bereits initiierten Projekte gibt. Das Forschungsprogramm wird laut BGZ laufend fortgeschrieben und aktualisiert und an den sich weiterentwickelnden Stand von Wissenschaft und Technik angepasst. (BGZ 2022)

Mit den gewonnenen Erkenntnissen will die BGZ die technischen Fragen beantworten, die mit der verlängerten Zwischenlagerung einhergehen. Das Forschungsprogramm stellt das zentrale Instrument der BGZ dar, das für den Nachweis der Einhaltung der Schutzziele erforderlich ist.

Die BGZ und die EWN-Gruppe als bundeseigene Unternehmen betreiben in Deutschland Zwischenlager für die Aufbewahrung von Kernbrennstoffen sowie radioaktiver Abfälle aus der Aufarbeitung bestrahlter Brennelemente. Es besteht eine Kooperation mit der EWN-Gruppe im Bereich des Erfahrungsaustausches und der einzelnen Forschungsvorhaben. (BECKER 2021)

Tabelle 3: Tabellarische Übersicht über das aktuelle BGZ-Forschungsprogramm

Name	Gegenstand	Projektpartner/Organisationen	Laufzeit
Behälter			
MSTOR	Metal Seals During Long-Term Storage <ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung der vorhandenen experimentellen Basis zum temperaturabhängigen Alterungsverhalten von Metall-dichtungen • Ableitung eines Prognosemodells für Dichtungskennwerte 	<ul style="list-style-type: none"> • GNS (Behälterhersteller, Deutschland) • Technetics (Dichtungshersteller, Frankreich) 	2021 bis 2031, gegebenenfalls länger
OBSERVE	Dosisleistungs- und Temperaturmessprogramm an beladenen Behältern <ul style="list-style-type: none"> • Vergleich rechnerischer Erwartungswerte mit Messwerten an ausgewählten Behältern zu verschiedenen Zeitpunkten während der Lagerung • Überprüfung der Abschirm-/Wärmeabfuhereigenschaften der Behälter 	<ul style="list-style-type: none"> • WTI 	Phase I: Mitte 2021 bis Ende 2022, anschließend Messprogramm (Phase II)
DPOPT	Optimierung des Druckschalters	<ul style="list-style-type: none"> • GNS (Behälterhersteller, Deutschland) 	Anfang 2021 bis Ende 2022

	<ul style="list-style-type: none"> • Qualifizierung einer fertigungstechnisch optimierten Komponente 	<ul style="list-style-type: none"> • HBM Druckschalterhersteller, (Deutschland) 	
Inventare			
SCIP IV	Studs vik Cladding Integrity Project <ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung der vorhandenen experimentellen Basis zum Hüllrohrverhalten unter Bedingungen der verlängerten Zwischenlagerung • Ableitung von Modellen zur Vorhersage des Hüllrohrverhaltens 	<ul style="list-style-type: none"> • Internationales Projekt der OECD/NEA • Teilnehmer*innen aus Europa, Japan, USA, China und Korea • BGZ Konsortialpartner mit GRS 	Juli 2019 bis Juni 2024
SpizWurZ	Spannungsinduzierte Wasserstoffumlagerung in Brennstabhüllrohren während der längerfristigen Zwischenlagerung <ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung der vorhandenen experimentellen Basis zum Hüllrohrverhalten unter Bedingungen der verlängerten Zwischenlagerung • Ableitung von Modellen zur Vorhersage des Hüllrohrverhaltens 	<ul style="list-style-type: none"> • BMWi-Forschungsförderung zur nuklearen Sicherheit im Rahmen des 7. Energie-Forschungsprogramms • Verbundvorhaben von GRS und KIT (IAM, INE) • BGZ hat Status eines Beobachters. 	Juni 2020 bis Juni 2023
Thermal Modelling Benchmark	<ul style="list-style-type: none"> • Bestimmung und Vergleich von genaueren Brennstabhüllrohr-Temperaturen • Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse der unterschiedlichen Berechnungs- und Modellierungsansätze 	<ul style="list-style-type: none"> • Internationaler Rechen-Benchmark des EPRI-ESCP • Teilnehmer*innen aus Europa, Asien, USA • BGZ im Verbund mit GNS und WTI 	Juli 2019 bis Juni 2024
LEDA	Long-Term Experimental Dry Storage Analysis <ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung der vorhandenen experimentellen Basis zum Hüllrohrverhalten unter Bedingungen der verlängerten Zwischenlagerung • Ableitung von Modellen zur Vorhersage des Hüllrohrverhaltens 	<ul style="list-style-type: none"> • Leitung durch die BGZ • Experimente werden in den Laboren von Studsvik in Schweden durchgeführt. • Planung gemeinsam mit Partnern (Framatome GmbH, GRS gGmbH) • Durchführung mit weiteren Partnern 	2022 bis 2026
DCS-Monitor II	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur nicht invasiven Analyse des Inventarzustands für Transport- und Lagerbehälter bei verlängerter Zwischenlagerung 	<ul style="list-style-type: none"> • BMWi-Forschungsförderung zur nuklearen Sicherheit im Rahmen des 7. Energie-Forschungsprogramms • Verbundvorhaben der Technischen Universität Dresden, der Hochschule Zittau/Görlitz sowie des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf e.V. • BGZ hat Status eines assoziierten Projektpartners. 	April 2020 bis März 2023

In den Kapiteln 5 und 6 werden die laufenden Forschungsvorhaben der BGZ dargestellt.

3.3 Bewertung

Das Problem der zeitlichen Lücke für die Zwischenlagerung wird im NaPro zwar benannt, eine nachvollziehbare Lösung wird aber nicht präsentiert. Laut NaPro sollen einerseits die Genehmigungen für die Zwischenlager verlängert und zum anderen ein Eingangslager am Endlagerstandort errichtet werden. Weder der Zeitraum für die Verlängerung der Zwischenlager noch die Betriebsdauer des Eingangslagers werden im NaPro genannt. **Vor allem aber ist die Lagerung hoch-radioaktiver Abfallstoffe in den einzelnen Behältern jeweils auf 40 Jahre befristet. Mit einem Umräumen der Behälter ist die aus der Verlängerung entstehende sicherheitstechnische Problematik nicht gelöst.**

Laut RL 2011/70/EURATOM soll das NaPro maßgebliche Zwischenetappen und klare Zeitpläne für die Erreichung dieser Zwischenetappen enthalten. Im NaPro fehlen jedoch klare Zeitpläne bezüglich der Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente und Abfälle aus der Wiederaufarbeitung. Für die Erfüllung der EU-Richtlinie kann es nicht ausreichend sein, nur die entsprechenden Termine zu nennen. Diese Termine sollten auf einer realistischen Abschätzung anhand von Erfahrungen basieren. Es ist nicht zielführend, trotz zahlreicher kritischer Hinweise von Endlagerkommission und Experten an den unrealistischen Zeitplänen festzuhalten.²⁵

Das ist insbesondere auch deshalb relevant, da der Unterschied zwischen dem aufgrund von gegenwärtigen Erfahrungen als plausibel anzusehenden Zeitplan und dem inzwischen von der BGE vorgelegten Zeitplan und dem im NaPro dargelegten Zeitplan offenkundig sehr groß ist.

Nachdem nun die BGE einen Plan vorgelegt hat, demnach die Zwischenlagerdauer erheblich länger sein wird, da sich die Standortauswahl vermutlich um 15 bis 37 Jahren verzögern wird, sollte auch die BGZ ihr Forschungsprogramm endlich auf einen längeren Zeitraum ausrichten. **Solange die BGZ an dem im Gesetz festgelegten Zeitplan als Zielsetzung für ihr Forschungsprogramm festhält, wird die Sicherheit für die notwendige lange Zwischenlagerzeit nicht gewährleistet.**

Die Einhaltung des Termins („etwa 2050“) für die Inbetriebnahme des gesuchten Endlagers, der im NaPro genannt wird und auf gesetzlichen Vorgaben beruht, wurde auch vor der BGE Abschätzung von vielen Expertinnen und Experten bezweifelt. Ein Vertreter der Aufsichtsbehörde verdeutlichte, dass nach konservativer Schätzung die Einlagerung in ein Endlager von 2080 bis 2130 erfolgen würde. (BACKMANN 2016) Nach einer anderen Schätzung sei bei realistischer Zeitplanung mit einer Einlagerung der **ersten** hoch-radioaktiven Abfälle im Jahr 2117 zu rechnen.²⁶ (KOMMISSION 2016b)

Auch international zeichnet sich klar ab, dass in den meisten Ländern der Zeitbedarf zur Planung, Genehmigung und Errichtung eines Endlagers viel höher sein wird als ursprünglich vorgesehen. (BUDELMANN 2017)

Die Dauer der erforderlichen Verlängerung der Betriebszeit für die deutschen Zwischenlager sollte konservativ ermittelt werden, denn diese bestimmt den Umfang der von der Sicherheitsbehörde geforderten Sicherheitsanalysen und Einrichtungen.

Beschleunigungsmöglichkeiten der Endlagersuche auf Kosten von Sicherheit und Partizipation sind abzulehnen. Daher sollten in einem Abwägungsprozess die Termine für die Standortauswahl und die Inbetriebnahme anhand von plausiblen Überlegungen neu festgelegt werden. Dabei sollte – wie von der Endlagerkommission vorgeschlagen – der Zeitbedarf nachrangig zu den Zielen Sicherheit und Partizipation gewichtet werden. Das Vertrauen der Bevölkerung kann nur durch die Angaben von realistischen Zeitplänen gewonnen werden und nicht durch die Verheimlichung der Realität.

²⁵ Auch die IAEO schlug im Rahmen der ARTEMIS Mission vor, in Anbetracht der langen Zeiträume der Projekte sollte die Regierung die Festlegung zusätzlicher Zwischenziele als zentrale Erfolgsindikatoren in Betracht ziehen.

²⁶ Bei optimistischer Zeitplanung in 2088, bei pessimistischer Einschätzung erst 2150.

Vorhandene Regelwerke sind auf eine begrenzte Betriebszeit der Zwischenlager zugeschnitten, regulatorische Anforderungen für verlängerte Zwischenlagerdauern müssen noch definiert werden. Die bisherigen **Anforderungen** an Untersuchungen und Sicherheitsnachweise beziehen sich nur auf einen Lagerzeitraum von 40 Jahren. Die ESK-Leitlinien sind nicht für die erforderlichen langen Zwischenlagerzeiträume formuliert.

Die Entsorgungskommission (ESK) bzw. der zuständige Ausschuss behandelte die Überarbeitung der Leitlinien. Statt überarbeitete Leitlinien hat die ESK im März 2023 ein Positionspapier zur verlängerten Zwischenlagerung herausgebracht. Darin wird ein nationales Regelwerk für die verlängerte Zwischenlagerung empfohlen. Dieses sollte alle Anforderungen zum Nachweis der Sicherheit über den gesamten Zwischenlagerzeitraum enthalten. Diese Initiative der ESK ist zu begrüßen.

Die Frage nach den benötigten Zeiträumen für die Verlängerung der Zwischenlagerung ist von großer Bedeutung: Sie beeinflusst maßgeblich die technischen Erfordernisse für die Zwischenlagerung. Aus Sicht der ESK ist zunächst die zu berücksichtigende Zwischenlagerdauer festzulegen, da diese Einfluss auf die erforderliche Nachweisführung hat. Im Hinblick auf die lange Zeitspanne bis zur geplanten Inbetriebnahme des Endlagers und die mit dem Prozess insgesamt verbundenen Unsicherheiten sollte die Zwischenlagerdauer ausreichend bemessen werden, um eine nochmalige Genehmigungsverlängerung zu vermeiden, erklärt die ESK.

Für eine Zwischenlagerdauer von mehr als 50 Jahren gibt es bisher in keinem Staat weltweit Erfahrungen. Insofern kann der erforderliche Lagerzeitraum für die Behälter mit abgebrannten Brennelementen und Abfällen aus der Wiederaufarbeitung in Deutschland nicht als Stand von Wissenschaft und Technik der trockenen Zwischenlagerung bezeichnet werden.

Es wurde im NaPro nicht benannt, für welchen Zeitraum die technischen Voraussetzungen für eine verlängerte Zwischenlagerung untersucht werden. Es wurde daher vermutet, dass nur die laut Gesetz entstehende zeitliche Lücke für die Untersuchungen zugrunde gelegt wird. Die BGZ hat tatsächlich in ihrem Forschungsprogramm nur diesen Zeitraum zugrunde gelegt. Nach aktuellen Angaben des Vorhabensträgers BGE sind aber erheblich längere Zeiträume für die notwendige Zwischenlagerung zu betrachten. Die ESK hält Zwischenlagerzeiträume von bis zu 120 Jahren für notwendig.

Die ESK wies bereits 2015 darauf hin, dass Untersuchungsprogramme zum Nachweis des Langzeitverhaltens von Behälterkomponenten und Inventaren für eine verlängerte Zwischenlagerung voraussichtlich mit **hohem Zeit- und Kostenaufwand verbunden sind und frühzeitig initiiert werden sollten**. (ESK 2015) **Die BGZ hat mit ihrem Forschungsprogramm den erforderlichen ersten Schritt unternommen, um die notwendige Forschung zu initiieren. Dieses ist jedoch nicht ausreichend, weder im Umfang noch in der Zielsetzung**. Das unzureichende BGZ-Forschungsprogramm wird in den Kapiteln 5 und 6 vorgestellt und diskutiert.

4 Gebäude für die verlängerte Zwischenlagerung

Die Aufbewahrung der Transport- und Lagerbehälter mit bestrahlten Brennelementen oder verglasten Abfällen aus der Wiederaufarbeitung erfolgt in Deutschland in Zwischenlagergebäuden aus Stahlbeton. Die primären Schutzziele wie Kritikalitätssicherheit, Abschirmung, dichter Einschluss und Wärmeabfuhr werden unmittelbar von den Transport- und Lagerbehältern übernommen. Die Lagergebäude tragen mittelbar zur Einhaltung der Schutzziele bei, indem sie folgende Schutzfunktionen erfüllen sollen:

- Schutz der Transport- und Lagerbehälter vor Umwelteinflüssen,
- zusätzliche Abschirmung der ionisierenden Strahlung,
- Sicherstellung der Wärmeabfuhr von den Behältern an die Umgebung und
- Schadensvorsorge gegen Störfälle und auslegungsüberschreitende Ereignisse.

Neben der Gewährleistung der Sicherheit trägt das Lagergebäude zur Sicherung bei. Dazu bieten Zwischenlagergebäude Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD), die

eine Entwendung oder Freisetzung der im Zwischenlager aufbewahrten hoch-radioaktiven Abfälle zum Ziel haben.

Bei Zwischenlagergebäuden handelt es sich im Wesentlichen um Lagerhallen, die aufgrund der radiologischen Anforderungen und der Auslegung für Erdbeben und Einwirkungen von außen sowie ihrer Sicherungsfunktionen gegenüber konventionellen Bauten erhöhte Wanddicken aufweisen. Hinsichtlich ihrer Bauweise lassen sich die Zwischenlager in die beiden zentralen Zwischenlager sowie die Standortzwischenlager nach dem WTI-Konzept und dem STEAG-Konzept unterscheiden, wobei sich das WTI-Konzept an die Gestaltung der zentralen Zwischenlager anlehnt. Eine bautechnische Ausnahme bildet das Zwischenlager in Neckarwestheim, das aufgrund seiner Lage in einem ehemaligen Steinbruch als Tunnellager ausgeführt worden ist.

Durch die Dimensionierung der Zu- und Abluftöffnungen in den Zwischenlagergebäuden ist sichergestellt, dass die von den Behältern abgegebene Wärmemenge in ausreichendem Maße an die Umgebung abgeführt wird. So bleiben auch bei maximaler Belegung die Temperaturen aller tragenden Strukturen unterhalb kritischer Werte. Es ist ausgeschlossen, dass die resultierenden maximalen Bauwerkstemperaturen zu einer beschleunigten Alterung beziehungsweise Schwächung des Tragwerks führen. Durch die Abschirmwirkung der Behälter wird außerdem die vom Inventar ausgehende ionisierende Strahlung so weit abgeschwächt, dass die in den Gebäudestrukturen applizierten Energiedosen hinsichtlich ihrer schädigenden Wirkung vernachlässigt werden können.

Laut BGZ sind für die Zwischenlagergebäude keine vom konventionellen Hochbau abweichenden Alterungsmechanismen zu berücksichtigen. Somit sind laut BGZ auch **keine spezifischen Forschungsaktivitäten erforderlich**. Ungeachtet dessen wird der Bauzustand im Rahmen des standortübergreifenden Alterungsmanagements regelmäßig überprüft. Entsprechend den Befunden werden gegebenenfalls weiterführende Maßnahmen abgeleitet, die den Nachweis und langfristigen Erhalt der Gebrauchstauglichkeit sicherstellen. Im Bedarfsfall können das auch Instandsetzungs- oder Sanierungsmaßnahmen sein. Im Wartungsbereich können im Bedarfsfall Ausbesserungsarbeiten und Kontrollen an den Behältern durchgeführt werden. (BGZ 2022)

4.1 Anforderungen an eine verlängerte Zwischenlagerung laut ENTRIA²⁷

Obertägige Zwischenlager für hoch-radioaktive Abfälle werden weltweit an über 150 Standorten betrieben. Der technische Entwurf eines Zwischenlagers wird im Wesentlichen durch die Art des zu lagernden Abfalls und die angestrebte Nutzungsdauer bestimmt. Die genehmigte Betriebsdauer ist vom Genehmigungsverfahren und -zeitpunkt abhängig und beträgt in Deutschland bisher 40 Jahre. Die Aufbewahrung in Zwischenlagern ist auch auf internationaler Ebene grundsätzlich mit der Intention verbunden, die Abfälle zu einem späteren, aber möglichst frühen Zeitpunkt in ein in einigen hundert Metern Tiefe befindliches Endlager zu bringen. Wird eine obertägige oder oberflächennahe Zwischenlagerung auch für längere Zeiträume von mehreren hundert Jahren als temporäre Alternative zur schnellstmöglichen Endlagerung in Betracht gezogen oder davon ausgegangen, dass ein Endlager nicht früher verfügbar sein wird, kommen zu den Bedingungen für heute betriebene Zwischenlager erhebliche weitere Anforderungen hinzu, die den empirisch-technischen Erfahrungsrahmen zum Teil übersteigen. (ENTRIA 2019)

Der Entscheidung, Zwischenlager für eine mindestens 100-jährige Nutzungsdauer zu konzipieren, ging in Frankreich ein über 25 Jahre systematisch vorangetriebenes Forschungsprogramm voraus, indem

²⁷ ENTRIA („Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen“) war eine interdisziplinäre Forschungsplattform, im Rahmen derer von 2013 bis 2017 Universitätsinstitute und Großforschungseinrichtungen die Entsorgungsproblematik untersuchten.

die Möglichkeit einer langfristigen Zwischenlagerung (100-300 Jahre) als einer von drei Forschungszweigen untersucht wurde. Die ANDRA²⁸ erstellte für das französische Ministerium für Ökologie, nachhaltige Entwicklung und Energie im Rahmen des Nationalen Plans zur Verwaltung von radioaktiven Materialien und Abfallstoffen (2013-2015) auf Grundlage der Forschungsergebnisse ein technisches Dokument, das im Besonderen die konzeptionellen Anforderungen einer mindestens 100-jährigen Zwischenlagerung adressiert. Wichtige Ergebnisse mit Bezug zur Bautechnik sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Auch in Großbritannien sollen neu errichtete Zwischenlager fortan für eine mindestens 100-jährige Nutzungsdauer ausgelegt werden. Zur Unterstützung der konzeptionellen Umsetzung solcher Lager wurde eine Richtlinie erstellt. Die beiden Prinzipien *Prevention is better than cure* und *Foresight in design* zielen im Kern darauf ab, allen Lagerkomponenten eine Lebensdauer zuzuordnen. Damit soll erreicht werden, dass notwendige Handlungen vor dem Ausfall einer bestimmten Komponente vorbereitet sind und bereits im Entwurfsprozess über die Machbarkeit eines Komponentenaustauschs nachgedacht wurde. (ENTRIA 2019)

Die Forschungsplattform ENTRIA untersuchte als eine Entsorgungsoption eine obertägige oder oberflächennahe Zwischenlagerung auch für sehr lange Zeiträume. Laut ENTRIA könnte dem umgebenden Bauwerk der größte Teil der Schutzfunktion zugewiesen werden. Seine Komponenten müssen entsprechend ausgebildet werden, in einem obertägigen Bauwerk z. B. durch dicke Wände und sehr robuste Konstruktionen, um auch extremen Einwirkungen während der gesamten Nutzungsdauer widerstehen zu können. (ENTRIA 2017)

Im Nutzungszeitraum sinkt der Bauwerkswiderstand durch Alterung und durch einwirkungsbedingte Schädigungen. Deren Vorhersage, insbesondere über lange Zeit, ist mit Unsicherheit verbunden. Deshalb muss der Bauwerkszustand während des Betriebs überwacht werden. Dazu stehen laut ENTRIA (2017) bereits heute viele Möglichkeiten zur Verfügung, die beispielsweise bei Brücken und Offshore-Bauwerken zum Einsatz kommen.

Im Rahmen des ENTRIA-Projekts sollen für Systemkomponenten und -gruppen Monitoring-, Prognose- und Interventionswerkzeuge (Reparatur, Austausch, Ertüchtigung etc.) entwickelt werden. (ENTRIA 2017) Die Ergebnisse von ENTRIA bezüglich der Anforderungen an die Gebäude für eine langfristige oberflächennahe Zwischenlagerung sollten in den Sicherheitsanforderungen für die erforderlichen langen Genehmigungszeiträume der Zwischenlager berücksichtigt werden.

In den meisten Ländern wurde ein Zwischenlagerungszeitraum von weniger als 50 Jahren angesetzt. Für die langfristige Zwischenlagerung ist es wichtig, interdisziplinäre Überlegungen zur benötigten technischen Redundanz der Anlagen, z. B. bei schadhaften Behältern oder Hüllrohren anzustellen. Technische Konzepte könnten in diesem Fall beispielsweise eine vorherige Kapselung der Brennelemente, eine Heiße Zelle oder ggf. eine vollständig ausgerüstete Konditionierungsanlage sein. (ENTRIA 2019)

Tabelle 4 zeigt in stark komprimierter Form die in ENTRIA entwickelten, erweiterten Anforderungen und mögliche technische Realisierungsvarianten, um eine sichere Zwischenlagerung in Zwischenlagergebäuden über planmäßig lange Zeiträume zu gewährleisten. Die erweiterten Anforderungen dienen dabei als Ansatzpunkte zur Konzipierung neuer Anlagen, können aber in Teilen auch auf bestehende Lagerkonzepte übertragen werden. (ENTRIA 2019)

Tabelle 4: Anforderungskatalog und technische Realisierungsvarianten (Auszug). (ENTRIA 2019)

Schutzziel / Anforderung	Erweiterte Anforderungen für Langfristzwischenlager	Technische Realisierungsvarianten
--------------------------	---	-----------------------------------

²⁸ Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs / deutsch: Nationale Agentur für das Management radioaktiver Abfälle

Gewährleistung der Wärmeabfuhr	Auf das Lagerkonzept und die zeitliche Veränderung der Wärmestromdichte des Inventars abgestimmtes Klimatisierungskonzept	<ul style="list-style-type: none"> • Segmentäres Lagerkonzept mit unterschiedlichen aktiv oder passiv klimatisierten Zonen • Aktives Monitoring der Temperatur, relativen Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit an maßgebenden Punkten zur Überwachung • Aufzeichnung der Messdaten, rechnerischer Abgleich der prognostizierten Zustände • „Auskühlung“ des Lagerbauwerks verhindern (Tauwasserausfall und ggf. Frost vermeiden)
An die vorgesehene Nutzungsdauer angepasste Dauerhaftigkeit der Baustrukturen	Auslegung der Dauerhaftigkeit des Betons auf 100-jährige Nutzungsdauer	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz höherfester Betone • Kalkreiche Gesteinskörnung verwenden • Hochwertige Zemente verwenden • Wasserzementwert (w/z-Wert) < 0,45 • Temperatur des Betons < 65°C • Rissbildung vermeiden/begrenzen
	Auslegung der Dauerhaftigkeit des Betonstahls auf 100-jährige Nutzungsdauer	<ul style="list-style-type: none"> • Rissbildung vermeiden/begrenzen • Betondeckung gegenüber konventionellen Bauwerken erhöhen • Oberflächenschutzsysteme aufbringen • Einsatz korrosionsgeschützten Betonstahls prüfen • Relative Luftfeuchte mittels Klimatisierung regeln, Tauwasserausfall vermeiden
Betriebs- und instandhaltungsgerechte Auslegung und Ausführung der Einrichtungen	Auslegung des Lagerkonzepts unter Berücksichtigung möglicher Überwachungs- und Instandhaltungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Mobile Abschirmungsmöglichkeiten vorhalten • Pufferzone zur kurzzeitigen Umlagerung des Inventars in Betracht ziehen (vorübergehende „Leerung“ des betroffenen Bereichs) • Stärkere Abschirmungswirkung des Zwischenlagerbauwerks prüfen • Umsetzung des KISS-Prinzips („Keep It Stupidly Simple“) bezüglich technischer Einrichtungen
Sichere Handhabung und sicherer Transport der radioaktiven Stoffe	An Entsorgungsstrategie ausgerichtete Einrichtungen schaffen, z. B. für Reparaturen	<ul style="list-style-type: none"> • Heiße Zelle am Standort vorsehen • Heiße Zelle ggf. als Konditionierungsanlage ausbilden
Professionelles Alterungsmanagement		<ul style="list-style-type: none"> • Rückstellproben der bei der Errichtung verwendeten Baustoffe erstellen, regelmäßige Prüfungen • Modularen Aufbau des Lagerbereichs prüfen, ggf. Umlagerungsmöglichkeiten für Inventar schaffen

4.2 „Faktencheck“ zur Wandstärke von Zwischenlager-Mauern des BASE

Das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) hat im Oktober 2021 auf seiner Webseite einen sogenannten Faktencheck zur Wandstärke von Zwischenlager-Mauern veröffentlicht. (BASE 2021) Mit der Veröffentlichung des Faktenchecks erweckt das BASE den Eindruck, insbesondere die Frage, ob der Satz „Je dicker die Mauern eines Zwischenlagers, desto besser“ zutreffend sei, abschließend beantwortet zu haben. Eine Überprüfung des BASE-Faktenchecks zeigt jedoch, dass die Argumentation nicht tragfähig ist. Dies ist umso bedenklicher, da das BASE die Genehmigungsbehörde

ist. Das BASE stellt im ersten Kapitel zu seinem „Faktencheck“ als Genehmigungsvoraussetzung fest, dass die nach Stand von Wissenschaft und Technik notwendige Vorsorge gegen Schäden gewährleistet sein muss. Das BASE erklärt: „Eine vergleichende Prüfung im Sinne eines ‚besser‘ oder ‚sicherer‘ ist durch die Regelungen des Atomgesetzes weder vorgesehen noch zulässig.“

Laut Bewertung der BASK ist diese Aussage im Grundsatz zutreffend, durch den Bezug auf einen Vergleich aber irreführend. Eine Genehmigung darf nur erteilt werden, wenn der Stand von Wissenschaft und Technik mit Bezug auf die bestmögliche Vorsorge berücksichtigt wurde. Der bestmögliche Schutz wurde für die Genehmigung einer Atomanlage vom Bundesverfassungsgericht 1978 im Urteil zu Kalkar gefordert und in weiteren Urteilen bestätigt. Das bedeutet, es ist zwar kein Vergleich erforderlich, es muss aber geprüft werden, welche Technologie diejenige ist, die nach Stand von Wissenschaft und Technik den bestmöglichen Schutz ermöglicht. Die vom BASE intendierte Beschränkung auf die formalrechtliche Interpretation „Hauptsache ausreichend“, ist nicht zulässig, weil sie den Anforderungen des Bundesverfassungsgerichts nicht entspricht.

Des Weiteren führt das BASE aus, dass das Gesamtkonzept des Zwischenlagers entscheidend sei. Deshalb sei es nicht möglich, einen Teilaspekt, wie z.B. die Wandstärke des Lagergebäudes, herauszugreifen und hierfür ein ‚sicherer‘ oder ‚besser‘ zu definieren.

Laut BASK ist es zwar zutreffend, dass für die Sicherheit des Zwischenlagers das Gesamtkonzept von großer Bedeutung ist. In diesem Gesamtkonzept ist jedoch auch die Funktion jeder einzelnen Sicherheitsbarriere für sich relevant und muss den nach Stand von Wissenschaft und Technik bestmöglichen Schutz bieten. Das gilt in Bezug auf die Wandstärke sowohl für die Abschirmung der aus den Behältern kommenden ionisierenden Strahlung gegenüber der Umgebung als auch für die Widerstandsfähigkeit gegenüber Einwirkungen von außen. (BASK 2022)

4.3 Fehlende Einrichtungen (Heiße Zellen)

Die Brennelemente und verglasten Abfälle aus der Wiederaufarbeitung werden in Transport- und Lagerbehältern mit einem Doppeldeckelsystem zwischengelagert. Der innere Deckel (Primärdeckel) und der äußere Deckel (Sekundärdeckel) besitzen je eine Metaldichtung. Wird eine Undichtigkeit am Primärdeckel festgestellt, kann diese nicht im Zwischenlager behoben werden, da der Behälter nach Abnahme des Primärdeckels gegenüber der Gebäudeatmosphäre und damit zur Biosphäre insgesamt offen wäre. In einer Bewertung der eingegangenen Stellungnahmen zum Nationalen Entsorgungsprogramm erklärt die Bundesregierung dennoch, dass derzeit keine Erkenntnisse vorliegen, die die Errichtung „Heiße Zellen“ an den Standorten der Zwischenlager erforderlich machen. (BMUB 2016a)

Für eine Instandsetzung des Systems gibt es laut Angaben der Bundesregierung zwei Möglichkeiten:

- Reparaturkonzept mit Aufbringen eines dritten Deckels, dem sogenannten Fügedeckel, über dem Sekundärdeckel zur Wiederherstellung des Doppeldichtsystems oder
- Verbringung des Behälters in eine „Heiße Zelle“ zum Austausch der Primärdeckeldichtung nach Öffnung des Behälters.

In den ESK-Leitlinien zur Zwischenlagerung sind für den Fall einer Primärdeckelundichtigkeit sowohl das Verbringen in eine andere Anlage als auch die Reparatur mit Fügedeckel zugelassen. (ESK 2013) Dabei wurde jedoch, wie bereits erwähnt, nur eine Zwischenlagerdauer von 40 Jahren unterstellt. Es muss jedoch für die meisten Behälter von einer deutlich längeren Lagerzeit ausgegangen werden. Aus sicherheitstechnischer Sicht ist die Auswechslung der Primärdeckeldichtung gegenüber dem Reparaturkonzept mit Fügedeckel zu bevorzugen.

Das Reparaturkonzept mit Fügedeckel wurde bereits bei der Genehmigung der Standort-Zwischenlager kontrovers diskutiert. Ein wesentlicher Kritikpunkt am Konzept ist, dass der Fügedeckel im Störfall nicht die Qualität einer notwendigen zweiten Barriere besitzt, denn die Störfallsicherheit des Fügede-

ckels ist nicht gegeben. Dadurch kann es bei bestimmten Störfällen (z. B. Flugzeugabsturz) zu weit höheren Freisetzungen kommen, als sie in den Genehmigungsverfahren unterstellt worden sind. (NEUMANN 2014)

4.4 Autarkie der Zwischenlager

Die meisten bestehenden Zwischenlager in Deutschland wurden Anfang der 2000er Jahre an den AKW-Standorten errichtet. Ihr Betrieb ist daher an Infrastruktureinrichtungen des AKWs gebunden.

Mit der Stilllegung der AKWs müssen die Standortzwischenlager in einen autarken Betrieb umgerüstet werden. Am Standort Emsland z. B. sollen rund 55 Millionen Euro investiert werden, um den autarken Zwischenlagerbetrieb gewährleisten zu können. Im ersten Bauabschnitt wird eine eigenständige Stromversorgung realisiert. In weiteren Abschnitten folgen der Bau eines Funktionsgebäudes für das Betriebspersonal, einer Mehrzweckhalle mit Werkstätten, eines Wachgebäudes sowie einer separaten Zufahrt. Eine eigene Wasserversorgung und verschiedene innerbetriebliche Verkehrswege vervollständigen die Baumaßnahmen. Es wird eine Photovoltaikanlage zur Stromerzeugung errichtet. Mit Erreichen der Autarkie werden am Standort rund 50 Mitarbeiter*innen (BGZ-Eigenpersonal und Objektschutz) beschäftigt sein.

Die in der Arbeitsgemeinschaft von Standortgemeinden mit kerntechnischen Anlagen (ASKETA) organisierten Bürgermeister*innen informierten sich im September 2020 im Rahmen ihrer regelmäßigen Tagung über aktuelle Projekte und Entwicklungen an den BGZ-Zwischenlagern ihrer jeweiligen Standortgemeinden. Der Bereichsleiter Betrieb der BGZ stellte den Bürgermeister*innen den aktuellen Planungsstand für die Überführung der Zwischenlager in einen autarken Betrieb vor. Hierbei gibt es zahlreiche Schnittstellen zu den Standortgemeinden, etwa bei der Wegeführung für künftige Zufahrten oder bei den organisatorischen Regelungen für den Brandschutz. (BGZ 2020e)

2020 startete die BGZ den offiziellen Beginn für umfangreiche Baumaßnahmen am Standort Grafenrheinfeld. Um einen autarken Zwischenlagerbetrieb gewährleisten zu können, werden rund 30 Millionen Euro investiert. Ziel ist es, einen vom AKW entkoppelten genehmigungskonformen Betrieb sicherstellen zu können. Im ersten Bauabschnitt wird mit der Sicherungsanlage die äußere Umschließung des Lagerareals erstellt. In weiteren Abschnitten folgen der Bau eines Funktionsgebäudes für das Betriebspersonal sowie der Bau eines Wachgebäudes. Eine autarke Medienversorgung (Frischwasser, Abwasser) und diverse innerbetriebliche Verkehrswege komplettieren die Baumaßnahmen. (BGZ 2020d) Im Zwischenlager Grafenrheinfeld hat die BGZ die Einlagerung hoch-radioaktiver Abfälle abgeschlossen. Damit werden in nun insgesamt 54 Behältern deutlich weniger hoch-radioaktive Abfälle in Grafenrheinfeld aufbewahrt als ursprünglich vorgesehen. Neben den Zwischenlagern Gorleben, Unterweser und Krümmel ist Grafenrheinfeld der vierte Standort der BGZ, an dem die Einlagerung von hoch-radioaktiven Abfällen beendet ist.

Künftig wird die Feuerwehr Grafenrheinfeld auch Brandschutzaufgaben für die BGZ übernehmen. Hintergrund für die Neuregelung des Brandschutzes ist der absehbare Entfall der Werkfeuerwehr des AKWs Grafenrheinfeld, nachdem das AKW Ende 2020 brennstofffrei wurde. Unter Berücksichtigung der Gegebenheiten im Zwischenlager – speziell in Bezug auf geringe Brandlasten und die dort lagern den radioaktiven Abfälle – hatte die BGZ bereits im Herbst 2019 das atomrechtliche Änderungsverfahren und eine fachliche Prüfung angestoßen. Alle betroffenen Fachstellen und Ämter sowie das Bayerische Umweltministerium (StMUV) als Aufsichtsbehörde kamen dabei zum gleichen Ergebnis: Es gibt keine fachlichen Gründe für eine Werkfeuerwehr an einem Zwischenlager.

Zu dieser Bewertung kommt auch der Kreisbrandrat des Landkreises Schweinfurt. Seiner Meinung nach zeigen denkbare Einsatzszenarien deutlich, dass der abwehrende Brandschutz auf dem Betriebsgelände des Zwischenlagers durch öffentliche Feuerwehren geleistet werden kann. Spezialeinheiten, etwa zur Bergung radioaktiven Materials bei Unfällen, muss die örtliche Feuerwehr nicht stellen, das

bleibt weiterhin Aufgabe des Betreibers. Bei etwaigen Einsätzen wird die Feuerwehr immer durch fachkundiges Personal der BGZ begleitet. Die BGZ wird der Feuerwehr eine Ausrüstung (etwa Messgeräte und Strahlendosimeter) zur Verfügung stellen und auch die Kosten für eine spezifische Ausbildung übernehmen. (BGZ 2021d)

4.5 Exkurs: Mögliche Systeme für trockene Zwischenlagerung

Es existieren eine Vielzahl verschiedener, trockener Zwischenlagersysteme, die nach der gebräuchlichsten Einteilung in die Klassen Behälter, Modul und Vault (s.u.) unterschieden werden.

Behältersysteme lassen sich hinsichtlich ihres Einsatzzwecks oder der eingesetzten Materialien einteilen. Metallische Behälter werden häufig als Transport- und Lagerbehälter ausgelegt, die den hoch-radioaktiven Inhalt mit einer dicken metallischen Wandung umschließen. Das Behälterinnere ist mit Inertgas gefüllt und in der Regel durch Doppeldeckelsysteme mit metallischen Dichtungen verschlossen. Der Behälterkörper trägt hauptsächlich zur Abschirmung bei und besteht in der Regel aus geschmiedetem Stahl, Gusseisen oder Werkstoffverbänden. Beispiele für solche Behältersysteme sind die in Deutschland verwendeten Behälter vom Typ CASTOR® oder TN®. In deren Behälterkörpern sind zusätzlich wasserstoffreiche Materialien zur Neutronenabschirmung eingelassen, z. B. Stäbe aus Polyethylen. Für die Zwischenlagerung werden die Behälter im Freien auf einer Sohlplatte aufgestellt oder, wie es in Europa der Regelfall ist, von einer baulichen Struktur umgeben.

Weitere Behälterarten ähneln in ihrer dickwandigen Bauart den metallischen Behältern. Die Wandung besteht jedoch aus innen- und außenliegenden Stahl liners, in deren Zwischenraum bewehrter (Schwer-)Beton zur Strahlenabschirmung eingebracht wird. Die Behälter werden genauso wie metallische Behälter stehend gelagert und können als Transport- und Lagerbehälter ausgebildet werden. Beispiele für solche Behälterbauarten sind Behälter vom Typ CONSTOR®.

Zwischenlagermodule bestehen aus einer bewehrten monolithischen Betonkonstruktion, die als eine Art Einhausung einen metallischen Innenbehälter umgibt. Die Betonkonstruktionen sind nicht für den Transport entwickelt und daher ortsfeste Einrichtungen. Sie können als modulare Einhausungen (NUHOMS®) oder in Siloform (z. B. HI-STORM®, MAGNASTOR®) ausgebildet sein. Der beladene Innenbehälter wird, je nachdem, ob die Zwischenlagerung horizontal oder vertikal erfolgt, am Lagerungsplatz in den Betonbehälter eingeschoben bzw. eingehoben. (ENTRIA 2019)

Ebenfalls ortsfeste Systeme sind sogenannte **Vaults**, die aus großen und massigen Stahlbetonstrukturen bestehen und über ein oder mehrere Felder reihenartig angeordneter metallischer Röhren verfügen. In diesen Röhren werden vorwiegend von Kokillen umschlossene verglaste Abfälle aus der Wiederaufarbeitung zwischengelagert.

Zusätzlich zu den drei beschriebenen generellen Systemen gibt es noch weitere Zwischenlagersysteme, die konzeptionell auf den zuvor beschriebenen Systemen basieren, aber in der **Nähe der Erdoberfläche errichtet** werden, wie z. B. das System HI-STORM® UMAX für die Zwischenlagerung im oberflächennahen Bereich. Am Zwischenlagerstandort werden stählerne zylindrisch geformte Lagerkammern, sogenannte Vertical Ventilated Modules (VVM), in den Boden eingelassen, so dass deren Oberkante mit der Erdoberfläche abschließt. (ENTRIA 2019)

4.6 Bewertung

Laut ESK-Leitlinie soll das Schutzziel „Sicherer Einschluss der radioaktiven Stoffe“ durch die Behälter und ggf. weitere Barrieren gewährleistet werden. Insofern sollte dem Lagergebäude ein wichtiger Schutz als weitere Barriere zukommen.

Wie sich das Bauwerk über sehr lange Zeiträume und unter den spezifischen Randbedingungen der Zwischenlagerung hoch-radioaktiver Abfälle verhält, wurde bisher nur in wenigen Ländern (z. B. in französischen Forschungsprogrammen) untersucht, da der Behälter als Hauptkomponente zur Gewährleistung der wesentlichen Schutzfunktionen angesehen wird.

Für die Sicherheit des Zwischenlagers ist das Gesamtkonzept von großer Bedeutung. In diesem Gesamtkonzept ist jedoch auch die Funktion jeder einzelnen Sicherheitsbarriere für sich relevant und muss den nach Stand von Wissenschaft und Technik bestmöglichen Schutz bieten. Das gilt in Bezug auf die Wandstärke sowohl für die Abschirmung der aus den Behältern kommenden ionisierenden Strahlung gegenüber der Umgebung als auch für die Widerstandsfähigkeit gegenüber Einwirkungen von außen. Es ist irritierend, dass dieser fachlich (eindeutige) Zusammenhang von dem BASE als Genehmigungsbehörde in ihrem sogenannten Faktencheck anders gesehen wird. (BASK 2022)

Mit einer Gebäudestärke von 1,80 Meter soll das neue Zwischenlager in Lubmin (ESTRAL) dickere Wände und Decken als bisherige Zwischenlagergebäude haben. Ob das ausreichend ist, kann nur durch entsprechende Analysen und Sicherheitsanforderungen gezeigt werden.

Laut BGZ sind für das Zwischenlagergebäude keine spezifischen Forschungsaktivitäten erforderlich, da keine vom konventionellen Hochbau abweichenden Alterungsmechanismen zu berücksichtigen sind. Der Bauzustand wird im Rahmen des standort-übergreifenden Alterungsmanagements regelmäßig überprüft. Dabei ging die BGZ jedoch von einem unrealistisch kurzem Lagerzeitraum aus.

Im Projekt ENTRIA wurden erweiterte Anforderungen und mögliche technische Realisierungsvarianten entwickelt, um eine sichere Zwischenlagerung in Zwischenlagergebäuden über planmäßig lange Zeiträume zu gewährleisten. Laut ENTRIA (2019) dienen die erweiterten Anforderungen als Ansatzpunkte zur Konzipierung neuer Anlagen, können aber in Teilen auch auf bestehende Lagerkonzepte übertragen werden.

Der technische Entwurf eines Zwischenlagers wird im Wesentlichen durch die angestrebte Nutzungsdauer bestimmt. Aufgrund der notwendigen langen Lagerzeiten sollten an allen langfristigen Zwischenlagerstandorten²⁹, während der gesamten zu erwartenden Betriebszeit „Heiße Zellen“ vorhanden sein, in denen ggf. der Austausch von Primärdeckeldichtungen sowie die Überprüfungen von Inventar und Einbauten im Behälterinnenraum möglich sind.

Die Gemeinden haben im Zusammenhang mit der endgültigen Abschaltung der AKWs und die Umstellung in den autarken Betrieb mehr Verantwortung an den Standortzwischenlagern, insofern sollten sie auch mehr Mitsprache erhalten.

Anzumerken ist, dass in anderen Ländern Zwischenlagersysteme in der Nähe der Erdoberfläche errichtet werden.

5 Behälter für die verlängerte Zwischenlagerung

Für die trockene Zwischenlagerung hoch-radioaktiver Abfälle kommen in Deutschland ausschließlich Transport- und Lagerbehälter (TLB) zum Einsatz. Die Behälter müssen in ihrer Transportkonfiguration die Voraussetzungen für die verkehrsrechtliche Zulassung als Typ B(U)F-Versandstück erfüllen. Gleichmaßen müssen sie als Bestandteil des Zwischenlagerkonzepts die Voraussetzung für die Erteilung einer Aufbewahrungsgenehmigung gemäß § 6 AtG erfüllen. Dabei ist die Einhaltung der Schutzziele während der Lagerung und des Transports unmittelbar durch die TLB zu gewährleisten – und das sowohl unter normalen Betriebsbedingungen als auch unter Störfallbedingungen.

Die Behälter erfüllen ihre Sicherheitsfunktionen als vollständig passives System. Laut BGZ sind alle Behälterkomponenten grundsätzlich für den Langzeiteinsatz geeignet, sodass ein systematischer Austausch nicht vorgesehen ist. Die Bauweise der Behälter erlaubt darüber hinaus den Austausch einer Vielzahl von Komponenten, die nicht unmittelbar dem dichten Einschluss dienen.

²⁹ Welche Standorte dies sind, sollte in einem partizipativen Verfahren festgelegt werden.

Die Behälter zeichnen sich durch einen metallischen Behälterkörper aus, dessen Wanddicke primär aus den Abschirmanforderungen resultiert. Die Behälter sind in ihrer Lagerkonfiguration mit einem überwachten Doppeldeckel-Dichtsystem ausgestattet. Beide Deckelsysteme (Primär- und Sekundärdeckelsystem) sind unabhängig voneinander mit dem Behälterkörper verschraubt. Die Positionierung des Inventars im Behälterschacht erfolgt über einen sogenannten Tragkorb.

Die BGZ erklärt: Aus der Entsorgungs- und Beladestrategie ergibt sich für das Jahr 2050, für das die Inbetriebnahme des Endlagers geplant ist, folgendes Bild: Weniger als 50 Prozent der eingelagerten Behälter werden zu diesem Zeitpunkt den bisher betrachteten und genehmigten Lagerzeitraum von 40 Jahren überschritten haben. Die ältesten Behälter werden eine Betriebszeit von 58 Jahren aufweisen. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass ein Großteil der älteren Behälterbauarten mit Brennelementen aus Forschungs- und Prototypreaktoren und damit ohne nennenswerte thermische Leistung beladen worden ist und somit die thermisch getriebenen Alterungseffekte hier weniger zur Geltung kommen.

Die ersten Behälterbeladungen zur trockenen Zwischenlagerung fanden zwischen 1992 und 1994 mit Brennelementen aus dem Thorium-Hochtemperaturreaktor (THTR) statt. Mit dem CASTOR® Ila erfolgte 1994 die erste Behälterbeladung mit Brennelementen (BE) aus einem kommerziellen Leistungsreaktor. Bis 1999 wurden nur elf Behälter mit BE aus Atomkraftwerken beladen.

Bei Behältern mit Brennelementen aus AKWs lag die thermische Leistung zum Beladezeitpunkt im Mittel bei circa 20 kW. Vor 2006 wurde eine thermische Leistung von 25 kW nur selten überschritten. Die Leistung des Inventars nahm kontinuierlich zu.

Die HAW³⁰-Behälter sind hinsichtlich ihrer genehmigten Wärmeleistung im Mittel zu circa 80 Prozent ausgelastet, wobei nur 10 Prozent der Beladungen Wärmeleistungen zwischen 45 und 50 kW erreichen. (BGZ 2022)

Behältertypen

Der von der GNS entwickelte Behältertyp CASTOR® macht mehr als 90 Prozent der bei der BGZ eingelagerten Transport- und Lagerbehälter aus, der verbleibende Anteil entfällt auf Behälter vom Typ TN® der Firma Orano NPS. Die folgenden Behältertypen kommen in den Zwischenlagern zum Einsatz (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Behältertypen in den jeweiligen Zwischenlagern

	CASTOR V/19	CASTOR V/52	Castor HAW28M	TN 24 E	Sonstige
Biblis	X		X		
Brokdorf	X		(X) ³¹		
Brunsbüttel		X			
Grafenrheinfeld	X				
Grohnde	X				
Gundremmingen		X			
Isar	X	X	(X)	X	
Krümmel		X			
Lingen	X				
Neckarwestheim	X			X	CASTOR 440/84 mvK

³⁰ Hoch-radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung

³¹ Einlagerung genehmigt, Einlagerung steht noch aus.

Philippsburg	X	X	(X)		
Unterweser	X				
Gorleben	X		X		CASTOR Ic, CASTOR IIa, CASTOR HAW 20/28 CG, TN 85, TS 28 V
Ahaus	X	X			CASTOR MTR2, CASTOR THTR-BE, (CASTOR MTR3), (CASTOR AVR-BE)
Lubmin					CASTOR®440/84, CASTOR® KNK CASTOR® 440/84 mvK, CASTOR® KRB MOX, und CASTOR® HAW 20/28 CG
Jülich					CASTOR THTR/AVR

Bis Juni 2019 sind in Deutschland 1.274 Castor-Behälter eingelagert worden. Weltweit sind 1.475 Castoren eingelagert, nur 201 davon sind nicht in Deutschland gelagert. Aus Sicht der GNS ist die Verlängerung der Zwischenlagerung und der Abtransport von Behältern des Typs CASTOR auf Basis der bisherigen Erfahrungen sicher möglich, denn die Einhaltung der Schutzziele wird auch bei verlängerter Zwischenlagerung durch die bisherige Auslegung sichergestellt. (GNS 2019b)

Die Behälter, die im ESTRAL aufbewahrt werden sollen, besitzen teilweise sehr spezielle Inhalte:

- Der Tragkorb in den 61 Behältern der Bauart **CASTOR® 440/84** ist für eine Standardbeladung mit 84 Brennelementen (BE) der Reaktoren WWER-440 und WWER-70 ausgelegt³². Zwei Behälter enthalten auch aktivierte Core-Bauteile und nur 52 bzw. 19 BE. Ein Behälter enthält neben 76 BE auch verschweißte Stahlrohre mit Pu-Be-Quellen (Plutonium-Beryllium-Quellen) und uranhaltige Ionisationskammern an acht Positionen des Tragkorbs. Der erste Behälter wurde 1996, der letzte 2006 verschlossen.
- Der Behälter der Bauart **CASTOR® 440/84 mvK**³³ ist mit BE, Core-Bauteilen und Pu-Be-Quellen beladen. Darin sind 26 defekte BE des Reaktors WWER 70 aus Rheinsberg. Auf 16 Beladeplätzen wurden außerdem aktivierte Core-Bauteile und Pu-Be-Quellen eingestellt. Der Behälter wurde 2000 verschlossen.
- Die vier Behälter der Bauart **CASTOR® KNK** sind überwiegend mit Brennstäben aus der Kompakten Natriumgekühlten Kernreaktoranlage in Karlsruhe (KNK) und mit einigen Brennstäben vom ehemaligen nuklearen Forschungsschiff „Otto Hahn“ beladen. Alle Behälter wurden 2010 verschlossen.

5.1 Ableitung des Forschungsbedarfs durch die BGZ

Die BGZ ist als Genehmigungsinhaberin der Zwischenlager verpflichtet, die entsprechenden Anträge für Neugenehmigungen zu stellen. Dafür muss eine entsprechende Nachweisführung erbracht werden. Diese Nachweisführung erfordert Forschung. Für die verlängerte Zwischenlagerung ist die BGZ im Rahmen ihres schutzzielorientierten Ansatzes zu der Einschätzung gekommen, dass insbesondere temperaturgetriebene Alterungsmechanismen aufgrund der abnehmenden Nachzerfallswärmeleistung im weiteren Verlauf der Zwischenlagerung an Einfluss verlieren und keine grundsätzlichen Veränderungen gegenüber der bisherigen Bewertung für 40 Jahre zu erwarten sind. Ähnlich ist es bei der Auswir-

³² Hinweis: 440 steht für die elektrische Leistung von 440 MWe der Reaktoren des Kernkraftwerks Greifswald (KGR) und 70 für die elektrische Leistung von 70 MWe des Kernkraftwerks Rheinsberg (KKR)

³³ mit verändertem Korb

kung der ionisierenden Strahlung. Für Eigenschaftsveränderungen der verwendeten Strukturmaterialien sind die über die Lagerdauer deponierten Gamma-Energien und Neutronen-Fluenzen um Größenordnungen zu gering, um zu relevanten Eigenschaftsänderungen zu führen. Eine Verlängerung der Aufbewahrungsdauer lässt hier keine Veränderung in der Sicherheitsbewertung erwarten.

Der Verbrauch von Neutronenabsorbieren durch Neutroneneinfang ist auch über lange Lagerzeiträume gegenüber der vorhandenen Menge zu vernachlässigen und hat somit keinen Einfluss auf die sichere Aufrechterhaltung der Unterkritikalität. Korrosionsprozesse innerhalb der dichten Umschließung (Behälterschacht, Sperrraum) kommen aufgrund der begrenzten Restwassermenge im Laufe der Lagerung frühzeitig gänzlich zum Erliegen. Die äußeren Behälterbereiche werden im Rahmen des Alterungsmanagements überprüft. Sollten Befunde auftreten, sind diese durch Wartungsmaßnahmen jederzeit beherrschbar. Dementsprechend wird für diese Alterungsmechanismen kein Forschungsbedarf abgeleitet. (BGZ 2022)

Alterungsmechanismen mit potenziellen Effekten auf die Einhaltung eines Schutzziels beziehen sich laut BGZ auf das Moderatormaterial, das durch Kriechprozesse und die damit verbundene Änderung der Anordnung sowie durch thermisch und Strahlung induzierte Zersetzungs Vorgänge eine Verschlechterung der Abschirmeigenschaften erfahren kann. Das Alterungsverhalten ist jedoch bereits im Rahmen der aktuellen Genehmigungen abdeckend beschrieben worden und kann laut BGZ entsprechend auf die verlängerte Zwischenlagerzeit extrapoliert werden. Zudem wirkt die mit dem weiteren Zerfall des radioaktiven Inventars einhergehende Aktivitätsabnahme einer eventuellen Verschlechterung der Abschirmeigenschaften entgegen. Daher wird zum Moderatorverhalten kein spezifischer Forschungsbedarf abgeleitet. Allerdings wird mit dem Dosisleistungs- und Temperaturmessprogramm explizit auf die integrale Bewertung der Abschirmeigenschaften abgezielt. (BGZ 2022)

Die BGZ erklärt, dass Metalldichtungen und Deckelschrauben zentrale Behälterkomponenten zur Gewährleistung des Schutzziels des sicheren Einschusses der radioaktiven Stoffe sind. Beide Komponenten unterliegen Relaxationsprozessen, die zur Verringerung des Rückstellvermögens der Metalldichtung beziehungsweise potenziell zur Abnahme der Schraubenvorspannung führen. Zusätzliche Untersuchungen zum Langzeitdichtungsverhalten werden als wichtig eingeschätzt und sind damit ein Baustein für das Forschungsprogramm. Bei der Schraubenrelaxation werden aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus und der damit einhergehenden geringen Kriechneigung nur minimale Veränderungen erwartet, die durch die Auslegung der Schraubverbindung abgedeckt sind. Zum anderen ist ein Wiederanziehen der Schraubverbindungen prinzipiell möglich. Daher wird auch für die Deckelschrauben kein Forschungsbedarf gesehen. (BGZ 2022)

Zusätzlicher Handlungsbedarf leitet sich aus dem Alterungsmanagement und der Betriebserfahrung der BGZ bezüglich der Druckschalter ab. Trotz der bisher äußerst geringen Ausfallrate wird aufgrund einer gewissen Häufung von Defekten an den Kontaktdurchführungen des Druckschalters eine Optimierung dieser Komponente vorangetrieben. Es läuft derzeit ein Erprobungsprogramm mit dem Ziel, zukünftige Druckschalter in einer weiter verbesserten Ausführung zu genehmigen und zu verwenden. (BGZ 2022)

5.1.1 Langzeitverhalten der Metalldichtungen (MSTOR)

Der sichere Einschluss der radioaktiven Stoffe während der Lagerung soll durch das Doppeldeckel-Dichtsystem mit verpressten Metalldichtungen gewährleistet werden. In der Dichtbarriere kommen ausschließlich Metalldichtungen vom Typ Helicoflex® des französischen Herstellers Technetics zum Einsatz. Diese Dichtungen bestehen aus einem Spiralfederkern und einem Edelmantel, der von einem äußeren Liner aus Aluminium oder Silber überzogen ist. (BGZ 2022)

Im Auftrag des BfE (heute BASE) wurde von der BAM (Bundesanstalt für Materialforschung) das Langzeitverhalten von **Metalldichtungen** untersucht. Bereits 2019 erklärt die BAM für Deutschland sei die Bewertung der Langzeiteignung des Dichtsystems der Behälter für Zwischenlagerzeiträume von bis zu

100 Jahren erforderlich. Die Experimente wurden 2001 begonnen. In Hinsicht auf die Alterung von Aluminium- und Silberdichtungen wurden regelmäßige Messungen von verbleibender Rückstellkraft, nutzbarer Rückstellung und Leckagerate gemacht. Dabei wurde eine zeit- und temperaturabhängige Verringerung von Rückstellkraft beobachtet. Es wurden nur kleine Torusdurchmesser getestet sowie Untersuchungen für Dichtungen mit äußerer Ummantelung aus Aluminium durchgeführt. Daher sind die Untersuchungen auf Silber zu erweitern, da das Materialverhalten andere Temperaturabhängigkeiten aufweist. Weiters ist die Untersuchung von Dichtungen großer Torusdurchmesser erforderlich. (BAM 2019a)

Die Funktionsweise der Dichtungen beruht einerseits auf der Elastizität der Spiralfeder, die im verpressten Zustand eine Rückstellkraft generiert, die erforderlich ist, um den Kontakt zwischen dem Außenliner und den Dichtflächen aufrechtzuerhalten. Zum anderen sorgt die Plastizität des Außenliners dafür, dass sich die Oberfläche der Dichtung optimal an die Struktur der Dichtfläche anpasst. Unter dem Anpressdruck fließt das Linermaterial in die Unebenheiten der Kontaktfläche, was die eigentliche Voraussetzung für die Erzielung der hohen Dichtheit mit Standard-He-Leckageraten unter $10^{-8} \text{ P m}^3/\text{s}$ ist. Laut BGZ ist die einzuhaltende Standard-He-Leckagerate von $10^{-8} \text{ P m}^3/\text{s}$ als systemspezifisches Qualitätskriterium zu verstehen und nicht als eine radiologisch begründete Dichtheitsanforderung, da diese auch mit höheren Leckageraten eingehalten würde. (BGZ 2022)

Im Einbauzustand kommt es infolge der mechanischen Beanspruchung und der herrschenden Temperaturen zu Kriechvorgängen in der Metalldichtung, die sich in Form von Relaxation bemerkbar machen. Zwar sinkt bei Entlastung die minimal erforderliche Kraft zur Aufrechterhaltung der spezifizierten Dichtheit, aber auch die Verformung nimmt entsprechend ab, sodass die verbleibende nutzbare Rückfederung einer gealterten Dichtung gegenüber dem Montagezustand nennenswert abnimmt. Um das Langzeitverhalten der eingesetzten Metalldichtungen zuverlässig bewerten zu können, müssen die Kennwerte einer gealterten Dichtung bekannt sein. Insbesondere die verbleibende nutzbare Rückfederung ist ein Maß zur Beurteilung, inwieweit die Dichtung in der Lage ist, auch bei äußeren mechanischen Einwirkungen die erforderliche Dichtheit aufrechtzuerhalten. (BGZ 2022)

Laut BGZ belegen die bisher durchgeführten Langzeit-Untersuchungen und die Betriebserfahrungen von mehr als 25 Jahren, dass die hohen Dichtheitsanforderungen auch langfristig von den verwendeten Metalldichtungen eingehalten werden. Es ist zu erwarten, dass dies auch für eine über 40 Jahre hinausgehende Zwischenlagerung gilt. Es sind jedoch weitergehende Untersuchungen mit Bestimmung der Veränderung der Dichtungskennwerte unter dem Einfluss von Temperatur und Zeit erforderlich. (BGZ 2022)

Zwischen 2013 und 2016 wurde das Untersuchungsprogramm RuDrif zum Alterungsverhalten von Metalldichtungen unter der Regie der GNS durchgeführt. Die in Testflanschen verpressten Metalldichtungen wurden bei Temperaturen von 100 °C und 130 °C jeweils insgesamt zwei Jahre beziehungsweise bei 150 °C für ein Jahr gelagert, um das zeitliche Dichtungsverhalten prognostizieren zu können. Die Ergebnisse beschreiben das quantitative Verhalten der Metalldichtungen für ein Temperaturniveau, das dem der maximalen Auslegungswärmeleistung entspricht. Um auch für die verlängerte Zwischenlagerung valide Aussagen zum Verhalten der Metalldichtungen zu erlangen, ist geplant, zusätzliche Versuche auf niedrigeren Temperaturniveaus mit entsprechend verlängerter Versuchsdauer durchzuführen. Außerdem sollen auch Dichtungen mit kleinerem Torusdurchmesser in die Untersuchungen einbezogen werden. (BGZ 2022)

Das Projekt MSTOR (Metal Seals under long-term storage conditions) ist eine Erweiterung der vorhandenen experimentellen Basis (RuDrift) zum temperaturabhängigen Alterungsverhalten von Metalldichtungen und Ableitung eines Prognosemodells für Dichtungskennwerte. Projektpartner sind die GNS (Behälterhersteller, Deutschland) und Technetics (Dichtungshersteller, Frankreich) sowie zukünftig auch der Betreiber des geplanten Zwischenlagers Nord, EWN. Die Laufzeit ist 2020 bis 2030. Prognos-

tizierung des Dichtungsverhaltens ist für die Bewertung im Rahmen der verlängerten Zwischenlagerung und des anschließenden Abtransports wesentlich. Das Vorläuferprojekt RuDrift zeigt, dass Messergebnisse bei hohen Temperaturen nicht direkt auf geringere Temperaturbereiche übertragbar sind. Auf Basis der temperatur- und zeitabhängigen Messergebnisse sollen Prognosemodelle für die Vorhersage der Kennwertänderung der Metalldichtungen abgeleitet werden. Diese Modelle sollen die Bewertung des Langzeitverhaltens von Metalldichtungen unter Berücksichtigung der realen Wärmeleistung und des Abklingverhaltens erlauben.

5.1.2 Druckschalter (DPOPT)

Zielsetzung des Forschungsvorhabens DPOPT ist die Optimierung der Druckschalter zur Überwachung der Dichtfunktion des Doppeldeckeldichtsystems. Der Druckschalter ist in der äußeren Dichtbarriere des Doppeldeckeldichtsystems montiert und mit dem darunterliegenden Sperrraumvolumen verbunden. Der Druckschalter ist an das Behälterüberwachungssystem angeschlossen. Sollte der Druck im Sperrraum während der Lagerung durch einen Defekt in einer der beiden Barrieren unter das Druckniveau im Referenzraum des Druckschalters fallen, wird der Kontakt des Hauptschalters geöffnet und das Behälterüberwachungssystem meldet „Sperrraumdruck tief“.

Beim Druckschalter handelt es sich um ein komplexes Bauteil. Das Auftreten zufälliger Fehler lässt sich nicht gänzlich ausschließen. Deswegen verfügt der Druckschalter über eine Selbstüberwachung, die durch einen zusätzlichen Schalter für den Referenzraum realisiert wird. Sollte der Referenzraumdruck durch einen Druckschalterdefekt unter den spezifizierten Schalldruck absinken, wird der entsprechende Kontakt geöffnet und das Behälterüberwachungssystem meldet „Referenzraumdruck tief“.

Bei weltweit über 1.400 verbauten Druckschaltern mit Einzelbetriebsdauern von teilweise mehr als 30 Jahren, die sich zu einer Gesamtbetriebszeit von über 20.000 Jahren aufsummieren, kam es bisher nur zu einer sehr begrenzten Anzahl von Defekten – sogenannten Druckschalterereignissen.³⁴

Laut BGZ sind die aufgetretenen **Druckschalterereignisse** unter Berücksichtigung der Anzahl der verbauten Druckschalter und der Betriebsstunden als zufällig einzustufen. Häufig war nur die Kontaktdurchführung betroffen. Die Auswertung des Erfahrungsrückflusses zum Einsatz von Druckschaltern im Rahmen des Alterungsmanagements gibt jedoch Hinweise auf Optimierungsbedarf. (SCHNEIDER-EICKHOFF 2021) Voruntersuchungen vom Hersteller HBM und der GNS ergaben, dass eine aussichtsreiche Problembehebung durch die Verwendung von Glasdurchführungen anstelle der bisher verwendeten Keramikdurchführungen zu erwarten ist, da bei Glasdurchführungen kein zusätzliches Lötmaterial eingebracht werden muss. (BGZ 2022)

5.1.3 Dosisleistungs- und Temperaturmessprogramm (OBSERVE)

Entsprechend der Anordnung und den Eigenschaften des radioaktiven Inventars ergeben sich Dosisleistungs- und Temperaturverteilungen auf der Oberfläche der Behälter. Das geplante Dosisleistungs- und Temperaturmessprogramm OBSERVE zielt darauf ab, die gesamte Mantelfläche von ausgewählten Behältern zu verschiedenen Zeitpunkten über einen längeren Zeitraum messtechnisch zu erfassen und darüber eine direkte und integrale Aussage zum Alterungsverhalten der Behälter beziehungsweise des Inventars abzuleiten.

Dazu sollen die gemessenen Dosisleistungs- und Temperaturverläufe mit den rechnerisch ermittelten Prognosewerten verglichen werden. Über diese Vergleiche und die jeweilige Verteilung können Rückschlüsse auf die tatsächlichen Abschirm- und Wärmeabfuhereigenschaften gezogen werden. Wenn sich die Messwerte innerhalb der zu erwartenden Bandbreite befinden, ist dies eine Bestätigung, dass es

³⁴ Die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Druckschalters liegt dabei im Bereich von unter 10^{-6} pro Jahr.

zu keinen unerwarteten Veränderungen gekommen ist und das Alterungsverhalten korrekt beurteilt worden ist. In einem Vergleich berechneter und gemessener Behälter-Maximaltemperaturen in einem Zwischenlager zeigt sich, dass die realen Werte über den errechneten Werten liegen. (BGZ 2022)

Im ersten Projektabschnitt bis Ende 2022 wurden zunächst Sensitivitätsstudien durchgeführt, um zu überprüfen, inwieweit Dosisleistungs-/Temperaturmessungen geeignet sind, Rückschlüsse auf den Zustand von Behälterkomponenten und des Inventars zu ziehen. Aus den Ergebnissen der Sensitivitätsbetrachtungen sollen dann die Anforderungen an die Durchführung der Messungen (Equipment, Messraster, Messort) abgeleitet und ein entsprechendes Messprogramm erarbeitet werden.

5.2 Mängel in der Qualitätssicherung

Alle Castor-Behälter halten laut Hersteller höchsten mechanischen und thermischen Einwirkungen stand. Die Herstellung der Castor-Behälter erfolgte auf der Grundlage eines nach DIN ISO 9000 ff zertifizierten Qualitätsmanagementsystems (QM-System). Bei der Herstellung sowie Fertigung der Castor-Behälter und der zugehörigen Komponenten wurden die einschlägigen Regelwerke zur Qualitätssicherung beachtet. Die Einhaltung der qualitätssichernden Maßnahmen wird entsprechend den ESK-Leitlinien vom Hersteller durch ein Qualitätssicherungssystem einschließlich eines Qualitätssicherungsprogrammes gewährleistet. (EWN 2021a)

Tragzapfen

Für die Handhabung der Castor-Behälter sind deckel- und bodenseitig je zwei aus Edelstahl gefertigte Tragzapfen in den Behältermantel eingepasst und an diesen angeschraubt. (EWN 2021a)

Im Zwischenlager des abgeschalteten Atomkraftwerks Unterweser war 2014 zunächst an vier Behältern ein Mangel aufgefallen: Bei den Tragzapfen mit deren Hilfe die Castoren angehoben, umgestellt und verladen werden können, war entweder die vorgeschriebene Ultraschallprüfung nicht erfolgt oder diese nicht ausreichend dokumentiert worden. Daraufhin hatte die Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) alle Castor-Behälter in den Zwischenlagern überprüft und festgestellt, dass bundesweit 315 beladene und in den Zwischenlagern aufbewahrte Behälter unzureichend überprüfte Tragzapfen haben. Nach Auffassung der BAM wären Konsequenzen erforderlich. (NMU 2015a)

Blockmaß

Ein weiterer systematischer Qualitätsmangel betraf das sogenannte Blockmaß der Behälter. Die BGZ stellte im November 2020 fest, dass es an einem CASTOR-Behälter im Zwischenlager Unterweser geringe Abweichungen von der Toleranz des Blockmaßes im Deckelsystem gibt.³⁵ Es war bekannt geworden, dass es während der Behälterbeladung bei der Dokumentation des Blockmaßes des CASTOR-Deckelsystems zu einem Fehler bei der Eintragung von Daten in die Formblätter gekommen ist. Die BGZ hatte daraufhin mit einer Überprüfung der Dokumentation aller bei ihr eingelagerten CASTOR-Behälter begonnen. Hierbei wurde festgestellt, dass es an einem Behälter im Zwischenlager Unterweser reale Abweichungen bei der Blockmaß-Toleranz gibt. Zuvor hatte die BGZ bereits im Zwischenlager Philippsburg an zwei Behältern und an einem Behälter in Brokdorf derartige Fälle entdeckt und die Atomaufsichten sowie die Öffentlichkeit darüber informiert.

Das **Blockmaß** ist ein Maß für die Stärke der Verpressung zwischen Behälter und Deckel. Die Schrauben eines Deckels am CASTOR-Behälter werden so festgezogen, dass der Deckel auch mit dazwischenliegender Dichtung annähernd am Behälter aufliegt. Zur Bestimmung des Blockmaßes wird zunächst das Blockmaß ohne eine Dichtung gemessen. Der Deckel wird verschraubt und liegt dabei vollständig auf

³⁵ Die Dichtheit der Behälter war und ist dennoch uneingeschränkt gegeben.

dem Behälter auf. Dann wird der Behälter beladen und nun mit einer eingelegten Dichtung fest verschraubt. Danach wird ein zweites Mal das Blockmaß gemessen. Da eine Dichtung eingelegt ist, ergibt sich ein leicht höheres Blockmaß im Bereich weniger hundertstel Millimeter. Das ist technisch so vorgesehen und normal – allerdings innerhalb eines sehr kleinen Toleranz-Bereichs. Die BGZ hat nun bei mehreren Behältern festgestellt, dass dieser Toleranz-Bereich überschritten wird. (BGZ 2020f, BGZ 2021f)

5.3 Bewertung

Mit zunehmender Zwischenlagerdauer ist von einer alterungsbedingten Veränderung der Materialien bzw. des Zustandes von Behälterkomponenten (und bestrahlten Brennelementen bzw. Kokillen) auszugehen. Unter Alterung ist die zeitliche irreversible Änderung der chemisch-physikalischen Eigenschaften eines Materials zu verstehen. Alterungseffekte können negative Auswirkungen auf die Sicherheit der Zwischenlagerung haben sowie eine Entladung oder sonstige Vorbereitungen von Brennelementen und Kokillen für die Endlagerung verzögern.

Alterungseffekte können an zahlreichen Behälterkomponenten auftreten. Sicherheitstechnisch relevant sind Material- und Zustandsänderungen an Metall- und Elastomer-Dichtungen im Deckelsystem, an dem Tragkorb zur Aufnahme von Brennelementen oder Kokillen, am Dichtheitsüberwachungssystem (Druckschalter) und an den Polyäthylen-Strukturen zur Neutronenabschirmung. Direkt prüfbar von außen sind aber nur die Verschraubungselemente, Korrosionserscheinungen an Mantelflächen und Tragbolzen, die Dichtheitsüberwachung, die Oberflächendosisleistung und das Temperaturprofil.

Fast alle in Deutschland gelagerten Behälter sind CASTOR-Behälter des Herstellers GNS. Diese werden andererseits auch fast nur in Deutschland eingesetzt. Insofern ist nationale Forschung besonders wichtig. Der Behälterhersteller GNS vertritt die Auffassung, die Behälter seien auch für eine verlängerte Zwischenlagerzeit ausreichend sicher. Die BGZ vertritt eine ähnliche Auffassung.

Der Umfang des BGZ Forschungsprogramms zum Behälter ist sehr gering. Die meisten Effekte von potenziell negativ von Alterung betroffenen Behälter-Komponenten werden als vernachlässigbar bewertet. Das liegt vor allem daran, dass der bewertete Zeitraum sich nur auf etwas mehr als 40 Jahre bezieht. Die BGZ erklärt, dass die meisten Behälter beim Einlagerungszeitpunkt in das Endlager erst 40 Jahre lagern.

Forschungsvorhaben werden nur zu Metaldichtungen durchgeführt. Zusätzlich erfolgen Optimierungsarbeiten für die Druckschalter und ein Forschungsvorhaben zu Dosisleistungs- und Temperaturverteilungen auf der Behälteroberfläche.

Die Forschung zur Dosisleistungs- und Temperaturverteilung zielt vor allem darauf ab, Prognosen erstellen zu können, ohne Messungen durchführen zu müssen. Eine messtechnische Überwachung der Behälter wäre einer rechnerischen Prognose sicherheitstechnisch vorzuziehen.

Ein Nachweis, ob nach einer langfristigen Zwischenlagerung die **Metaldichtungen** des Doppeldeckeldichtsystems noch in der Lage sind, einen sicheren Abtransport zu gewährleisten und die Handhabung der Behälter auch noch sicher möglich ist, muss deutlich vor Ablauf der Zwischenlagerzeit geführt werden. Nur so kann die erforderliche Forschung durchgeführt werden und ggf. Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Dabei müssen aber auch die erforderlichen Lagerzeiten betrachtet werden. Dies erfolgt bisher nicht.

Die BAM untersuchte im Gegensatz zur BGZ nicht nur die Alterung von Metaldichtungen, sondern auch die Alterung von **Elastomerdichtungen**. Die Alterung unter Sauerstoffeinfluss wurde bereits detailliert untersucht. Im eingebauten Zustand im Behälter ist die Sauerstoffverfügbarkeit designbedingt stark eingeschränkt. Daher wird erwartet, dass die Alterung langsamer abläuft. Somit wäre eine längere Lebensdauer zu erwarten. Die Alterung unter sauerstofffreien Bedingungen ist aber möglicherweise nicht konservativ, da in der Realität keine komplett sauerstofffreie Umgebung gewährleistet ist.

Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die zu betrachtenden langen Zeiträume und die niedrigeren Temperaturen, die zu einer sehr langsamen Alterung mit entsprechend geringem Sauerstoffverbrauch führen. (BAM 2019a)

Es ist sicherheitstechnisch von Vorteil, wenn die **Druckschalter** ausfallsicherer würden. Es ist zu erwarten, dass bei einer Lagerzeit der Behälter deutlich über 40 Jahren die Ausfallrate der Druckschalter ansteigen wird. Die jetzige Ausfallrate ist vermutlich nicht repräsentativ für die Ausfallrate in 50 Jahren. Wenn an einer Optimierung der Druckschalter geforscht wird, sollte dabei jedoch die erforderliche Lagerzeit (und nicht nur die im Gesetz festgelegte Lagerzeit) betrachtet werden.

Der **Tragkorb** soll durch seine konstruktive Auslegung eine stabile Positionierung des Inventars im Behälterinnenraum gewährleisten. Da die Sicherstellung der Unterkritikalität basierend auf den bestehenden Genehmigungen nur für einen Zeitraum von 40 Jahren gewährleistet wird, sollte belegt werden, für wie lange die Integrität des Tragekorbs und der Hüllrohre und damit die Unterkritikalität nach bisherigem Kenntnisstand gewährleistet ist. Zudem sollten verlässliche Maßnahmen entwickelt werden, wie die Sicherstellung der Unterkritikalität bis zum tatsächlichen Ende der Aufbewahrung der Behälter gewährleistet werden soll.

Problematisch könnte auch die **langfristige Verfügbarkeit austauschbarer Komponenten** wie z. B. Druckschalter, Metalldichtungen, Tragzapfen und Schrauben werden. Auch wenn anhand der vorliegenden Erfahrungen nicht innerhalb der genehmigten Lagerzeiten von einem systematischen Ausfall und Ersatzbedarf auszugehen ist, muss dieses nicht für verlängerte Zwischenlagerzeiten gelten. Daher ist für eine verlängerte Zwischenlagerung zu zeigen, dass die Funktionstüchtigkeit auch bei austauschbaren Komponenten weiterhin zuverlässig gewährleistet ist, und dass für einen ggf. erforderlichen Austausch die benötigten Ersatzkomponenten zur Verfügung stehen.

Die Mängel an den Tragzapfen zeigen, dass umfangreiche Mängel in der Qualitätssicherung der Behälter bestehen können. Insgesamt sind Material- und Komponentenschäden nicht auszuschließen, die insbesondere bei einer langfristigen Zwischenlagerung negative Auswirkungen auf die Sicherheit haben können. Zudem könnte bei Qualitätsmängeln an den Behältern ein späteres Abtransportieren zum Endlagerstandort erheblich verzögert werden. Die Mängel beim Blockmaß des Doppeldeckelsystems zeigten, dass auch bei anderen Bauteilen systematische Qualitätsmängel auftreten. **Qualitätsmängel an Behälterkomponenten wirken sich bei einem deutlich längeren Lagerzeitraum stärker aus und müssen daher neu bewertet werden.**

Da die Erfahrungen zeigen, dass bei der bisherigen Herstellung der CASTOR- Behälter Qualitätsmängel aufgetreten sind, muss das Qualitätsmanagement bei der Herstellung zukünftig verbessert werden. Für die bereits gefertigten und gelagerten Behälter sind potenzielle Qualitätsmängel sowohl in den Sicherheitsanalysen als auch in der Betriebsüberwachung als auch bei der Forschung angemessen zu berücksichtigen.

6 Forschung zum Inventar für die verlängerte Zwischenlagerung

Die Dichtheit und die Integrität der Hüllrohre der Brennelemente sind im Zwischenlagerbetrieb nicht direkt prüfbar. Hüllrohre werden jedoch stetig durch Strahlung, Nachzerfallsleistung und Innendruck (Druckbeaufschlagung, freigesetzte Spaltgase, Helium) thermisch und mechanisch belastet. Diese Belastungen führen zur Versprödung durch Strahlung und Wasserstoffeinlagerungen und zur Verformung durch Kriechen und Herabsetzung der Duktilität des Hüllrohres bei Temperaturabnahme. Mögliche Konsequenzen (vor allem für Transport und Konditionierung) sind der Verlust der Dichtheit der Hüllrohre und Verlust der mechanischen Integrität der Hüllrohre. (KILGER 2015)

Insbesondere systematische alterungsbedingte Degradierung der Hüllrohre kann die Sicherheit bei verlängerter Zwischenlagerung beeinträchtigen und zu erhöhtem Aufwand bei der Vorbereitung für die Endlagerung führen.

Die BGZ stellt in ihrem Forschungsprogramm zunächst den Bestand an radioaktivem Material dar, um dann das Forschungsprogramm abzuleiten.

6.1 Bestand: Gelagerte Brennelemente und hoch-radioaktive Abfälle

Im Sicherheitskonzept der Transport- und Lagerbehälter erfüllen die Brennstabhüllrohre sicherheitstechnische Funktionen. Die Brennstabhüllrohre und ihre Zusammenfassung zu Brennelementen (BE) sichern, dass der Brennstoff in einer immer gleichen geometrischen Anordnung verbleibt. Für bestrahlte BE stellen die Brennstabhüllrohre die primäre Barriere dar, die ein unkontrolliertes Verbreiten radioaktiver Stoffe in das Behälterinnere vermeidet.

Die BE aus den AKWs lassen sich in verschiedene Kategorien einteilen, zum Beispiel nach Reaktortyp (DWR/SWR), Hüllrohrmaterial und Brennstoff. Als Brennstoff kamen neben UO_2 auch Mischoxide (MOX) und Uran aus der Wiederaufarbeitung (wiederaufgearbeitetes Uran, WAU) zum Einsatz. Anreicherung und Abbrand der BE nahmen über die Laufzeit zu, die Anreicherung stieg auf bis zu circa 4,9 Gewichtsprozent ^{235}U und die über das BE gemittelten nominalen Zielabbrände erreichten bis zu 65 GWd/tSM. (BGZ 2022)

Der Brennstoff wurde in Form von Tabletten in Brennstabhüllrohre aus verschiedenen Zirkoniumlegierungen gefüllt. Für DWR-Reaktoren lassen sich diese im Wesentlichen einteilen in Zry-4, verschiedene Duplex-Varianten sowie die Werkstoffe ZIRLO[®] und Optimized ZIRLO[®] von Westinghouse und M5[®] von Framatome. Für die SWR-Reaktoren wurden Zry-2-Hüllrohre mit und ohne Liner eingesetzt.

Die BGZ erwartet nach Abschluss der Einlagerung eine Gesamtmenge von rund 29.000 bestrahlten BE aus AKWs, die sich dann in mehr als 1.000 Behältern befinden. Von den voraussichtlich bis 2027 eingelagerten BE werden weniger als sieben Prozent MOX-Brennstoffe enthalten. Die Abbrände der bis dahin eingelagerten Inventare verteilen sich auf rund 31 Prozent unter 40 GWd/tSM, 53 Prozent mit Abbränden zwischen 40 und 55 GWd/tSM und 16 Prozent mit Abbränden über 55 GWd/tSM. (BGZ 2022)

Die Genehmigungen, deren Befristung zuerst endet, sind die der zentralen Zwischenlager in Gorleben und Ahaus. Es sind auch diese Inventare, die im Jahr 2050 länger als 40 Jahre trocken zwischengelagert wären. Die ersten Behälter zur trockenen Zwischenlagerung bestrahlter BE aus AKWs wurden im Behälterzwischenlager Gorleben eingelagert. Dabei handelt es sich um einen CASTOR[®] Ic und einen CASTOR[®] IIa mit UO_2 -DWR-BE sowie drei CASTOR[®] V/19 mit UO_2 -DWR-BE. Alle fünf Behälter wurden bis 1997 eingelagert. Die Abbrände der BE sind vergleichsweise niedrig. Der maximale Abbrand liegt bei circa 34 GWd/tSM, der minimale bei 22 GWd/tSM. Die Hüllrohrmaterialien sind Zry-4 für die DWR-BE und Zry-2 für die SWR-BE.

Im Brennelementzwischenlager Ahaus stehen insgesamt sechs Brennelementbehälter: drei vom Typ CASTOR[®] V/19 mit DWR-BE und drei vom Typ CASTOR[®] V/52 mit SWR-BE. Die Abbrände sind hier ebenfalls vergleichsweise niedrig, lediglich zwei der 213 BE liegen über 40 GWd/tSM. Die Hüllrohrmaterialien sind ausschließlich Zry-4 und Zry-2.

An den Standortzwischenlagern wurde im Dezember 2002 der erste Brennelementbehälter in Lingen eingelagert. Der geringste Anteil der in den Zwischenlagern der BGZ eingelagerten BE (0,7 Prozent) hat einen gemittelten Abbrand von mehr als 55 GWd/tSM. Der Großteil der BE hat einen gemittelten Abbrand zwischen 40 und 55 GWd/tSM.

Vergleichsweise hohe Abbrände sind außer in der Schweiz international nicht vorgesehen. Entsprechend kann bei der verlängerten Zwischenlagerung für diese hohen Abbrände und insbesondere auch für MOX-Brennstoffe nicht auf bestehende internationale Forschungsaktivitäten zurückgegriffen werden. Hier sieht die BGZ einen Forschungsbedarf für die an den SZL eingelagerten BE. Für die Einhaltung der Schutzziele ist die Dauer der tatsächlichen trockenen Zwischenlagerzeit zu berücksichtigen.

Die ältesten BE beziehungsweise diejenigen mit der längsten Verwahrdauer in der trockenen Zwischenlagerung sind die zuerst verpackten, niedrig abgebrannten BE. Bis 2006 wurde kein BE mit Abbränden über 50 GWd/tSM in Behälter verpackt. Bis 2010 wurden zwar einzelne BE mit Abbränden über 60 GWd/tSM verpackt, der Großteil hatte jedoch Abbrände unter 55 GWd/tSM. Die BGZ erklärt, unterstellt man ein betriebsbereites Endlager zum Jahr 2050, dann wären diese BE länger als 40 Jahre in der trockenen Zwischenlagerung. Rund 25 Prozent der BE wären zu diesem Zeitpunkt länger als 40 Jahre trocken zwischengelagert.

Laut BGZ wäre nur für wenige BE eine Lagerzeit von 40 Jahren überschritten. Die Erweiterung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik zum Ausschluss des systematischen Hüllrohrversagens ist deshalb für diese Brennelemente von hoher Bedeutung. Das restliche Inventar wäre zum Jahr 2050 weniger als 40 Jahre in den Behältern. Die zuletzt im Jahr 2027 verpackten BE wären zu diesem Zeitpunkt erst 23 Jahre in den Behältern verpackt. Die Verbringung der Behälter in das Eingangslager des Endlagers dauert allerdings mehrere Jahre. Für die insgesamt 1.500 Behälter geht die BGZ von mindestens 30 Jahren aus. Mit mehreren Projekten untersucht die BGZ die wesentlichen Fragestellungen der verlängerten Zwischenlagerung auch für die eingelagerten BE, die 2050 noch nicht die 40 Jahre überschritten haben.

Verglaste hoch-radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung

Die verglasten Abfälle sind hoch-radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter BE aus deutschen AKWs. Die Wiederaufarbeitung der BE und die Verglasung erfolgten in den Wiederaufarbeitungsanlagen La Hague (Frankreich) und Sellafield (England). Bei der Wiederaufarbeitung wird der bestrahlte Kernbrennstoff zunächst mechanisch zerkleinert und chemisch aufgelöst und anschließend werden die wiederverwendbaren spaltbaren Bestandteile Uran und Plutonium zur Weiterverwendung in MOX- und WAU-BE abgetrennt. Das zurückbleibende Konzentrat aus Aktiniden und Spaltproduktrestmengen wird beim Verglasungsprozess in Borsilikatglas gebunden. Die so entstandene Glasschmelze wird bei einer Temperatur von etwa 1.000 °C in standardisierte Edelstahlkanister, die sogenannten Kokillen, gegossen.

Nach Erstarrung des HAW-Glases werden die Kokillen dicht verschweißt. Das Ziel der Verglasung ist im Wesentlichen die Immobilisierung der hoch-radioaktiven Abfälle in der Glasmatrix für die Endlagerung, das heißt für eine mehrere Tausend Jahre dauernde Lagerung der verglasten Abfälle. Die Kokille mit ihrem fünf Millimeter dicken Edelmantel soll neben der Glasmatrix eine weitere Barriere zur Rückhaltung radioaktiver Partikel darstellen.

Laut BGZ wurde im Rahmen der Endlagerforschung das Langzeitverhalten der HAW-Glaskokillen bereits umfassend untersucht. Laut BGZ schließen die geringen thermischen, mechanischen und radiologischen Belastungen während der Zwischenlagerung eine signifikante Radionuklidmobilisierung aus. **Aktuell sieht die BGZ daher für die HAW-Glaskokillen keinen Forschungsbedarf**, um den Nachweis der Einhaltung der Schutzziele auch für die verlängerte Zwischenlagerung zu erbringen.

Bestand Brennelemente aus Forschungs-, Versuchs- und Testreaktoren

Aktuell befinden sich in den von der BGZ betriebenen Zwischenlagern die BE aus dem Thorium-Hochtemperaturreaktor (THTR-300) und aus dem Rossendorfer Forschungsreaktor (RFR). Die bestrahlten BE aus dem 1989 abgeschalteten THTR-300 sind in 305 CASTOR®-THTR/AVR-Behältern im Zwischenlager Ahaus eingelagert. Die kugelförmigen BE haben einen Durchmesser von circa 60 Millimetern und bestehen aus einer im Zentrum liegenden Grafitmatrix, die den Brennstoff in Form von beschichteten Partikeln enthält, sowie einer äußeren brennstofffreien Grafitsschale. Der Brennstoffkern besteht entweder aus karbidischen oder oxydischen Uran und/oder Thoriumverbindungen, wobei das Uran auf bis zu 93 Gewichtsprozent mit ²³⁵U angereichert sein kann.

Für die Zwischenlagerung in den CASTOR®-THTR/AVR-Behältern befinden sich die kugelförmigen BE in einer dicht verschweißten Kanne aus Edelstahl. Eine Kanne enthält maximal 2.110 BE.

Die bestrahlten BE aus dem Rossendorfer Forschungsreaktor (RFR) sind seit 2005 in 18 CASTOR®-MTR2-Behältern im Zwischenlager Ahaus eingelagert.

Die Brennelementtypen aus Forschungs- und Prototypreaktoren unterliegen laut BGZ während der Zwischenlagerung relativ geringen thermischen und radiologischen Belastungen. Das Temperaturniveau liegt aufgrund der geringen Nachzerfallwärmeleistung deutlich unterhalb kritischer Werte, die Einfluss auf das Materialverhalten haben könnten. Einhergehend mit den relativ geringen Abbränden und dem damit verbundenen geringen Aktivitätsinventar ist auch das Niveau der Neutronenstrahlung signifikant geringer als bei Behälterbeladung mit BE aus AKWs.

Aktuell sieht die **BGZ für BE aus Forschungs- und Prototypreaktoren keinen Forschungsbedarf**, um den Nachweis der Einhaltung der Schutzziele auch für die verlängerte Zwischenlagerung zu erbringen.

6.2 Ableitung des Forschungsbedarfs für BE aus AKWs durch die BGZ

Für die verlängerte Zwischenlagerung ist die BGZ im Rahmen ihres schutzzielorientierten Ansatzes zu der Einschätzung gekommen, dass die Beschreibung des Brennstabverhaltens beziehungsweise der Nachweis der Brennstabintegrität weiterer Untersuchungen bedarf. Diese Einschätzung steht im Einklang mit nationalen und internationalen Studien und Veröffentlichungen.

Das intakte Hüllrohr verhindert den Austritt radioaktiver Partikel, denn Brennstoff wird in seiner Form und am Ort fixiert.

Die aktuellen Kriterien zur Einhaltung der Brennstabintegrität sind entwickelt worden, um Schadensmechanismen zu begrenzen und so einen systematischen Integritätsverlust der Hüllrohre ausschließen zu können. Zu diesen Mechanismen gehört die Korrosion des Hüllrohrs durch Oxidation. Um diese Effekte zu begrenzen und so die Integrität der Brennstabhüllrohre während der trockenen Zwischenlagerung zu garantieren, wurden die Hüllrohrtemperatur auf maximal 370 °C, die Umfangsspannung auf maximal 120 MPa und die Umfangsdehnung auf 1 Prozent begrenzt.

Die Kriterien wurden für die aktuelle Genehmigung für einen Zeitraum von 40 Jahren festgelegt. Das Ziel der BGZ-Forschung ist, die Kriterien für die verlängerte Zwischenlagerung zu erweitern und so eine sichere Zwischenlagerung sowie den anschließenden Transport zu ermöglichen. Dabei wird auch untersucht, ob weitere Schadensmechanismen zu Hüllrohrversagen führen können, wie zum Beispiel:

- **Wasserstoffmigration und -umverteilung:** Der während der Bestrahlung aufgenommene Wasserstoff reichert sich während der Lagerung lokal an: Folge Duktilitätsverlust.
- **Hydridreorientierung:** Der während des Trocknungsprozesses gelöste Wasserstoff scheidet sich zunehmend in radial orientierten Hydridplättchen aus: Folge Duktilitätsverlust.
- **Delayed Hydride Cracking (DHC):** Wasserstoff lagert sich an einer existierenden Risspitze ab, erhöht dort lokal das Volumen durch Hydridbildung und befördert dadurch weiteres Risswachstum: Folge möglicher Integritätsverlust.
- **Spannungsrissskorrosion:** Folge Integritätsverlust.

Für die Brennstabhüllrohre gilt, dass die maximale Temperatur nach dem Reaktoreinsatz während des Trocknungsprozesses im Behälter auftritt. Während der weiteren Lagerzeit verringern sich die Temperaturen, die der abnehmenden Nachzerfallsleistung der BE folgen. Bei den bisherigen Rechnungen zur Nachweisführung werden Temperaturen im Behälter aufgrund der enthaltenen Konservativitäten überschätzt. Für die Bewertung weiterer Effekte, die für eine verlängerte Zwischenlagerung über die 40 Jahre hinaus von Bedeutung sein können, ist die Kenntnis einer realistischeren Temperaturverteilung notwendig.

Für die Nachweisführung bezüglich der verlängerten Zwischenlagerung müssen prinzipiell sowohl zusätzliche experimentelle Daten generiert als auch analytische Verfahren, Methoden und Modelle in die erforderlichen analytischen Vorhersagemethoden implementiert und validiert werden. Internationale Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten gibt es zu einem Großteil der relevanten Themen, jedoch

nicht immer in den für die BE aus deutschen AKWs repräsentativen Parameterbereichen. So gibt es zum Beispiel zahlreiche Studien zum Wasserstoffverhalten während der trockenen Zwischenlagerung bei zu schnell sinkenden Temperaturen.

Bestimmte Langzeiteffekte können nicht direkt untersucht werden, da entsprechendes Material nicht zur Verfügung steht: Es existieren keine bestrahlten Brennstäbe mit prototypischen Randbedingungen, die 60 oder 70 Jahre in der trockenen Zwischenlagerung sind. Effekte wie zum Beispiel die Spaltgasfreisetzung im verschlossenen Hüllrohr über die gesamte Lagerzeit können nur theoretisch beschrieben werden und müssen so gut wie möglich experimentell verifiziert werden, zum Beispiel an einzelnen experimentellen Stabuntersuchungen. (BGZ 2022)

Im Jahr 2050 wären die BE mit niedrigen Abbränden länger als 40 Jahre in der trockenen Zwischenlagerung. Die BE sind in ihren Eigenschaften ähnlich zu den BE aus dem CASTORV/21 PWR Spent Fuel Storage Cask Performance Test. In diesem Versuchsprogramm wurde ein bereits beladener CASTOR V/21-Behälter nach 14-jähriger Lagerung geöffnet und die gelagerten BE experimentell untersucht. Die aus den Experimenten gewonnenen Daten und Untersuchungen haben keine nennenswerten Schädigungen nachgewiesen. Langzeiteffekte, wie zum Beispiel der Aufbau von Spaltgasen und der damit verbundene erhöhte Innendruck, spielen bei diesen niedrigen Abbränden eine untergeordnete Rolle. (BGZ 2022)

Der überwiegende Teil der in den Zwischenlagern der BGZ eingelagerten Brennelemente hat einen über das Brennelement gemittelten Abbrand von 40 bis 55 GWd/tSM. Zu Brennelementen mit diesen Abbränden gibt es national wie international einige Forschungsaktivitäten, beispielsweise das High Burnup Dry Storage Research and Development Project in den USA, in dem 32 Brennelemente aus Leistungsreaktoren der USA in einen TN-32-Behälter verpackt wurden. In 2027 sollen die Brennelemente nach dann zehnjähriger Lagerzeit aus dem Behälter entnommen und detailliert untersucht werden. Das im TN-32 eingelagerte Inventar umfasst DWR-Brennelemente mit Hüllrohren aus Zry-4 (2 Brennelemente), M5 (18) und ZIRLO (12). Die Abbrände liegen zwischen 50 und 55,5 GWd/tSM. Die SWR-Hüllrohrmaterialien Zry-2 mit und ohne Liner sowie DWR-Hüllrohre aus Duplex oder Optimized ZIRLO werden nicht untersucht. Hier kann teilweise auf Untersuchungen aus Programmen wie SCIP IV oder auch Untersuchungen der Brennelementhersteller wie zum Beispiel Westinghouse zurückgegriffen werden. (BGZ 2022)

6.2.1 SCIP IV – Studsvik Cladding Integrity Project

Im Rahmen ihrer Vorbereitungen auf die notwendige verlängerte Zwischenlagerung von hoch-radioaktiven Abfällen in Deutschland ist die BGZ einem internationalen Forschungskonsortium beigetreten. Ziel ist die vertiefte Erforschung des Materialverhaltens von BE aus AKWs insbesondere während der Zwischen- und Endlagerung. Unter dem Namen „OECD/NEA Studsvik Cladding Integrity Project“ (SCIP-IV) haben sich die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) mit ihrer Nuclear Energy Agency (NEA) und 38 weitere Organisationen zusammengeschlossen, um im schwedischen Nyköping Labore der Firma Studsvik Nuclear für ihre Forschungen zu nutzen. (BGZ 2020h)

Das Projekt hat eine Laufzeit von fünf Jahren (2019-2024) und ein Gesamtbudget von 14 Millionen Euro. Es wird von der Firma Studsvik AB durchgeführt. Im Rahmen des Projektes wird Grundlagen- und Sicherheitsforschung zum Hüllrohrverhalten bei Kühlmittelverluststörfällen, überhöhten Betriebstemperaturen, betrieblichen Leistungstransienten sowie zum Verhalten unter Zwischen- und Endlagerbedingungen durchgeführt. Hierbei sind insbesondere das Kriechverhalten der Hüllrohre unter Zwischenlagerungsbedingungen, die Wasserstoffversprödung des Hüllrohrmaterials und die damit verbundene Hydridreorientierung, die Wechselwirkung zwischen Brennstoff und Hüllrohr (Pellet Cladding Interaction, Brennstoffschwellen), die Permeation von Gasen im Brennstoff, die Mikrostruktur in Hochabbrand-Brennstoffen, das mechanische Verhalten bestrahlter BE sowie das Fragmentationsverhalten verschiedener bestrahlter Brennstofftypen von Interesse. Das aktuelle Versuchsprogramm adressiert

eine Vielzahl der von der BGZ identifizierten Forschungsfragen, die auch zum Teil in für Deutschland relevanten Parameterbereichen durchgeführt werden.

6.2.2 SpizWurZ - Spannungsinduzierte Wasserstoffumlagerung in Brennstabhüllrohren während der längerfristigen Zwischenlagerung

Die BGZ ist bei dem vom BMWi geförderten und von der GRS geleiteten Verbundvorhaben nur als Beobachter involviert. In dem Verbundvorhaben wird mit experimentellen und theoretischen Methoden der Einfluss des Wasserstoffs auf Hüllrohrmaterialien unter Bedingungen der verlängerten Zwischenlagerung untersucht. Der Wasserstoff übt prinzipiell einen versprödenden Effekt auf zirkoniumbasierte Werkstoffe aus. In gelöster Form ändert der im Hüllrohr eingelagerte Wasserstoff unter Einfluss von Temperatur-, Konzentrations- und Spannungsgradienten durch Diffusion seine Verteilung innerhalb des Hüllrohrs. Für eine belastbare Bewertung der Brennstabintegrität ist die vollständige Beschreibung des Wasserstoffflusses unter Berücksichtigung aller relevanten Parameter nötig. Diese existiert bisher nicht.

Im Rahmen des Vorhabens wird ein Blind-Benchmark zur Bewertung des bestehenden Rechencodes zur Simulation von BE in Transport- und Lagerbehältern erstellt und durchgeführt. Konkret werden dazu Versuche am Karlsruhe Institute of Technology (KIT) zur Bestimmung des makroskopischen Wasserstoffflusses an verschiedenen Hüllrohrmaterialien (Zry-4, ZIRLO[®], Duplex) durchgeführt.

In den Heißen Zellen des Karlsruher Institutes für Nukleare Entsorgung (KIT-INE) werden auch experimentelle Bestimmungen der realen elastischen Dehnung im Brennstabhüllrohr nach über 30 Jahren Lagerung durch Herauslösen des Brennstoffes und Vermessen des Hüllrohrdurchmessers durchgeführt. Bei der Probe handelt es sich um **eine** Zircaloy-4-Hüllrohrprobe mit UO₂ (Probenabbrand von 50,4 GWd/tSM) aus dem DWR Obrigheim. Die Bestrahlungshistorie der in den 1980er-Jahren bestrahlten Proben ist sehr gut bekannt. Das Projekt läuft von Juni 2020 bis Juni 2023.

6.2.3 Thermal Modelling Benchmark

Laut BGZ sind nahezu alle Degenerierungseffekte des Hüllrohrs temperaturabhängig, insofern ist eine möglichst genaue Kenntnis der Hüllrohrtemperatur und deren Entwicklung für die Bestimmung der Hüllrohrintegrität entscheidend. Nach dem Reaktoreinsatz weisen die Hüllrohre eine Temperatur im Abklingbecken von unter 50 °C auf. Im Anschluss an die Abklingzeit werden die BE in Behälter verpackt und in diesen getrocknet. Während des Trocknungsprozesses erreichen die Hüllrohre ihre Maximaltemperatur, die anschließend entsprechend der Wärmeleitung im Behälter sowie der Nachzerfallsleistung des Brennstoffes abfällt.

Für den Großteil der für die verlängerte Zwischenlagerung zu betrachtenden wasserstoffabhängigen Effekte ist die Zeitspanne vom Trocknungsprozess bis zu einigen Monaten danach entscheidend. Der schnelle Temperaturanstieg während des Trocknungsprozesses und die Art und Weise, wie die Hüllrohrtemperatur wieder abfällt, bestimmen maßgeblich das Verhalten des im Hüllrohr aufgenommenen Wasserstoffs.

Im Jahre 2017 wurde ein instrumentierter Serienbehälter vom Typ TN[®] 32 im AKW North Anna mit DWR Brennelementen beladen und einem Messprogramm unterzogen. Zunächst wurden diese Betrachtungen inneramerikanisch durchgeführt. In der aktuellen Projektphase wurden auch interessierte internationale Institutionen vom „Electric Power Research Institute“ („EPRI“) eingeladen. Ziel ist es, einen internationalen Überblick über die angewendeten Methoden und deren Sensitivität im Vergleich zu den experimentell gewonnenen Ergebnissen zu erhalten. Die BGZ partizipiert zusammen mit der GNS an diesem Benchmark, um weitere Erkenntnisse zu sicherheitstechnischen Nachweisen auf Basis von Best-Estimate-Analysen für die anstehende Neubeantragung der atomrechtlichen Aufbewahrungsgenehmigungen gemäß § 6 Atomgesetz zu gewinnen.

In einer ersten Phase wurde das Modell des Behälters erstellt und die Berechnungen entsprechend der Benchmarkbeschreibung durchgeführt. In der zweiten Phase sollen die Unsicherheiten bei der Modellierung und deren Effekte auf die berechneten Hüllrohrtemperaturen näher untersucht und quantifiziert werden. Das Projekt läuft von Juli 2019 bis Juni 2024.

6.2.4 LEDA – Experimentelle Langzeitstudien zum Hüllrohrverhalten

Die Untersuchung des Langzeitverhaltens der eingelagerten BE aus den AKWs ist nach aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik für die BGZ ein Forschungsschwerpunkt. Zur Vervollständigung von experimentellen Daten zum Hüllrohrverhalten, unter Bedingungen der verlängerten Zwischenlagerung, hat die BGZ das Vorhaben LEDA (Longterm Experimental Dry Storage Analysis) initiiert. Das von der BGZ initiierte und geleitete mehrjährige Großforschungsprogramm LEDA soll Datenlücken zur Bewertung der Duktilität von Hüllrohren unter Bedingungen der verlängerten trockenen Zwischenlagerung schließen. (STUKE 2021)

Um Fragen zum Hüllrohrverhalten unter Bedingungen einer trockenen Zwischenlagerung und insbesondere, um die Bedeutung von Wasserstoff zu untersuchen, ist eine experimentelle Kampagne bei Studsvik in Schweden geplant.

Mit den in LEDA generierten experimentellen Daten werden analytische Modelle und Methoden zur Vorhersage der Brennstabintegrität für die schutzzielorientierte Nachweisführung erweitert und validiert. Die bisherigen Kriterien zum Ausschluss des systematischen Hüllrohrversagens werden unter Einbeziehung des (Langzeit-)Wasserstoffverhaltens für Lagerzeiten von über 40 Jahren hinaus überprüft und deren Vollständigkeit untersucht.

Die Langzeitmesskampagne wird mit verschiedenen bestrahlten Brennstabsegmenten unter prototypischen Randbedingungen durchgeführt. Die laut BGZ zu untersuchenden Brennstabsegmente repräsentieren bestmöglich die in Deutschland eingesetzten Brennstäbe bezüglich der eingesetzten Hüllrohrmaterialien, Brennstoffe und Bestrahlungshistorien. Es soll damit sichergestellt werden, dass möglichst abdeckende und prototypische Bedingungen bezüglich der Behälterbeladungen abgebildet werden. Projektlaufzeit ist von 2022 bis 2026.

Laut BGZ ermöglicht das Forschungsprojekt die Untersuchung einer großen Zahl verschiedener Brennstäbe und somit die Abdeckung des bei der BGZ eingelagerten Inventars aus den deutschen AKWs. Der Erkenntnisgewinn ist folglich deutlich größer, als beim Öffnen eines einzelnen Behälters, dessen Inventar hinsichtlich des Abbrands und Hüllrohrmaterials nicht repräsentativ für die rund 29.000 BE sein kann, die ab 2027 in den Zwischenlagern der BGZ aufbewahrt werden. (BGZ 2023e)

6.2.5 DCS-Monitor II

Das Ziel des Verbundvorhabens, koordiniert von der TU Dresden, besteht darin, Ansätze der strahlungsfeldbasierten Diagnostik zu Gammastrahlung, Neutronenfluss und Myonen in Form von Simulationen und Experimenten vertieft zu untersuchen, um im Endergebnis ein validiertes und einsetzbares Monitoringverfahren für CASTOR®-Behälter zu entwickeln. Dabei baut das Vorhaben auf generischen Machbarkeitsuntersuchungen zu verschiedenen potenziellen Diagnostikverfahren für ein nicht invasives Monitoring von CASTOR®-Behältern auf. Eigene Forschungsarbeiten zu Veränderungs- und Schädigungsmechanismen sind explizit nicht Bestandteil des Vorhabens.

Zur Untersuchung der Myonenbildgebung bezüglich ihrer Einsetzbarkeit für ein Monitoringverfahren für TLB sind die Inbetriebnahme eines vom Forschungszentrum Jülich zur Verfügung gestellten Detektors sowie die Konzeptionierung und der Aufbau eines eigenen Detektorkonzepts vorgesehen. Mit den Detektoren sollen mit Unterstützung von GNS und BGZ nach Möglichkeit Messungen an großmaßstäblichen Dummies sowie später an TLB im Zwischenlager durchgeführt werden. Darüber hinaus soll im

Vorhaben eine vertiefte Untersuchung der Anwendung der Messung des Gamma- und Neutronenstrahlungsfeldes beladener TLB für ein nicht invasives Monitoring erfolgen. Das Projekt lief von April 2020 bis März 2023.

6.2.6 Forschungsverbund Myonenradiografie

Die materialabhängige Wechselwirkung der kosmischen Myonen mit Strukturen auf der Erde wird in bereits etablierten Verfahren in der Archäologie, Geologie, Vulkanologie und Spaltmaterialüberwachung für radio- und tomografische Bildgebungsverfahren genutzt. Die nicht invasive Untersuchung des Behälterinventars mittels kosmischer Myonen ist ein noch relativ junges Forschungsfeld. Während sich die ersten Arbeiten in 2003 auf Proliferationsaspekte wie die Identifizierung von fehlenden Brennelementen fokussierten, wurde in jüngster Vergangenheit versucht, einzelne Brennstäbe zu visualisieren.

Zurzeit existieren bereits einige nationale Forschungsprojekte auf diesem Gebiet, wie das Forschungsprojekt DCS-Monitor II. Auch die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) untersucht die theoretische Modellierung bildgebender Verfahren mittels atmosphärischer Myonen. Mit der Gründung eines Verbundes sollen die Grundlage zur Bündelung nationaler Forschungskräfte sowie eine Plattform zum Austausch von Ideen und Wissen auf dem Gebiet der Myonentomografie geschaffen werden.

6.3 Brennelementprobleme im Reaktorbetrieb und Fehler bei Beladung

Die Art und Weise des Betriebs im Reaktor (wie erhöhte Oxidschichtdicken an Brennelement-Hüllrohren) hat Auswirkungen auf den Zustand der Brennelemente während der Zwischenlagerung. Während ihrer Einsatzzeit im Reaktor kommt es immer zur Bildung von leichten Oxidschichten auf der Oberfläche der Brennelement-Hüllrohre. In der Spezifikation der Brennelemente wurde für die gesamte Einsatzzeit im Reaktorkern ein Wert von max. 100 µm festgelegt. Die normalen Schichtdicken nach einer Einsatzzeit sind 10 bis 15 µm. Im AKW Brokdorf wurden 2017 Brennelemente mit Schichtdicken bis 150 µm im oberen Bereich der Brennelemente aufgefunden. In der Revision 2019 wurden optische Inspektionen und Messungen der Oxidschichtdicke von Brennelement-Hüllrohren in Philippsburg 2 durchgeführt. Es gab weitere, auch unerwartete Befunde an Brennelementen. (BW 2019b)

Abgebrannte Brennelemente werden in den Atomkraftwerken unter der Aufsicht des TÜV und der zuständigen Behörde in Transport- und Lagerbehälter geladen. Die Eckdaten des jeweiligen Brennelements werden dabei dokumentiert. Anschließend werden die verschlossenen Behälter in das Zwischenlager transportiert und dort eingelagert. Bei einem Brennelement, das in einem CASTOR-Behälter im Zwischenlager Philippsburg aufbewahrt wird, wurde bei einer nachträglichen Überprüfung eine Abweichung bei der Nutzungsdauer bei der Berechnung von Daten dieses Brennelements festgestellt. (BGZ 2020i)

6.4 Die ARTEMIS-Mission

Vom 22. September 2019 bis zum 4. Oktober 2019 fand die erste IAEA Überprüfungsmission für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente (ARTEMIS-Mission) in Deutschland statt. Deutschland ist damit seiner Verpflichtung aus Artikel 14 Absatz 3 der Richtlinie 2011/70/EURATOM nachgekommen. Zum Abschluss der Mission überreichte die IAEA Deutschland einen Abschlussbericht. Das Expertenteam hat auf zukünftige Herausforderungen aufmerksam gemacht. Insgesamt wurden drei Empfehlungen (*Recommendations*) sowie 12 Hinweise (*Suggestions*) ausgesprochen.

Als international angesehene „Gute Praxis“ befanden die internationalen Experten die Einrichtung eines unabhängigen Beirats zur Öffentlichkeitbeteiligung, des Nationalen Begleitgremiums (NBG).

Die IAEO empfiehlt, dass die Regierung ein Verfahren zur regelmäßigen Überwachung des Fortschritts des nationalen Programms zur Stilllegung und Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente einschließlich der damit verbundenen Kosten, Zeitrahmen und Abhängigkeiten zwischen den Projekten einführen solle.

Zu den Hinweisen gehören folgende Punkte:

- Die Regierung sollte erwägen, einen Notfallplan für die Reparatur von Lagerbehältern und die Umlagerung abgebrannter Brennelemente im Falle einer Beschädigung aufzustellen.
- EWN sollte in Erwägung ziehen, das neue ESTRAL-Lager so zu konzipieren, dass es eine Lebensdauer hat, die mit der geplanten Verfügbarkeit des tiefeingeologischen Endlagers übereinstimmt, das voraussichtlich nicht vor 2050 in Betrieb gehen wird.
- In Anbetracht der langen Zeiträume der Projekte sollte die Regierung die Festlegung zusätzlicher Zwischenziele als zentrale Erfolgsindikatoren in Betracht ziehen.

Das Bundesumweltministerium (BMU) will Vorschläge zur Umsetzung der Empfehlungen und Hinweise erarbeiten und muss diese mit den an der ARTEMIS-Mission beteiligten Ländern sowie den beteiligten nachgeordneten Behörden abstimmen. Nach Annahme dieses Prozesses soll die konkrete Umsetzung mit dem Ziel einer ARTEMIS-Follow-up Mission in 2023 erfolgen. (IAEA 2019)

6.5 Einfluss der verlängerten Zwischenlagerung auf die Endlagerung

Auf ein Problem wurde von der GRS auf der Fachtagung zur Zwischenlagerung im November 2021 hingewiesen: Die Zwischenlagerung ist strukturell von der Suche nach einem Endlager getrennt. Im Genehmigungsverfahren zur Zwischenlagerung erfolgt bisher nur indirekt eine Betrachtung der Endlagerfähigkeit, jedoch nur in Bezug auf die Handhabbarkeit des Behälters sowie den Ausschluss des systematischen Versagens der Hüllrohre. Die Auswirkungen der (verlängerten) Zwischenlagerung auf das Verhalten der Inventare im Endlager sind nicht Teil der Genehmigungen.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens (KombiLyse) erfolgt eine Betrachtung der Erfordernisse einer verlängerten Zwischenlagerung und der potenziellen Auswirkungen auf die Endlagersicherheit sowie eine Analyse möglicher Optionen für Maßnahmen während der Zwischenlagerung. Der Fokus liegt bei der Bewertung der relevanten Einflüsse aus der Zwischenlagerung auf der Radionuklidmobilität im Endlager und der Ableitung von Handlungsoptionen in der Zwischenlagerung. Zu klärende Fragen sind: das Verhalten des Inventars und seiner Umschließungen, während der (verlängerten) Zwischenlagerung, Bestimmung von Faktoren aus der Zwischenlagerung, die Einfluss auf die Radionuklidmobilität im Endlager haben können und Maßnahmen, die gegebenenfalls während der Zwischenlagerung ergriffen werden können, um negative Auswirkungen auf die Radionuklidmobilität im Endlager zu verhindern. (SENTUC 2021)

6.6 Bewertung

Für lange Zwischenlagerzeiten (mehr als 40 Jahre) liegen bisher keine ausreichenden Erfahrungen vor. Möglicherweise werden Schadensmechanismen die Integrität des Inventars gefährden, die für eine 40-jährige Lagerzeit ausgeschlossen wurden. Der Stand von Wissenschaft und Technik muss durch gezielte Forschung weiterentwickelt werden. Die Zielsetzung des BGZ-Forschungsprogramms ist jedoch nicht ausreichend, da von einem Start der Einlagerung in ein Endlager für das Jahr 2050 ausgegangen wird. Laut BGZ wäre dann nur für wenige BE eine Lagerzeit von 40 Jahren überschritten und auch nur von BE mit geringen Abbränden, bei denen die wenigsten Schäden erwartet werden.

Für das Inventar erfolgte bisher der Kenntniserwerb primär über Beteiligung an internationaler Forschung. Die Versuche und Erkenntnisse sind nur bedingt übertragbar auf die deutsche Zwischenlagerung, weil in Deutschland höher angereicherte BE eingesetzt werden. Eine direkte Validierung mit aktuell frei verfügbaren Daten ist nur bedingt möglich. Für Brennstoffe mit hohem Abbrand (mehr als 45

GWd/t), sowie für MOX-Brennstoff (insbesondere bei hohem Anfangsplutoniumgehalt) und im Allgemeinen für lange Lagerzeiten (mehr als 40 Jahre) liegen keine ausreichenden Erfahrungen vor. Zudem muss die Belastbarkeit der Aussagen durch Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen ermittelt werden. (GRS 2019b)

Die BGZ führt nun in Schweden mit dem Projekt „LEDA“ auch ein eigenes Forschungsprogramm zum Hüllrohrverhalten unter Bedingungen der verlängerten Zwischenlagerung durch. Die zu untersuchenden Brennstabsegmente repräsentieren laut BGZ bestmöglich die in Deutschland eingesetzten Brennstäbe bezüglich der eingesetzten Hüllrohrmaterialien, Brennstoffe und Bestrahlungshistorien. Informationen, welche Brennstabsegmente untersucht werden, die „bestmöglich“ repräsentativ sein sollen, hat die BGZ bisher nicht zur Verfügung gestellt. Auch Ergebnisse wurden noch nicht öffentlich.

Die BGZ verweist weiterhin auf das internationale Projekt der OECD/NEA „SCIP IV“, das eine Vielzahl der von der BGZ identifizierten Forschungsfragen adressiert, die auch zum Teil in für Deutschland relevanten Parameterbereichen durchgeführt werden. Es läuft seit 2019 und noch bis 2024. Die ersten Ergebnisse dieses Programms könnten dargestellt werden.

Im Rahmen des Projekts „SpizWurz“ werden in den Heißen Zellen des Karlsruher Institutes für Nukleare Entsorgung (KIT-INE) experimentelle Bestimmungen der realen elastischen Dehnung im Brennstabhüllrohr nach über 30 Jahren Lagerung durchgeführt. Die BGZ ist an dem Projekt nur als Beobachter beteiligt. Bei der Probe handelt es sich um **eine** Zircaloy-4-Hüllrohrprobe aus dem DWR Obrigheim. Das Projekt läuft von Juni 2020 bis Juni 2023. Die Ergebnisse sollten vorgestellt werden.

In den USA wurde die Zwischenlagerung in Transport- und Lagerbehältern mit einem Forschungsprogramm begleitet. In diesem Rahmen wurde ein Behälter nach 15 Jahren Zwischenlagerung geöffnet. Laut NEUMANN (2014) lassen die Ergebnisse aus den USA keine direkten Schlüsse für die Zwischenlagerung in Deutschland zu, da sich Brennelemente und Lagerbedingungen unterscheiden. Aber aus den Untersuchungsergebnissen kann eine Empfehlung zur Kontrolle der Behälterinnenräume auch in Deutschland abgeleitet werden. Aufgrund der notwendigen Verlängerung der Lagerzeit wäre es laut NEUMANN (2014) dringend erforderlich, den Zustand des Behälterinventars zu überprüfen. Dies sollte für ausgewählte Behälter erfolgen, die ein repräsentatives Spektrum von Behältertyp, Behälterinventar und Beladevorgang abdecken.

Es ist zurzeit nicht vorgesehen, Behälter zu öffnen. Es wird aber von fast allen Expertinnen und Experten immer wieder auf die Notwendigkeit hingewiesen, dass reale Daten über den Zustand im Behälter erforderlich sind, um Prognosen aufzustellen oder auch die diesbezüglichen Programme verifizieren zu können.

Im Oktober 2019 erklärte das BfE (jetzt BASE) auf einem Fachworkshop der BGZ zur Zwischenlagerung, es sollen hinsichtlich des Alterungsmanagements der Behälter auch die möglichen neuen Forschungsbedarfe bewertet werden. Dazu gehört auch die Frage, ob für experimentelle Untersuchungen an Behältern der Bedarf einer „Heißen Zelle“ besteht. Ebenso muss ein „Was-wäre-wenn“-Plan für den Fall eines Bedarfs zum Umladen von Inventaren in andere Behälter erstellt werden. (BfE 2019b) Die BfE erwartet, dass die BGZ den Bedarf einer „Heißen Zelle“ zur Untersuchung und ggf. Reparatur von Behältern prüft und auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse dazu begründet Stellung nimmt. Falls die BGZ dies bereits gegenüber der Aufsichtsbehörde erklärt hat, ist dies nicht bekannt. Die BGZ sollte die wissenschaftliche Begründung auch gegenüber der Öffentlichkeit erläutern. Dabei sollten die neuen Zeithorizonte (laut ESK kann sich die Lagerdauer verdreifachen) berücksichtigt werden.

Bemerkenswert ist, dass auch die IAEO im Rahmen der 2019 durchgeführten ARTEMIS Mission geraten hat, einen Notfallplan für die Reparatur von Lagerbehältern und die Umlagerung abgebrannter Brennelemente im Falle einer Beschädigung aufzustellen.

Detailliertere Untersuchungen im Rahmen eines internationalen Forschungsprojekts³⁶ zeigen, dass reale Brennstabtemperaturen deutlich niedriger als die bislang konservativ unterstellten Temperaturen sind. Geringere Temperaturen führen zu geringeren Brennstab-Innendrücken und zu insgesamt weniger radialen Hydridausscheidungen und damit geringerer Versprödung. (BAM 2019b) Auch wenn detailliertere Untersuchungen einerseits zeigen, dass reale Brennstabtemperaturen deutlich niedriger als die bislang konservativ unterstellten Temperaturen sind, liegen andererseits bisher fast keine Langzeiterfahrungen/Untersuchungen zu Hochabbrand-Brennelementen vor. Je höher die Temperatur, desto stärker ist der Einfluss von Alterungseffekten, daher werden die Alterungseffekte von hoch-abgebrannten Brennelementen stärker sein als von vor Jahrzehnten eingesetzten Brennelementen, die jetzt seit längerer Zeit in Zwischenlagern aufbewahrt werden.

Sehr langsame Abkühlprozesse, wie sie in der verlängerten Zwischenlagerung vorkommen, führen zu einer Versprödung der Hüllrohre. Für Hüllrohre bestrahlter Brennelemente kann eine erhöhte Sprödbruchempfindlichkeit bei mechanischen Belastungen bis zu nachfolgendem Hüllrohrversagen bei Handhabungsvorgängen bzw. Transporten nicht ausgeschlossen werden. Für eine verlässliche Vorhersage der Hüllrohr- bzw. Brennelementintegrität nach verlängerter Zwischenlagerung müssen Degenerierungseffekte bekannt sein und verlässlich beschrieben werden können.

Ein Öffnen bereits abgefertigter TLB erscheint der ESK nach heutigem Erkenntnisstand nicht erforderlich. Die ESK weist jedoch darauf hin, dass sofern noch Wissenslücken hinsichtlich des Inventars und seiner Eigenschaften für die zu führenden Genehmigungsverfahren bestehen, dafür in Deutschland nur die bis 2027 noch nicht in Behälter geladenen Brennelemente zur Verfügung stehen. Insofern müssten die Entscheidungen für derartige Untersuchungen zügig getroffen werden. (ESK 2023)

Für die Sicherheitsbewertungen der langen Lagerzeiten müssen zuverlässige Prognosen aufgestellt werden. Dazu müssen für eine geeignete repräsentative Auswahl von Behältern Untersuchungen im Behälter-Inneren erfolgen. Die Frage ist, ob jetzt eine Überwachung an den letzten noch zu beladenden Behältern installiert werden könnte oder sollte, wie dies z. B. in den USA erfolgte. Die ESK empfiehlt ein Überwachungsprogramm, aus dem sicher geschlossen werden kann, dass die Behälter transportfähig sind. Dieses Überwachungsprogramm sollte schnell festgelegt werden.

Eine nicht-invasive Zustandsüberwachung des Behälterinventars kann eine gute Möglichkeit zur Überwachung der Behälter darstellen. Allerdings erst, wenn die verwendeten Methoden ausreichend validiert sind. Dieses kann nur mit Gewinnung von realen Daten erfolgen. Fachlich vorstellbar ist nur die Gewinnung von realen Daten über den Zustand und die Veränderung von Inventaren aus dem Inneren der gelagerten Behälter.

WAGNER (2019) trug zur Zustandsüberwachung der Behälter bei der verlängerten Zwischenlagerung vor, dass die Sensitivität der strahlungsbasierten Methoden ausreichend ist, aber ihre Praxistauglichkeit noch getestet werden muss. Thermographie ist hingegen nicht geeignet für die Langzeitzustandsüberwachung. Myonenbildgebung bietet eine hohe Sensitivität, muss aber noch entwickelt werden. Laut BGZ soll mit einem Forschungsverbund zur Überwachung mit Myonen dieses Verfahren weiterentwickelt werden. Im Forschungsprojekt DCS-Monitor II sollen Ansätze für ein validiertes und einsetzbares Monitoringverfahren für CASTOR®-Behälter entwickelt werden. Die Laufzeit des Projekts war bis Ende März 2023. Insofern sollten die Ergebnisse bereits bekannt sein und könnten vorgestellt werden.

³⁶ Ein US Forschungsprogramm, an dem deutsche Institute teilhaben können, ist das Forschungsprogramm „Extended Storage Collaboration Program (ESCP)“ der Electric Power Research Institute (EPRI). 2009 wurde das ESCP gestartet mit dem Ziel, die technische Basis zur Sicherstellung der verlängerten Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente sowie deren anschließenden Transport zu erweitern. An dem ESCP-Programm nehmen circa 600 Teilnehmer*innen aus 19 Ländern teil und an den halbjährlichen Treffen jeweils mehr als 150 Teilnehmer*innen.

Zu bedenken ist zur Bewertung des langfristigen Zustands der Hüllröhre auch, dass Vorkommnisse im Betrieb der deutschen Reaktoren – wie die erhöhten Oxidschichtdicken an Brennelement-Hüllrohren – Auswirkungen auf die gelagerten Inventare in der Zwischenlagerung haben. Es traten im Reaktorbetrieb im letzten Jahrzehnt vielfach Brennelementschäden auf, die die Eigenschaften der Hüllrohre beeinflussen und Zweifel an den Prognosen über die Langzeitsicherheit aufkommen lassen. Zudem zeigten sich Fehler bei der Dokumentation der Beladung der Behälter.

Aktuell sieht die BGZ weder für BE aus Forschungs- und Prototypreaktoren noch für die hoch-radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufbereitung einen Forschungsbedarf, um den Nachweis der Einhaltung der Schutzziele auch für die verlängerte Zwischenlagerung zu erbringen. Die BFE (jetzt BASE) hatte erklärt: Forschung zum Alterungsmanagement muss sich rechtzeitig (auch) mit massenmäßig geringen Inventaren beschäftigen³⁷, das betrifft auch die Frage, ob die Kokille als Barriere im Sinn des sicheren Einschlusses langfristig sicher ist. (BFE 2019b)

Die ESK (2015) erklärte, es solle in plausiblen Zeitabständen verifiziert werden, ob es neue Erkenntnisse zu relevanten Eigenschaftsveränderungen bei HAW-Glaskokillen gibt. Der Kenntnisstand zu relevanten Eigenschaftsveränderungen von THTR- und AVR-Brennelementen unter Lagerbedingungen ist verhältnismäßig gering, so dass verifiziert werden sollte, dass keine relevanten Eigenschaftsveränderungen auftreten. Hinzuweisen ist noch, dass die im ESTRAL aufzubewahrenden Behälter alle mit sehr speziellen BE und anderen radioaktiven Abfällen befüllt sind, sodass es umso schwerer ist, Prognosen zu ihrem Zustand zu treffen.

Auch die wichtige Thematik „**Einfluss der verlängerten Zwischenlagerung auf die Endlagerung**“ ist im Rahmen des BGZ-Forschungsprogramms bisher nicht adressiert. Dieses sollte bei der nächsten Aktualisierung erfolgen.

7 Unzureichender Schutz gegen Terrorangriffe und kriegerische Einwirkungen

Eine große Menge (mehr als 10.000 Tonnen Schwermetall) an hoch-radioaktivem Material muss in Deutschland noch für einen langen Zeitraum oberirdisch gelagert werden. Neben den Fragen der Sicherheit sind auch Aspekte der Sicherung von großer Bedeutung.

Unter dem Begriff der Sicherung von Atomanlagen wird in Abgrenzung zum Begriff der Sicherheit der Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (kurz SEWD) verstanden. Besonders relevant aus dem Bereich Sicherung ist der Schutz gegen Terroranschläge.

Auf die Gefahr eines terroristischen Angriffs auf ein Zwischenlager wird mit Bezug auf die Ereignisse am 11.09.2001 auch von der EU-Kommission hingewiesen. (EU KOM 2002)

7.1 Nachrüstungen gegen SEWD-Ereignisse

Die Basis für die Sicherung von Zwischenlagern bildete zunächst der inhärente Schutz durch den Transport- und Lagerbehälter selbst. Es wurde davon ausgegangen, dass dieser einen ausreichenden Schutz gegen die bei ortsfesten kerntechnischen Einrichtungen zu unterstellenden gewaltsamen Einwirkungen bietet. Das Zwischenlagergebäude musste daher baulich nicht so ausgeführt werden wie die sicherheitsrelevanten Gebäude eines Atomkraftwerkes.

Sowohl die Szenarien als auch die festgelegten Sicherungsmaßnahmen werden regelmäßig überprüft und zwischen dem BMU, den atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsbehörden, den Innenbehörden des Bundes und der Länder, dem BfE (heute BASE), den Sicherheitsbehörden des Bundes sowie

³⁷ „Jenseits der großen Massen können gleichwohl große Fragen liegen.“

Sicherheitsexperten abgestimmt. Die beteiligten Bund-Länder-Gremien im Bereich der Sicherung sind der Arbeitskreis Sicherung und die Kommission "Sicherung und Schutz kerntechnischer Einrichtungen" (KoSikern).³⁸

Unter Leitung des Bundesumweltministeriums hatten sich 2010 die o.g. Behörden mit den Betreibern auf ein gemeinsames generisches Sicherungskonzept zur Nachrüstung der Zwischenlager verständigt. Aufgrund eines Erlasses des BMU vom 28. März 2011 forderte dann das BfS (jetzt BASE) als Genehmigungsbehörde die Betreiber von Zwischenlagern mit Schreiben vom 15. April 2011 auf, die zur Verbesserung der Sicherungsmaßnahmen der Zwischenlager erforderlichen Maßnahmen einzuleiten. (DBT 2016)

Für alle Zwischenlager wurde daher in einer Änderungsgenehmigung zur bestehenden Genehmigung eine „Erweiterung des baulichen Schutzes gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD)“ beantragt. Laut BMU hatte sich zu bestimmten Angriffsszenarien im Nahbereich der Transport- und Lagerbehälter, die zu Schutzzielverletzungen führen können, die Bewertung und Erkenntnislage derart verändert, dass die Sicherungsmaßnahmen optimiert werden müssen. Dazu werden bauliche Maßnahmen und – bis zu deren Umsetzung – temporäre Maßnahmen durchgeführt. Einzelheiten zu den neuen Erkenntnissen, den Lastannahmen³⁹ und den Sicherungsmaßnahmen unterliegen der Geheimhaltung und können daher laut Bundesregierung öffentlich nicht genannt werden, um ihre Wirksamkeit nicht zu gefährden. (BMUB 2012)

Mit den Maßnahmen wird im Wesentlichen das Ziel verfolgt, die Außenwände der SZL bis in eine spezifische Mindesthöhe soweit zu verstärken, dass sie der **geforderten Barriereklasse** entsprechen. Die erforderliche Klassifikation der Außenwände wird in einzelnen SZL bereits durch die vorhandene Baustruktur erreicht. Für die Lagergebäude nach STEAG-Konzept⁴⁰ sollen Verstärkungen insbesondere am Sozial- und Betriebsgebäude erfolgen. Für Lagergebäude nach WTI-Konzept⁴¹ sind in Bereichen mit geringer Wandstärke in einem bestimmten Abstand zur **Außenwand Stahlbetonwände geplant, mit deren Hilfe die erforderliche Barriereklasse** erreicht wird. Der Bereich zwischen Zusatzwand und Lagergebäude soll überdacht werden.

Es ist vorgesehen eine Schutzwand aus Stahlbeton von einer Höhe von ca. 10 m im Abstand von 2,40 m an den Längsseiten zu errichten. Die zusätzlichen Schutzwände werden aus Stahlbeton mit einer Wandstärke von 85 cm und einer Höhe von 10 m ausgeführt. Die Wandstärke hat die gleiche Dicke wie die Außenwände des Lagergebäudes nach dem WTI-Konzept. Des Weiteren werden, sofern erforderlich, bei allen Lagergebäuden die Gitter in Lüftungs- und anderen Öffnungen ausgetauscht sowie Außentüren und Tore der Lagergebäude so ersetzt, dass auch sie **die erforderliche Barriereklasse** aufweisen.

Durch die geplanten Maßnahmen zur Anlagensicherung ist mit Rückwirkung auf das jeweilige SZL und das zugehörige Terrain zu rechnen, welche es in den Genehmigungsverfahren zu untersuchen gilt. Die Antragstellerin hat den Nachweis zu erbringen, dass erhöhte Lasten durch getauschte Türen und Tore in massiveren Bauausführungen auch weiterhin erfolgreich durch das Bauwerk abgetragen werden. Der Personenzugang zum SZL erfolgt durch eine vorgebaute Vereinzelungsanlage an der Gebäudelängsseite.

³⁸ Beim Arbeitskreis Sicherung handelt es sich um einen Arbeitskreis des Fachausschusses Reaktorsicherheit des Länderausschusses für Atomkernenergie. Die KoSikern ist eine Kommission des Unterausschusses Führung, Einsatz, Kriminalitätsbekämpfung des Arbeitskreises II der Innenministerkonferenz.

³⁹ In den sogenannten Lastannahmen werden u.a. Täterverhalten und Tatabsichten, zu unterstellende Waffen und Hilfsmittel festgelegt. Gegen diese Szenarien muss eine Atomanlage ausreichend geschützt sein.

⁴⁰ Nordlager: Brokdorf, Unterweser, Brunsbüttel, Lingen, Krümmel, Grohnde

⁴¹ Südlager: Grafenrheinfeld, Isar, Gundremmingen, Philippsburg, Biblis

Das neue Sicherungskonzept für die Zwischenlager wurde in der 2012 veröffentlichten Richtlinie zur Sicherung von Zwischenlagern gegen SEWD festgeschrieben. Ein wesentliches Charakteristikum des veränderten Sicherungskonzepts ist, dass nunmehr die Betreiber das Eindringen einer umfangreich mit Hilfsmitteln ausgestatteten Tätergruppe in das Lagergebäude und somit das Einwirken auf die Behälter von innerhalb des Lagergebäudes zu verhindern haben. Zentraler Bestandteil des Sicherungskonzepts ist eine lückenlose Barrierelinie bestehend aus Baustrukturen aus Stahlbeton und Öffnungsverschlüssen (Türen, Tore, Gitter) zum Schutz des inneren Sicherungsbereichs, die unter Zuhilfenahme der in den Lastannahmen beschriebenen Hilfsmittel nicht innerhalb der Verzugszeit überwunden werden kann.

Lubmin

Das vom Betreiber (Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH - EWN) zunächst entwickelte und beantragte Konzept zur SEWD-Nachrüstung für das **Zwischenlager Nord in Lubmin** erwies sich als nicht genehmigungsfähig. Die EWN zog daher den betreffenden Genehmigungsantrag am 20. Juli 2015 zurück.

Das Zwischenlager Nord (ZLN) liegt direkt am Betriebsgelände des stillgelegten AKWs Greifswald. Betreiber ist die bundeseigene EWN. Das derzeitige Zwischenlager besteht aus einem achtschiffigen Hallenkomplex zur Lagerung radioaktiver Abfälle, an den ein weiterer Teil mit Behandlungseinrichtungen zur Konditionierung von Abfällen angeschlossen ist. Die Hallen 1 bis 7 dienen der Aufnahme nicht wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle⁴², die Halle 8 der Aufnahme von Kernbrennstoffen.⁴³ Aktuell befinden sich insgesamt 74 Behälter⁴⁴ in Halle 8 des Zwischenlagers Nord, weitere Einlagerungen sind bisher nicht vorgesehen. Die derzeitige Aufbewahrungsgenehmigung gilt bis zum 31. Oktober 2039. (BFE 2016a)

Im Mai 2019 beantragte die EWN GmbH den Bau eines neuen Zwischenlagers für Castoren in Lubmin. Grund sind die erhöhten Sicherheitsanforderungen. Die Castoren werden frühestens Ende 2027 umgelagert werden können. Laut Betreiber und Genehmigungsbehörde sorgen **temporäre Maßnahmen** derzeit für ausreichenden Schutz. Mit temporären Maßnahmen müssen die Betreiber so lange ein ausreichendes Sicherungsniveau sicherstellen bis die erforderliche bauliche und sonstige technische Nachrüstung des jeweiligen Zwischenlagers abgeschlossen ist. Es handelt sich im Wesentlichen um personelle sowie administrative Maßnahmen. Grundsätzlich haben aus Sicht der Bundesregierung bauliche und sonstige technische Maßnahmen Vorrang vor personellen Maßnahmen.

Auch für andere Zwischenlager wie die Lagerhalle in Gorleben sollten temporäre Maßnahmen den Schutz vor SEWD-Ereignissen gewährleisten. Einzelheiten zu den o. g. Sicherungsmaßnahmen unterliegen der Geheimhaltung und dürfen öffentlich nicht genannt werden, um die Wirksamkeit der Maßnahmen nicht zu gefährden. Die dortige Lagerhalle dient im Rahmen ihrer genehmigten Auslegung während der Lagerzeit als Schutz vor äußeren Einwirkungen (u. a. Witterungseinflüsse) für die Behälter. Die Lagerhalle mit ihren 50 cm starken Außenwänden und der Decke aus 20 cm Stahlbeton muss keine Sicherheitsfunktionen für die Behälter übernehmen. Am 21.06.2018 erteilte das BfE (jetzt BASE)

⁴² Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde für die Hallen 1 bis 7 sowie die Behandlungseinrichtungen des Zwischenlagers Nord ist das Ministerium für Inneres und Sport Mecklenburg-Vorpommern.

⁴³ In Halle 8 des Zwischenlagers Nord ist ein kleiner Platz für die staatliche Verfahrung von Kernbrennstoffen reserviert: Für den Fall, dass beispielsweise bei Grenzkontrollen kleinere Mengen an Kernbrennstoffen aufgefunden werden, muss der Staat die sichere Aufbewahrung sicherstellen. Hierfür sind vorsorglich drei Behälterstellplätze im Zwischenlager Nord angemietet, die aber derzeit nicht genutzt werden.

⁴⁴ 59 Behälter mit Brennelementen aus dem AKW Greifswald, 6 Behälter mit Brennelementen aus dem AKW Rheinsberg, 4 Behälter mit Brennstäben aus Karlsruhe und dem Forschungsschiff "Otto Hahn" und 5 Behälter aus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe.

die 6. Änderungsgenehmigung zur Erweiterung des baulichen Schutzes des TBL Gorleben gegen Störmaßnahmen und sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD). (NLT 2019) Die „Härtung“ des Transportbehälterlagers (TBL) Ahaus wurde 2016 genehmigt und bis 2020 umgesetzt.

Ende Dezember 2020 gab die BGZ bekannt, dass nach Abschluss eines mehrjährigen Bauvorhabens die Anlagensicherung des Brennelemente-Zwischenlagers Krümmel nun technisch unabhängig vom benachbarten AKW ist. Zu den nun in Betrieb genommenen Einrichtungen zählen – neben einer zusätzlichen Stahlbetonwand am Zwischenlager – ein neues, eigenständiges Wachgebäude für den Objektsicherungsdienst, ein spezieller Durchfahrtschutz und eine autarke, eigene Sicherungszaunanlage der BGZ. Während der Bauzeit von mehr als vier Jahren arbeiteten in der Spitze bis zu 40 Handwerker auf dem Grundstück. Der Leiter des Zwischenlagers erklärt: *„Damit gewährleisten wir die sichere Zwischenlagerung der Brennelemente des stillgelegten Kernkraftwerks bis zu deren Endlagerung.“* (BGZ 2020b)

Für die anstehende bautechnische Nachrüstung der Anlagensicherung des SZL Philippsburg lagen erst 2020 alle genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen vor. BASE hatte die 8. Änderungsgenehmigung für das SZL Philippsburg erst am 27.10.2020 erteilt. (BGZ 2020a) Für Brokdorf wurde die entsprechende Genehmigung erst am 7. Juli 2022 erteilt. Laut DBT (2018e) können nach den bisherigen Erfahrungen von der Erteilung der Genehmigung bis zum Abschluss der Umsetzung der Härtungsmaßnahmen etwa vier Jahre vergehen.

Bewertung

In den norddeutschen Zwischenlagern⁴⁵ nach dem STEAG-Konzept (Stärke der Wand: ca. 120 cm, Stärke der Decke: 130 cm) soll das Lagergebäude zumindest einen gewissen Schutz vor Einwirkungen von außen gewährleisten. In den süddeutschen Zwischenlagern⁴⁶ nach dem WTI-Konzept (Stärke der Wand: ca. 85 cm, Stärke der Decke: ca. 55 cm) sowie in den zentralen Zwischenlagern (Wand- und Deckenstärke 20-50 cm) sollten im Wesentlichen nur die Behälter selbst den Schutz vor Einwirkungen von außen gewährleisten.

Nachrüstmaßnahmen sind aber für alle deutschen Zwischenlager erforderlich und 2011 auch an allen Standorten beantragt worden. Zwölf Jahre später sind noch immer nicht an allen Standorten die erforderlichen Nachrüstungen umgesetzt, die letzten Genehmigungen wurden erst 2020 (Philippsburg) und 2022 (Brokdorf) erteilt. Die Nachrüstungen benötigen ab Genehmigung etwa vier Jahre. Zudem fehlen immer noch bei vier der 16 Zwischenlager die Genehmigungen. Es fehlen die Genehmigung für das SZL Grohnde; weiterhin für die Lager in Brunsbüttel und Jülich, die zurzeit keine gültige Betriebsgenehmigung haben, sowie für das Zwischenlager Nord. Für das Zwischenlager Nord sind die geplanten „Härtungen“ nicht durchführbar, daher ist ein Neubau der Halle geplant.

Im Wesentlichen werden die Lagerhallen entlang einiger Wände durch eine zusätzliche zehn Meter hohe und nur 85 cm dicke Mauer geschützt. Auch der Zugang der Hallen wird verändert, so dass ein Eindringen von Unbefugten erschwert wird. Die Vereinzelnungsanlage erschwert insbesondere den unbefugten Zugang. Ob damit allerdings jeglicher unbefugte Zugang in die Halle verhindert werden kann, ist nicht belegt. Der Umfang und die Zielsetzung der Nachrüstungen sind nicht öffentlich. Diese Nachrüstungen an den bestehenden Zwischenlagern können die Gefährdung durch einen Terroranschlag geringfügig verringern.

Die Bundesregierung erklärte, dass sie sich mit den Betreibern auf die Nachrüstungen geeinigt hat. Damit wird deutlich, dass nicht die Nachrüstungen erfolgen, die aufgrund der bestehenden Sicherheitsdefizite erforderlich sind, sondern jene, die dem Betreiber zumutbar sind.

⁴⁵ Brunsbüttel, Krümmel, Unterweser, Lingen, Grohnde, Brokdorf

⁴⁶ Gundremmingen, Grafenrheinfeld, Philippsburg, Isar, Biblis

Es geht bei den Nachrüstungen nicht um Schutz gegen bestimmte Szenarien, sondern dass der Schutz der Gebäude der geforderten Barriereklasse bzw. Widerstandsklasse entspricht.

Im Antragsverfahren wird nicht die Wirksamkeit der Härtungsmaßnahmen nachgewiesen, sondern lediglich, dass von dieser Maßnahme keine negative Rückwirkung auf die Lagerung ausgeht. Zu bedenken ist, dass die Gebäude ursprünglich eine untergeordnete sicherheitstechnische Bedeutung hatten und heutzutage einen Anteil am Schutz vor SEWD haben sollen. Da die Hallen bereits gebaut sind, ist durch Nachrüstungen nur eine bedingte Verbesserung der Situation möglich. Die Halle, die in Lubmin neu gebaut wird, wird einen deutlich besseren baulichen Schutz gewährleisten.

Aufgrund des Aufbaus der Halle in Lubmin lassen sich die baulichen Nachrüstungen nicht wie an den anderen Zwischenlagern durchführen. Offenbar versuchte der Betreiber mit administrativen Maßnahmen einen Neubau der Halle zu umgehen. Aus fachlicher Sicht ist es kritisch zu sehen, dass der ungeklärte Zustand im Zwischenlager Lubmin, obwohl Defizite bestehen, Jahre anhält. Auch in Hinblick auf die erforderlichen Verlängerungen der Genehmigungen der bestehenden Zwischenlager ist dieses langwierige Vorgehen bedenklich. Die Inbetriebnahme wird frühestens 2027 erfolgen. Mindestens 17 Jahre nach der Feststellung eines ungenügenden Schutzniveaus bis zur möglichen Beseitigung eines Defizits, ist unter Risikoaspekten ein sehr langer Zeitraum.

Vor allem aber ist geplant, dass mit den durchgeführten Maßnahmen, die *sichere Zwischenlagerung der Brennelemente bis zu deren Endlagerung gewährleisten wird*.

Anzumerken ist, dass sich inzwischen Lagersysteme auf dem Markt befinden, die gegen Terroranschläge ausgelegt sein sollen: Für amerikanische Zwischenlager wurde ein Lagersystem für die Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen (HI-STORM UMAX) entwickelt, in welchem die Behälter einzeln in Löcher in den Boden versenkt werden. Die Verbesserung der Lagertechnologie war als Folge der Terroranschläge vom 11. September 2001 erfolgt. (HOLTEC 2017)

Die Forschungsplattform ENTRIA untersuchte als eine Entsorgungsoption eine obertägige oder oberflächennahe Zwischenlagerung auch für sehr lange Zeiträume von ggf. mehreren hundert Jahren. Laut ENTRIA kann dem umgebenden Bauwerk der größte Teil der Schutzfunktion zugewiesen werden. Seine Komponenten müssen entsprechend ausgebildet werden, in einem obertägigen Bauwerk z. B. durch dicke Wände und sehr robuste Konstruktionen, um auch extremen Einwirkungen während der gesamten Nutzungsdauer widerstehen zu können. Alternativ kann der Lager- bzw. Abfallbehälter selbst derart ausgeführt werden, dass er den maßgebenden Einwirkungen standhält. In diesem Fall wären an die Bauwerkskomponenten geringere Anforderungen zu stellen. (ENTRIA 2017)

Die Ergebnisse von ENTRIA bezüglich der Anforderungen an eine sehr lange oberflächennahe Zwischenlagerung sollten in den Sicherheitsanforderungen für die erforderlichen langen Genehmigungszeiträume für die Zwischenlager berücksichtigt werden.

Die Aussage des Leiters des Zwischenlagers in Krümmel belegt, dass es nicht für nötig erachtet wird, eine Erhöhung des Sicherheitsstandards für die restliche Betriebszeit zu implementieren.

7.2 Konsequenzen aus dem Brunsbüttel-Urteil

Die Gewährleistung des erforderlichen Schutzes gegen SEWD für Zwischenlager ist Genehmigungsveroraussetzung gemäß Atomgesetz (§ 6 (2) Nr. 4).

2013 hob das OVG Schleswig aufgrund einer Klage eines Anwohners die Genehmigung für das Standort-Zwischenlager (SZL) Brunsbüttel auf. In der Klage ging es um die Frage, ob die möglichen Auswirkungen eines gezielten Flugzeugabsturzes und eines Beschusses mit panzerbrechenden Waffen im Genehmigungsverfahren ausreichend geprüft wurden. Das Gericht stellte dabei mehrere Ermittlungs- und Bewertungsdefizite fest.

Die Genehmigungsbehörde, das BfS (heute BASE), vertritt die Auffassung, dass das Urteil des OVG Schleswig nicht auf Basis einer festgestellten unzureichenden Sicherheit des Zwischenlagers erfolgt sei.

Aufgrund von Geheimhaltungsverpflichtungen sei es nicht möglich gewesen, dem Gericht in der gewünschten Detailtiefe darzulegen, dass die Genehmigung für das Zwischenlager Brunsbüttel den nach dem Atomgesetz erforderlichen Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD) gewährleistet. (BfS 2015d)

Laut BASE hilft Forschung, die Bewertung möglicher Freisetzungen in Folge von SEWD realistischer zu gestalten. Das BASE erklärt, es sollten weiterhin geeignete Wege gesucht werden, um der Öffentlichkeit die wesentlichen Inhalte der sicherungstechnischen Prüfungen in Genehmigungsverfahren nachvollziehbarer darstellen zu können.

Die Verantwortung für den Schutz von Leben und Gesundheit bezieht sich auch auf gezielt herbeigeführte Flugzeugabstürze. Die Prüfung dieses Szenarios liegt in der Zuständigkeit des jetzigen Betreibers der Zwischenlager (BGZ). Sicherheitsfragen sind frühzeitig und umfassend in der Bewertung der zukünftigen Zwischenlagerung zu berücksichtigen. (BfE 2019b)

Bewertung

Dem dezentralen Brennelemente-Zwischenlager Brunsbüttel wurde durch ein Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes die Aufbewahrungsgenehmigung entzogen. Laut BGZ erfolgte das Gerichtsurteil nicht wegen einer unzureichenden Sicherheit des Zwischenlagers. Bemängelt wurde im Urteil der Umfang der Ermittlungen und Bewertungen im Genehmigungsverfahren.

Zwar ist ein Gericht nicht für die Prüfung der Sicherheit einer kerntechnischen Anlage zuständig, aber faktisch bedeutet die Feststellung von Ermittlungs- und Bewertungsdefiziten in den Sicherheitsanalysen im Genehmigungsverfahren, dass die Sicherheit nicht nachgewiesen ist. Bei einer genauen Betrachtung des entsprechenden Urteils wird deutlich, dass sich der Senat des OVG inhaltlich tief in die Materie eingearbeitet hat.

Es ist nicht so, wie vom BfE (heute BASE) behauptet, dass die Sicherheitsnachweise vorhanden sind und nur geheim gehalten werden müssen. Es ist vielmehr so, dass im Verfahren deutlich wurde, dass im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen fehlerhaft ermittelt und bewertet wurde.

Beschuss mit panzerbrechender Waffe

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für das SZL Brunsbüttel wurden mögliche Auswirkungen eines potenziellen Hohlladungsbeschusses betrachtet, der als abdeckendes SEWD-Szenario gilt. Dabei wird unterstellt, dass eine Gruppe von Tätern in das Zwischenlager eindringt und mit panzerbrechenden Waffen die Behälter beschädigt. Durch einen Beschuss mit einem Hohlladungsgeschoss kann die Wand eines metallischen Behälters durchschlagen und in seinem Inneren Brennstoff zerstäubt werden. Der Beschuss bewirkt weiterhin einen Druckaufbau im Inneren des Behälters. Dadurch würde eine beträchtliche Menge an radioaktivem Material in die Atmosphäre freigesetzt werden.

Laut Urteil des OVG Schleswig hat die Genehmigungsbehörde die Risiken des vom Kläger geltend gemachten Szenarios eines terroristischen Angriffs auf das Zwischenlager mit panzerbrechenden Waffen im Genehmigungsverfahren fehlerhaft ermittelt und bewertet. Es war für den Senat nicht überzeugend, dass die 1992 auf dem Markt befindlichen und bei den Beschussversuchen der GRS (1992) verwendeten Waffen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit auch noch zum Zeitpunkt der Genehmigung des SZL Brunsbüttel (2003) repräsentativ gewesen sein sollen. Der Senat erklärt, zu folgen sei demgegenüber dem klägerischen Vortrag, wonach 2003 leistungsstärkere und leichter zu handhabende Hohlladungs-Waffensysteme auf dem Markt waren, die zu potenziell höheren Zerstörungswirkungen beim Einsatz gegen Behälter führen könnten. (OVG SH 2013)

Flugzeugabsturz

In der Urteilsbegründung wird weiterhin erklärt: „Die Beklagte hat bei der Erteilung der Genehmigung für das [...] Standortzwischenlager das erforderliche Maß des Schutzes gegen terroristische Einwirkungen in Gestalt eines gelenkten Absturzes eines Verkehrsflugzeuges auf das Zwischenlager fehlerhaft ermittelt und bewertet.“ Aus Sicht des Senats besteht in der Ausklammerung des Airbus A380 aus der Betrachtung ein Ermittlungsdefizit der Genehmigungsbehörde, weil absehbar war, dass dieser Flugzeugtyp innerhalb des Genehmigungszeitraumes in Dienst gestellt werden würde und somit ebenfalls als Tatmittel in Betracht kam. (OVG SH 2013)

Der Senat erklärt, dass wegen der weiteren Ermittlungs- und Bewertungsdefizite dahinstehe, ob das wegen der Ausblendung des Airbus A380 gegebene Ermittlungsdefizit mittlerweile durch eine entsprechende Untersuchung der GRS aus 2010 unerheblich ist. Laut dieser Untersuchung kommt es infolge eines derartigen Absturzes zu keinen beträchtlichen radiologischen Folgen. Es wird in der Urteilsbegründung jedoch angemerkt, dass der Vortrag der Beklagten über den Inhalt des geheim gehaltenen Gutachtens allerdings Zweifel an der hinreichenden Konservativität der verwendeten Untersuchungsmethode erwecke. Laut Urteilsbegründung weist die Genehmigung ein weiteres Ermittlungs- und Bewertungsdefizit hinsichtlich der thermischen Lastannahme eines Flugzeugabsturzes auf. (OVG SH 2013)

Konsequenzen des Urteils

In BMUB (2016a) wird erklärt, dass sich aus der Aufhebung der Genehmigung des SZL Brunsbüttel keine Aussage zur Sicherheit oder Sicherung anderer Zwischenlager ableiten ließe und das Urteil so keine Auswirkungen auf die Genehmigungen von den anderen Zwischenlagern hätte.

Das ist fachlich aber nicht zutreffend: Das Urteil des OVG Schleswig bezieht sich zwar ausschließlich auf die Zwischenlagerung hoch-radioaktiver Brennelemente im SZL Brunsbüttel, jedoch sind die Annahmen und Untersuchungen für den als abdeckend betrachteten Terrorangriff (Beschuss mit Hohlladungsgeschoss) an allen SZL gleich. Das betrifft auch das Szenario bezüglich eines absichtlich herbeigeführten Absturzes eines Verkehrsflugzeugs. Die vom OVG Schleswig gerügten Bewertungs- und Ermittlungsfehler des Genehmigungsverfahrens bestehen daher bei allen deutschen Zwischenlagern.

Die Bundesregierung erklärte 2015, dass sich Bund und Länder bezüglich des Urteils des OVG Schleswig in der Pflicht sehen, neue Erkenntnisse zu berücksichtigen, das Regelwerk weiterzuentwickeln, die Nachvollziehbarkeit der Abwägungen zu Sicherheitsfragen zu verbessern und dieses – soweit möglich – gesetzlich bzw. untergesetzlich zu regeln. Im Hinblick auf die derzeit anhängigen Antragsverfahren werde geprüft, welche Konsequenzen sich aus dem Beschluss des BVerwG vom 8. Januar 2015 sowie des Urteils des OVG Schleswig vom 13. Juni 2013 für die Durchführung der Verfahren ergeben. (DBT 2015a)

Im NaPro ist das bestehende Problem nicht thematisiert, obgleich von dieser Entscheidung alle anderen Zwischenlager ebenfalls betroffen sind. Es ist nicht bekannt, ob die o.g. Prüfung der Bundesregierung bereits abgeschlossen ist, bzw. welches Ergebnis diese ggf. hatte. Anzumerken ist, dass die Genehmigung eines weiteren Zwischenlagers (SZL Unterweser) beklagt wird.⁴⁷

Auf dem Erörterungstermin zur von Vattenfall beantragten Neugenehmigung des SZL Brunsbüttel am 14./15.6.2017 in Brunsbüttel wurde bzgl. eines möglichen Angriffs mit panzerbrechenden Waffen erklärt, dass ein derartiges Szenario jetzt durch die baulichen Maßnahmen zu verhindern wäre. Neue Beschussversuche sind daher nicht erfolgt.

⁴⁷ Durch Beschluss des Niedersächsischen Oberverwaltungsgerichts vom 28.2.2018 wurde die Ruhendstellung des Verfahrens auf Antrag der Kläger und nach Einverständnis der Beklagten angeordnet. (NLT 2019)

Zurzeit werden, wie bereits erwähnt, die Zwischenlager in Deutschland „gehärtet“. Im o.g. Klageverfahren hat die Behörde erklärt, dass die Nachrüstungsmaßnahmen nicht durch die Szenarien Flugzeugabsturz und Hohlladungsbeschuss veranlasst wurden. (OVG SH 2013)

Auch nach durchgeführten Nachrüstungen muss davon ausgegangen werden, dass eine bewaffnete und entschlossene Terrorgruppe in der Lage ist, in die Halle einzudringen.

Zudem können sogenannte Innentäter (Personen, die im Zwischenlager tätig sind) in die Lagerhalle gelangen. Ein 2017 bekannt gewordener Vorfall mit manipulierten Zuverlässigkeitsüberprüfungen von Mitarbeitern belegt vorhandene Schwachstellen für die Verhinderung von Anschlägen durch Innentäter. In der Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen (JEN) sind manipulierte Quermeldungen⁴⁸ entdeckt worden. 21 Personen hatten ohne rechtmäßige Sicherheitsüberprüfung Zutritt zu sicherheitsrelevanten Bereichen in Nuklearanlagen erhalten. (AZ 2017, BW 2017)

Auf dem Erörterungstermin zur Neugenehmigung des SZL Brunsbüttel wurde auch erläutert, dass gegen einen Flugzeugabsturz bisher keine Nachrüstungen erfolgt sind. Allerdings wird zurzeit ein Gutachten bzgl. der möglichen Konsequenzen eines gezielten Absturzes mit einem A380 auf das Zwischenlager erstellt. Wie dann aber die rechtliche Handhabe der Genehmigungsbehörde bzgl. des Umfangs der möglicherweise erforderlichen Nachrüstungen ist, ist laut Aussage des BASE noch ungeklärt. Die Rechtslage hat sich verändert. Am 31. August 2016 gab das BMUB die Beschlüsse des Länderausschusses für Atomenergie - Hauptausschuss - zum Thema „Rechtlicher Rahmen der Beurteilung des Szenarios, Terroristischer Flugzeugabsturz‘ durch die Exekutive“ bekannt. (BMUB 2016b) Darin wird u.a. festgestellt:

- Bei der Genehmigung von Zwischenlagern wurde das Szenario „Terroristischer Flugzeugabsturz“ nicht in die Lastannahmen des Regelwerks zum Schutz gegen SEWD aufgenommen. Die zuständige Genehmigungsbehörde prüft unter Einbeziehung des Gefährdungspotenzials (u.a. Lagerungsdauer sowie standortspezifische Faktoren), ob und ggf. welche Maßnahmen, die unter der Berücksichtigung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit die Strahlenexposition im Ereignisfall minimieren bzw. begrenzen, verlangt werden können.
- Seit der Brunsbüttel Entscheidung des Bundesverwaltungsgerichts von 2008 ist höchstrichterlich entschieden, dass im Bereich der Sicherheit auch gegen auslegungsüberschreitende Ereignisse Vorsorgemaßnahmen verlangt werden können. Allerdings werden keine quantitativen Strahlenschutzanforderungen festgelegt, die Anforderungen sind vielmehr abgestuft im Vergleich zu den Anforderungen auf der Sicherheitsebene 3.⁴⁹
- Die jeweilige Genehmigungsbehörde kann entscheiden, welcher Typ eines Verkehrsflugzeugs für die Untersuchungen herangezogen wird. In die Betrachtung einzubeziehen sind dabei zwar grundsätzlich alle regelmäßig für den Passagierverkehr eingesetzten Flugzeugtypen, der Hauptausschuss geht aber davon aus, dass in Anlehnung an die Vorgehensweise der Reaktorsicherheitskommission (RSK) der Airbus A 340-600 in der Regel als exemplarischer Flugzeugtyp angesehen werden kann.

⁴⁸ Personen, die in kerntechnischen Anlagen tätig werden, müssen vor Beginn der Tätigkeit im Hinblick auf ihre Zuverlässigkeit überprüft werden. Die Überprüfung erfolgt durch die atomrechtliche Aufsichtsbehörde. Mit sogenannten „Quermeldungen“ übermitteln Betreiber die Ergebnisse bereits amtlich durchgeführter Zuverlässigkeitsüberprüfungen bundesweit an andere Betreiber, woraufhin diese Personen dann auch in anderen Anlagen tätig werden können.

⁴⁹ Die erste Ebene entspricht dem Normalbetrieb, die zweite Ebene dem „anormalen Betrieb“. In der dritten Ebene sollen Störfälle durch Sicherheitssysteme beherrscht werden. In der vierten Ebene wird mit „anlageninternen Notfallschutzmaßnahmen“ versucht, die Auswirkungen eines Störfalles auf die Anlage selbst zu beschränken und einschneidende Maßnahmen in der Umgebung (insbesondere Evakuierung) nicht notwendig werden zu lassen.

Die Behörde kann also über das Schutzmaß in eigener Verantwortung entscheiden. Bei ihr liegt die Risikoermittlung und -bewertung (Funktionsvorbehalt der Exekutive). Die Gerichte haben aber zu überprüfen, ob diese Entscheidung auf einer ausreichenden Datenbasis beruht und dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Eine Begründung für die Berücksichtigung des gegenüber dem Airbus A380 deutlich kleineren Airbus A340-600 wird vom Hauptausschuss nicht genannt. Daher sollte die zuständige Genehmigungsbehörde mögliche Auswirkungen des Airbus A380 als Grundlage ihrer Bewertung nehmen. Aber selbst wenn dies erfolgt, ist nicht geregelt, welche Anforderungen an die Schutzmaßnahmen gestellt werden, da diese laut Hauptausschuss im Vergleich zu den Anforderungen der Sicherheitsebene 3 abgestuft sein können.

Es ist zu begrüßen, dass laut Forschungsagenda der BASE die Auswirkungen eines absichtlich herbeigeführten Flugzeugabsturzes auf nukleare Anlagen beforscht werden sollen. Es kann aber auch zu anderen Terror- und Sabotagehandlungen kommen, die ebenfalls im Fokus stehen sollten. Insbesondere können Weiterentwicklungen in der Waffentechnik neue Bedrohungsszenarien erzeugen und somit die Durchführung von Forschungsvorhaben zum Schutz der radioaktiven Abfälle notwendig machen. Neue experimentelle Untersuchungen sollten die veralteten Beschussversuche aus 1992 ersetzen.

BASE beabsichtigt mit der Forschung, mögliche Freisetzungen in Folge von terroristischen Angriffen „realistischer“ zu bewerten. Eine „realistischere“ Bewertung bedeutet im Kontext von sicherheitstechnischen Analysen in der Kerntechnik immer den Abbau von Konservativitäten und somit von Sicherheitsmargen. Forschung sollte aber darauf abzielen, eine höhere Sicherheit zu erreichen.

Es ist als positiv zu bewerten, dass sich aus Sicht des jetzigen Betreibers der Zwischenlager (BGZ) die Verantwortung für den Schutz von Leben und Gesundheit auch auf gezielt herbeigeführte Flugzeugabstürze bezieht. Wie die BGZ mit dieser Verantwortung umgeht, muss sich zeigen.

Auch unabhängig von dem Urteil zum Zwischenlager Brunsbüttel muss, insbesondere aufgrund der zu erwartenden langen Lagerzeiträume, eine deutliche Verbesserung des Schutzes der zwischengelagerten abgebrannten Brennelemente und hoch-radioaktiven Abfälle gegen Terrorangriffe erfolgen. Von Anti-Atominitiativen wird eine oberflächennahe unterirdische Lagerung in gebunkerten Gebäuden für Deutschland ins Gespräch gebracht⁵⁰, Konzepte dafür müssen noch entwickelt werden.

7.3 Aktuelle Bedrohungssituation durch den Krieg in der Ukraine

Militärische Aktionen gegen kerntechnische Anlagen wie die russischen Angriffe auf die ukrainischen Atomanlagen stellen eine weitere Gefahr dar, die in der gegenwärtigen globalen Situation besondere Aufmerksamkeit verdient. Eine neue Risikobewertung muss derartige Szenarien in die Sicherheitsbetrachtung für Zwischenlager in Deutschland einbeziehen. Mit dem gezielten Terrorangriff am 11. September 2001 ist deutlich geworden, dass auch extreme terroristische Aktivitäten konkrete Bedrohungslagen darstellen können, was zu einer Verschärfung von Sicherheitsauflagen für nukleare Anlagen führte.

Mit dem Angriff Russlands auf die Ukraine sind jedoch Szenarien eingetreten, die bisher als kaum realistisch galten. Das Risiko katastrophaler Unfälle hat sich dadurch erhöht. Mit dem Krieg in der Ukraine sind zivile kerntechnische Anlagen indirekt zum Ziel kriegerischer Auseinandersetzungen geworden. Russland hat deutlich gemacht, dass internationale Regeln, die Kriegshandlungen rund um Atomkraftwerke untersagen, nur so lange Bestand haben können, wie sich alle Akteure daran gebunden fühlen.

⁵⁰ <https://umweltfairaendern.de/2023/02/01/verbunkerung-von-atommuelllagern-langzeitlagerung-hochradioaktiver-atomabfaelle-gorleben-und-anderswo/>

Atomanlagen werden in derartigen Fällen zu einer besonderen Bedrohung. (BASE 2022) Für einen längeren Zeitraum ist es schwieriger, kriegerische Auseinandersetzungen bei den möglichen Bedrohungsszenarien auszuschließen. Ein Beschuss eines Zwischenlagers stellt eine Erhöhung der Risiken für die Gesellschaft dar.

Auch wenn die kriegerische Auseinandersetzung nicht auf dem jetzigen deutschen Staatsgebiet stattfindet, müssen die zusätzlichen Gefahren durch die aktuelle Kriegssituation Berücksichtigung finden. Diese sind unter anderem:

- Bereits heutzutage wird ein zufälliger Absturz eines Militärflugzeugs auf ein Zwischenlager im Rahmen des Genehmigungsverfahrens betrachtet und ein entsprechender Schutz muss gewährleistet werden. Durch die veränderte geopolitische Situation müsste auch der Absturz einer mit Waffen geladenen Militärmaschine betrachtet werden. Ein derartiges Szenario kann erheblich höhere radiologische Auswirkungen haben.
- Ein Beschuss mit einer panzerbrechenden Waffe wird von der Genehmigungsbehörde als abdeckendes SEWD-Ereignis, also als Terrorangriff mit den größten Auswirkungen, betrachtet und die Zwischenlager müssen dagegen geschützt werden. Durch einen immer längeren Krieg, könnten sich mehr derartiger Waffen im Einsatz befinden. Auch modernere Waffen mit höherer Zerstörungskraft als bisher von der Behörde unterstellt wurde, könnten in die Hände von Terroristen gelangen und eingesetzt werden.
- Mittlerweile ist der Einsatz von fernsteuerbaren Drohnen, die mit Sprengstoff beladen sind, Teil von Kriegsrealität und könnten auch für einen Angriff auf Atomanlagen eingesetzt werden.
- Große Gefahr geht insbesondere von thermobarischen Gefechtsköpfen aus, die im Krieg in der Ukraine zum Einsatz kommen. Bisher gingen Sicherheitskräfte davon aus, dass sich dieser Waffentyp nicht in Hände von Terroristen befindet. Ob diese Annahme noch gerechtfertigt ist, muss bezweifelt werden.

8 Spezielle Probleme

8.1 Problem: Rückführung der restlichen Abfälle aus der Wiederaufarbeitung

Bis Juni 2005 wurden abgebrannte Brennelemente zur Wiederaufarbeitung nach Frankreich oder Großbritannien transportiert.⁵¹ Bis dahin war die Wiederaufarbeitung im Ausland ein vorgesehener Entsorgungsweg. Dieser Weg ist seit dem 1. Juli 2005 nicht mehr zulässig. Es lagern allerdings noch Wiederaufarbeitungsabfälle im Ausland. Gemäß ihren vertraglichen Verpflichtungen müssen die Abfallbesitzer, die Betreiber der Atomkraftwerke, ihre radioaktiven Abfälle nach Deutschland zurücknehmen. Zur Rücknahme dieser Abfälle hat sich die Bundesrepublik Deutschland auch völkerrechtlich verpflichtet.

Die Rückführung und Einlagerung von verglasten hoch-radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung der bestrahlten Brennelemente wurde 1996 aufgenommen. Für die Rückführung kamen insgesamt vier Behälterbauarten zum Einsatz, mit folgender zeitlicher Reihenfolge: 1996 TS 28 V, 1997 bis 2006 CASTOR® HAW 20/28 CG, 2008 bis 2010 TN® 85 und ab 2010 CASTOR® HAW28M. Bis 2011 wurden die Behälter mit HAW-Glaskokillen ausschließlich in das zentrale Zwischenlager Gorleben eingelagert. (BGZ 2022)

Bis zum Jahr 2011 wurden bereits 108 CASTOR-Behälter mit hoch-radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung in La Hague in das Zwischenlager Gorleben zurückgeführt. Seit 1. Januar 2014 haben

⁵¹ Das bei der Wiederaufarbeitung abgetrennte Plutonium wurde zur Herstellung von MOX-Brennelementen verwendet und vollständig in deutschen Reaktoren eingesetzt. Der letzte Einsatz von 241 kg Pu-fiss aus der Wiederaufarbeitung in Form von 12 frischen MOX-Brennelementen ist im Frühjahr 2017 im AKW Emsland erfolgt. (GRS 2019a)

gemäß § 9a Absatz 2a AtG die Energieversorger dafür zu sorgen, dass die verbliebenen radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung zurückgenommen und in standortnahen⁵² Zwischenlagern aufbewahrt werden. Seit dieser Änderung des AtG dürfen diese nicht mehr wie zuvor im Transportbehälterlager (TBL) Gorleben zwischengelagert werden. Bundes- und Landesregierungen sowie die Betreiber der Standortzwischenlager haben sich nach langer Debatte im Juni 2015 auf die Standorte für die Zwischenlagerung der restlichen Behälter mit radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung geeinigt. Die größte Menge an Kernbrennstoff wurde aus niedersächsischen AKWs zur Wiederaufarbeitung ins Ausland gebracht. Nach Niedersachsen wurden 108 CASTOR-Behälter mit Rückständen aus der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente zurückgeführt. Fast ebenso viel Material wurde aus den bayerischen Atomkraftwerken zur Wiederaufarbeitung ins Ausland gebracht. Nach Bayern wurde allerdings bislang kein Behälter mit Rückständen aus der Wiederaufarbeitung bayerischer Brennelemente zurückgeführt. Die folgende Tabelle fasst den prozentualen Anteil der Brennelemente pro Bundesland zusammen, der zur Wiederaufarbeitung transportiert wurde.

⁵² Der Begriff „standortnah“ bezieht sich dabei auf die Zwischenlager an den Standorten der Atomkraftwerke.

Tabelle 6: Anteil der abgebrannten Brennelemente an allen zur Wiederaufarbeitung im Ausland transportierten abgebrannten Brennelementen pro Bundesland

Bundesland	Prozent
Niedersachsen	23
Bayern	21
Baden-Württemberg	20
Hessen	13
Schleswig-Holstein	12
Nordrhein-Westfalen	5
Mecklenburg-Vorpommern	3
Rheinland-Pfalz	2
Brandenburg	1

Die Rücklieferung der hoch-radioaktiven verglasten Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich (La Hague) wurde im November 2011 abgeschlossen. Die Rücklieferung von 21 Behältern mit verglasten hoch-radioaktiven Abfällen aus Großbritannien (Sellafield) sowie fünf Behältern mit verglasten mittel-radioaktiven Abfällen aus La Hague stand 2015 noch aus.

Ergänzend wurde in 2018 eine Vereinbarung zwischen der Nuclear Decommissioning Authority (NDA) in Großbritannien und den deutschen Energieversorgungsunternehmen (EVU) abgeschlossen, welche zur Reduktion der ursprünglich 21 auf 20 zurückzuführenden Behälter führte.

Von den jetzt 20 Behältern mit hoch-radioaktivem Abfall aus dem britischen Sellafield sollten je sieben in die SZL Isar (Bayern) und Brokdorf (Schleswig-Holstein) und sechs im SZL Biblis (Hessen) gelagert werden. Hierfür sind Behälter der Bauart CASTOR HAW28M vorgesehen.

Im November 2019 wurden begleitend zum laufenden Genehmigungsverfahren für die Aufbewahrung der Behälter aus der Wiederaufarbeitung in Biblis mit einem leeren CASTOR HAW28M erfolgreich alle Arbeitsschritte absolviert, die zur Einlagerung beladener Behälter erforderlich sind. Im Auftrag des hessischen Umweltministeriums als Aufsichtsbehörde über das Zwischenlager Biblis überwachten unabhängige Sachverständige den Probelauf. Es war eine noch ausstehende Voraussetzung für eine entsprechende Aufbewahrungs- sowie eine Transportgenehmigung. (BGZ 2019a)

Am 19.12.2019 erhielt das SZL Biblis die Genehmigung zur Zwischenlagerung von bundesdeutschen Abfällen aus der Wiederaufarbeitung in Sellafield. Die Genehmigung für den Rücktransport der Abfälle erteilte das BASE am 14.02.2020. (BASE 2020b) Die sechs CASTOR-Behälter mit verglasten hoch-radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung sind am 4. November 2020 am Standort Biblis eingetroffen. Der Transport der sechs Behälter war Ende Oktober in der britischen Wiederaufarbeitungsanlage in Sellafield gestartet. (BGZ 2020c) Der Transport war vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden raschen Ausbreitung des Corona-Virus (SARS-CoV-2) und der damit einhergehenden erheblichen Gesundheitsgefahr verschoben worden.

Die fünf Behälter mit mittel-radioaktivem Abfall aus dem französischen La Hague sollten ursprünglich bis 2019 zum SZL Philippsburg (Baden-Württemberg) transportiert werden. Laut vertraglicher Verpflichtung sollten neben diesen fünf Castor-Behältern auch 152 Behälter mit hochdruckverpressten mittelradioaktiven Metallresten der aufgearbeiteten Brennelemente bis 2024 aus Frankreich zurückgenommen und im Zwischenlager Ahaus aufbewahrt werden. Aufgrund technischer Schwierigkeiten bei der dafür vorgesehenen Behälterbauart TGC27 gelang es nicht, zeitgerecht zugelassene Behälter dieser Art für die Rückführung zur Verfügung zu stellen. Es wäre zu einer Verzögerung bis in die 2040er Jahre gekommen. Daher ist nun vorgesehen, die 152 Behälter mit Metallresten nicht nach Deutschland zu transportieren. Statt fünf Castor-Behälter mit verglasten mittelradioaktiven Abfällen sollen drei bis fünf Castor-Behälter mit verglasten hoch-radioaktiven Abfällen an den Standort Philippsburg gebracht

und aufbewahrt werden. Damit reduziert sich die Anzahl der Transporte radioaktiver Abfälle aus Frankreich: Statt voraussichtlich bis zu 17 Transporten mit mittelradioaktiven Abfällen findet nur ein Transport mit hoch-radioaktiven Abfällen statt.⁵³ Damit wird Philippsburg genauso behandelt wie die anderen Zwischenlager-Standorte Biblis, Isar und Brokdorf und Deutschland nimmt in der Summe die gleiche Radioaktivität aus Frankreich zurück wie ursprünglich vereinbart. (BMUV 2021)

Nach aktuellem Stand ist geplant, die Rückführung aller HAW-Glaskokillen aus der Wiederaufarbeitung bis 2027 abzuschließen. (BGZ 2022)

Die Aufbewahrung von radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung wurde mit Datum vom 29. September 2017 für die Standortzwischenlager Biblis, Brokdorf, Isar und Philippsburg beantragt. Diese atomrechtlichen Genehmigungsverfahren werden seit dem 1. Januar 2019 durch die BGZ geführt. Die Genehmigungen für die Aufbewahrung in den SZL Brokdorf und Isar wurden inzwischen erteilt. Für das SZL Philippsburg wurde bisher nur die Lagerung von mittelradioaktiven Abfällen beantragt (und genehmigt), ein Antrag für die hoch-radioaktiven Abfälle muss noch gestellt werden.

Im Bericht der Bundesregierung für die siebte Überprüfungs-konferenz im Mai 2021 zur Erfüllung des „Gemeinsamen Übereinkommens über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle“ wird die „Rückführung der radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich und im Vereinigten Königreich“ als Herausforderung genannt.

Primärdeckelreparatur des Behälters CASTOR HAW28M

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) hat am 19. Juni 2015 ein „Gesamtkonzept zur Rückführung von verglasten radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung“ veröffentlicht. Darin hat das BMUB u.a. mitgeteilt, dass im Rahmen einer etwaigen Änderungsgenehmigung für ein Standortzwischenlager die wesentlichen Parameter, die für Auswirkungen auf die Umwelt relevant sind, nicht verändert würden. Das BMUB bezieht sich hierbei auf die Zahl der genehmigten Stellplätze für Behälter, die gesamte Wärmeleistung des Zwischenlagers, die gesamte Schwermetallmasse sowie die gesamte Strahlenexposition aus dem Betrieb des Standortzwischenlagers. Das BMUB zieht hieraus den Schluss, dass die Änderung der bestehenden und bereits einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) unterzogenen Genehmigungslage keine nicht bereits geprüften Umweltauswirkungen habe. In einer Anfrage erklärt die schleswig-holsteinische Landesregierung, sie gehe davon aus, dass in einem neuen Genehmigungsverfahren nach § 6 AtG insbesondere geprüft würde, ob die genannten Annahmen des BMUB zutreffen. (LT SH 2016)

Im Umweltbericht zum NaPro wird erklärt, dass die Standortzwischenlager für die Aufnahme dieses Abfallstroms weder baulich erweitert noch hinsichtlich des zulässigen Aktivitätsinventars modifiziert werden sollen. Wenn das Primärdeckeldichtsystem dieser Behälter versage, könne für den Lagerbetrieb die Wiederherstellung des Doppeldeckelsystems mit einem Fügedeckel erreicht werden. Vor einem Abtransport in ein Endlager muss jedoch ein zulassungskonformer Zustand hergestellt werden. Laut der verkehrsrechtlichen Zulassung des Behälters CASTOR HAW28M kann dieser nur mit intaktem Primärdeckel befördert werden. Um die Transportfähigkeit im Falle des Versagens des Primärdeckels wiederherzustellen, kann der Bau einer „Heißen Zelle“ erforderlich werden, um darin eine Behälteröffnung durchzuführen und den Primärdeckel zu erneuern. Relativierend wird im Umweltbericht aber auch erklärt, dass aus Sicht der Entsorgungskommission (ESK) nur eine geringe Wahrscheinlichkeit besteht, dass während der Zwischenlagerzeit ein Versagensereignis hinsichtlich des Primärdeckelsystems eines Behälters CASTOR HAW28M auftritt. Daher sei das Erfordernis zur Errichtung einer „Heißen Zelle“ eher unwahrscheinlich. (ÖKO-INSTITUT & GRS 2015a)

⁵³ Außerdem werden 30 leere, ausgediente Brennelemente-Transportbehälter nach Ahaus gebracht.

Im Zusammenhang mit der Rückführung der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung ist eine Änderung der bestehenden Genehmigung des hierfür vorgesehenen Zwischenlagers notwendig. Dieses Genehmigungsverfahren führt das BASE durch. Laut Angabe der Landesregierung Baden-Württemberg in 2015 führte das Bundesumweltministerium vorher diesbezüglich Gespräche mit den AKW-Betreibern. (LT BW 2015)

Die BGZ erklärt, der Behälterhersteller hat der Genehmigungsbehörde im Rahmen der laufenden Genehmigungsverfahren für die vier oben genannten Standorte in einem Konzept dargestellt, wie ein Abtransport aus einem Zwischenlager erfolgt. Dieses Konzept sieht vor, dass die verkehrsrechtliche Zulassung auf den äußeren Deckel erweitert wird. Aus technischer Sicht liegen keine Erkenntnisse vor, die dieses Konzept in Frage stellen. Der Behälterhersteller ist von der BGZ bereits beauftragt, für diesen unwahrscheinlichen Sonderfall die erforderliche Erweiterung der Behälterzulassung des CASTOR HAW28M zu erwirken. Da nach diesem Konzept auch bei einer Druckveränderung im Deckelsystem der CASTOR HAW28M mit dem äußeren Deckel weiterhin verschlossen bleibt, wird auch hierfür keine „heiße Zelle“ am Standort benötigt. Somit ist gewährleistet, dass sich sämtliche CASTOR-Behälter sicher zwischenlagern und aus dem Zwischenlager zum Endlager abtransportieren lassen. (BGZ 2019a)

Laut Genehmigung zur Aufbewahrung in Biblis erfüllt das vorgelegte Reparaturkonzept für die Transport- und Lagerbehälter der Bauart CASTOR HAW28M die Anforderungen der ESK-Leitlinien hinsichtlich der Gewährleistung eines überwachten Doppeldeckeldichtsystems während des Zeitraums der Zwischenlagerung im Standort-Zwischenlager Biblis. Im Falle einer nicht mehr spezifikationsgerechten Dichtheit der Barriere Primärdeckel ist das Aufschweißen eines Fügedeckels im Standort-Zwischenlager Biblis vorgesehen, der dann die Funktion der zweiten Barriere übernimmt. (BFE 2019d)

Der Fügedeckel verfügt über eine angeschweißte Membrane, die bei Montage mit dem Behälterkörper verschweißt wird. Über eine Klemmringkonstruktion wird der Fügedeckel samt Membrane gegen den Behälter gedrückt und so mechanisch entlastet. Um sicherzustellen, dass die für den mechanischen Nachweis verwendete Vorspannkraft der Schrauben für die Klemmringkonstruktion auch tatsächlich auf die Schrauben wirkt, wird mit einer Nebenbestimmung festgelegt, den Abstand zwischen oberem Klemmring und Klemmring zu messen und die Abnahme des Abstandes zu bewerten.

Wegen der spezifischen Rahmenbedingungen der Fügedeckelschweißung an CASTOR-Behältern wurde mit einer weiteren Nebenbestimmung festgelegt, dass gegenüber der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde ein jährlicher Nachweis der Qualifikation der Schweißaufsichtspersonen und von mindestens zwei Schweißern erforderlich ist.

In Anlehnung an die ESK-Stellungnahme wurden drei alternative Konzepte zur Herstellung eines zulassungskonformen Zustandes am Ende des Aufbewahrungszeitraumes dargestellt:

- a) Nachweisführung für eine erhöhte Leckagerate des Primärdeckels als dichte Umschließung. Diese setzt den Nachweis voraus, dass auch bei erhöhter Leckagerate die zulässige Leckagerate unter Unfall-Beförderungsbedingungen nicht überschritten wird. Alternativ wäre nachzuweisen, dass für den Fall einer Überschreitung der Unfall-Leckagerate bei einem potenziellen Partikeltransport der verkehrsrechtliche Grenzwert unter Unfall-Beförderungsbedingungen eingehalten werden kann.
- b) Aufnahme zusätzlicher Dichtbarrieren (Sekundärdeckel, Reparaturdeckel) in die verkehrsrechtliche Zulassung. Falls die Nachweisführung unter (a) nicht erfüllbar ist, käme eine Änderung der verkehrsrechtlichen Zulassung vor Durchführung des Abtransports in Frage. Dann müssten allerdings gleichzeitig modifizierte Stoßdämpfer entwickelt und im Verkehrsrecht zugelassen werden.
- c) Instandsetzung der Dichtbarriere Primärdeckel mithilfe einer mobilen und modular aufgebauten Primärdeckelwechselstation im Lagerbereich des Standort-Zwischenlagers Biblis. Dies stellt die Rückfallposition dar, falls die Konzepte von a) oder b) nicht zum Erfolg führen. Der

Platzbedarf für die Primärdeckelwechselstation beträgt etwa acht Behälterstellplätze und weitere acht Behälterstellplätze für die Peripheriesysteme, wie z. B. Lüftungs- und Filteranlage, Steuerungscontainer und Energieversorgung. Da die Notwendigkeit zur Errichtung erst zu einem Zeitpunkt entsteht, wenn ein großer Teil der Behälter bereits in das Eingangslager eines zukünftigen Endlagers ausgelagert worden ist, besteht laut BfE im Hinblick auf den Platzbedarf keine relevante Einschränkung.

Laut BASE sind keine Gründe erkennbar, die aus heutiger Sicht der Umsetzung dieser Konzepte entgegenstehen. Es wird sichergestellt, dass eine Planung über die Auslagerung von Behältern der Bauart CASTOR HAW28M, die die spezifikationsgerechte Dichtheit der Barriere Primärdeckel nicht aufweisen, spätestens acht Jahre vor Ablauf der Genehmigung vorhanden ist.

Das BASE kommt zu dem Ergebnis, dass aufgrund der qualitätsgesicherten Abfertigung der Behälter sowie der Randbedingungen im Standort-Zwischenlager Biblis keine Schädigungsmechanismen zu unterstellen sind. Für den Fall einer undichten Primärdeckelbarriere ist deshalb davon auszugehen, dass der Behälterkörper weiterhin spezifikationsgerecht ist und dass die Dichtflächen des Behälters in jedem Fall reparierbar sind. Das BASE kommt somit zu dem Ergebnis, dass entsprechend der ESK-Stellungnahme die Anforderungen an eine „Heiße Zelle“ bezüglich des Austausches eines Behälters nicht zu betrachten sind. (BfE 2019d)

Bewertung

Bisher war es Tatsache, dass vor einem Abtransport eine neue Primärdeckeldichtung eingesetzt werden musste, denn nach der verkehrsrechtlichen Zulassung kann der Behälter des Typ CASTOR HAW28M nur mit intaktem Primärdeckelsystem befördert werden. Für eine Reparatur wäre dann eine „Heiße Zelle“ erforderlich. Die o.g. Aussage der Bundesregierung, es lägen keine Erkenntnisse vor, die die Errichtung „Heißer Zellen“ an den Standorten der Zwischenlager erforderlich machen, ist insgesamt nicht nachzuvollziehen.

Die Einschätzung der ESK, dass nur eine geringe Wahrscheinlichkeit besteht, dass während der Zwischenlagerzeit ein Versagensereignis hinsichtlich des Primärdeckelsystems eines Behälters CASTOR HAW28M auftritt, ist fachlich nicht nachzuvollziehen. Zum einen kann für die erforderliche lange Lagerzeit niemand belastbare Prognosen über eine Versagenswahrscheinlichkeit der Deckeldichtungen geben. Zum anderen wäre, selbst wenn die Versagenswahrscheinlichkeit gering wäre, aus sicherheitstechnischen Gründen eine Reparaturmöglichkeit erforderlich. (s.u.)

Das BfE hatte erklärt, eine Genehmigung zur Aufbewahrung wird nur dann erteilt, wenn es auf der Grundlage der Angaben der Antragsteller zur Auffassung kommt, dass der Betreiber im Bedarfsfall die Behälter wieder sicher abtransportieren kann. (BfE 2018a) Offenbar ist dies nun aus Sicht der Genehmigungsbehörde der Fall, da Ende 2019 das SZL Biblis die Genehmigung erhielt.

Nach einem möglichen Versagen der Primärdeckeldichtung muss für die Herstellung eines spezifikationsgerechten Zustands während der Lagerzeit der Fügedeckel nicht nur aufgeschweißt werden, sondern er muss auch noch mit einer Klemmringkonstruktion verschraubt werden. Die sachgerechte Durchführung des komplexen Unterfangens soll durch mehrere Nebenbestimmungen in der Genehmigung gewährleistet werden. Ob dieses dann im Anforderungsfall tatsächlich eine langfristige Dichtheit gewährleistet, muss sich noch zeigen.

Der Behälter soll mit einem Fügedeckel versehen werden, der erst aus Gorleben transportiert werden muss. Vor dem Aufschweißen eines Fügedeckels müssen Arbeitsproben angefertigt werden. Es vergeht also ein gewisser Zeitraum, bis ein überwachbares Doppeldeckeldichtheitssystem hergestellt werden kann. Wie lange der Behälter mit nur einem Deckel mit spezifizierter Dichtheit zwischengelagert werden darf, ist in der Genehmigung nicht festgelegt. Der Behälter würde für einen gewissen Zeitraum ohne Doppeldeckeldichtheitssystem und damit in einem den Überwachungsbedingungen nicht gemäßen Zustand gelagert werden.

Für einen Transport des Behälters sollte aus sicherheitstechnischen Gründen die Primärdeckeldichtung ausgewechselt werden. Dieses soll laut Genehmigung aber nur eine Rückfalloption sein. Die Installation einer Primärdeckelwechselstation soll nur erfolgen, wenn es nicht durch „Nachrüstungen“ auf dem Papier gelingt nachzuweisen, dass die möglichen unfallbedingten Freisetzungen während des Transports unterhalb der zulässigen Werte bleiben. Bisher konnte der Behälterhersteller entsprechende Sicherheitsnachweise nicht führen, obwohl das Problem seit mehr als zehn Jahren bekannt ist. Aus dieser Tatsache sind erhebliche Probleme für einen belastbaren Sicherheitsnachweis zum Transport ohne spezifizierte Dichtheit des Primärdeckels abzuleiten. (NEUMANN 2020) Auch wenn der Sicherheitsnachweis gelingt, werden Sicherheitsmargen abgebaut sein und es sind höhere Freisetzungen bei einem Unfall zu erwarten als mit intakter Primärdeckeldichtung.

Die Änderungsgenehmigungen für die Aufnahme der Behälter aus der Wiederaufarbeitung in die Standort-Zwischenlager hätten im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) mit Öffentlichkeitsbeteiligung durchgeführt werden müssen. Stattdessen hat die Bundesatomaufsicht hinter verschlossenen Türen Vorgespräche mit den AKW-Betreibern geführt.

Darüber hinaus sicherte das Bundesumweltministerium der Bayrischen Staatsregierung in einer Erklärung zu, sich im Gegenzug zur Einlagerung der HAW-Abfälle weiterhin für die erforderlichen Genehmigungen für die Einlagerung der FRM-II Brennelemente in das Zwischenlager Ahaus einzusetzen.⁵⁴ (BMUB 2015b)

8.2 Problem: Fehlende Genehmigung für das Zwischenlager Jülich

Seit fast zehn Jahren lagern im AVR-Behälterlager Jülich 152 Behälter mit grafithaltigen AVR⁵⁵-Brennelementen ohne gültige Genehmigung. Seit dem 30. Juni 2013 ist für dieses Zwischenlager die am 17. Juni 1993 erteilte Genehmigung (nach § 6 AtG) nicht mehr gültig. Die ursprüngliche Aufbewahrungsgenehmigung war auf 20 Jahre befristet. Im Genehmigungsverfahren konnte der damalige Betreiber, das Forschungszentrum Jülich (FZJ), nicht nachweisen, dass die Voraussetzungen für die Erteilung einer neuen Genehmigung vorliegen. Die fehlenden Nachweise betreffen vor allen Dingen die Erdbebensicherheit – insbesondere den Nachweis, dass bei einem Erdbeben keine Bodenverflüssigung eintritt.

Das FZJ hatte am 26. Juni 2007 bei der damals zuständigen Genehmigungsbehörde eine Verlängerung der Genehmigung für weitere drei Jahre ab dem 1. Juli 2013 beantragt.⁵⁶ Die Voraussetzungen für die Erteilung der Genehmigung lagen jedoch nicht vor. Daher hat die zuständige atomrechtliche Aufsichtsbehörde (das Wirtschaftsministerium Nordrhein-Westfalen) die weitere Aufbewahrung der AVR-Brennelemente im Zwischenlager Jülich angeordnet. Die erste Anordnung war befristet bis zum 31. Dezember 2013, die zweite bis zum 31. Juli 2014. Da das Genehmigungsverfahren auch bis zum Ablauf der zweiten Anordnung nicht abgeschlossen werden konnte, hat die Aufsichtsbehörde am 2. Juli 2014 die Anordnung zur Räumung des AVR-Behälterlagers Jülich erlassen. Die am 2. Juli 2014 erlassene Anordnung zur Räumung des AVR-Behälterlagers hat weiterhin Bestand.

Das Verwaltungsverfahren zur unverzüglichen Entfernung der Kernbrennstoffe wurde bisher nicht durchgeführt. Am 31. Oktober 2014 hatte die FZJ anordnungsgemäß ein Konzept für die Räumung des Behälterlagers vorgelegt. Laut vorgelegtem Konzept wurden für den Verbleib der AVR-Brennelemente drei Optionen geprüft:

⁵⁴ „Das Bundesumweltministerium wird sich weiter dafür einsetzen, dass die für die Entsorgung des Forschungsreaktors München II erforderlichen Genehmigungen, insbesondere die verkehrsrechtliche Zulassung des Behälters sowie die erforderliche Änderung der Aufbewahrungsgenehmigung für das Transportbehälterlager Ahaus zeitgerecht erteilt werden.“

⁵⁵ AVR = Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor

⁵⁶ Am 16. Juli 2010 bat dann das FZJ, dieses Verfahren ruhend zu stellen. Am 16. Mai 2012 beantragte das FZJ, das Verfahren wieder aufzunehmen.

1. Export in die Wiederaufbereitungsanlage Savannah River National Lab im US-Bundesstaat South Carolina,
2. Transport in das Transportbehälterlager Ahaus
3. Neubau eines Zwischenlagers am Standort in Jülich.

Die Aufsichtsbehörde ließ das vorgelegte Konzept vom TÜV-Nord als Sachverständigen auf Plausibilität insbesondere hinsichtlich des ermittelten Zeitbedarfs prüfen (3 bis 8 Jahre). Fazit dieser Prüfung war, dass auf Basis der bisher zur Verfügung gestellten Informationen keine abschließende Aussage darüber möglich ist, welche der drei dargestellten Optionen am schnellsten umzusetzen ist. Alle drei Optionen wurden zunächst weiterverfolgt. (MWEIMH 2015) Laut Landesregierung Nordrhein-Westfalen wurde, ausgehend von dem TÜV-Gutachten in regelmäßigen Gesprächen der Atomaufsicht mit der neuen Betreiberin Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH (JEN)⁵⁷, der Status der Bearbeitung der drei bestehenden Optionen erörtert. (LT NW 2017)

Die ursprünglich favorisierte Option war der Export des Brennstoffs in die USA. Am 18. Oktober 2012 wurde zwischen dem DoE und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ein Memorandum of Understanding (MoU) über die Rücknahme und Entsorgung der Brennelemente durch die USA abgeschlossen. (DBT 2018d)

Im Mai 2014 wurde zwischen der Savannah River Nuclear Solutions (SRNS) und dem FZJ ein Work-for-Others-Agreement (WfO) über vorbereitende Forschungsarbeiten sowie die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) abgeschlossen. (DBT 2018d) Die UVP, eine Grundvoraussetzung für die Annahme des Brennstoffs, wurde positiv abgeschlossen. (LT NW 2017)

Die USA erklärten ihre Rücknahmebereitschaft aufgrund des Umstands, dass der AVR-Kernbrennstoff ursprünglich aus den USA stammte, stellten allerdings zugleich fest, dass unter anderem aufgrund seiner Verwahrung im politisch stabilen Deutschland eine Rücknahme der abgebrannten AVR-Brennelementkugeln aus Nonproliferationsgründen aus US-Sicht nicht erforderlich wäre.⁵⁸

Im Oktober 2022 wurde bekannt gegeben, dass die USA-Option nicht weiter verfolgt wird, da eine Realisierung zunehmend unwahrscheinlicher wurde. Die Hauptgründe – unter dem Gesichtspunkt der schnellstmöglichen Räumung – betreffen zum einen den Transport in die USA; die Sicherung eines solchen Transports wäre extrem aufwändig und dadurch zeitintensiv. Außerdem ist das Verarbeitungsverfahren für die AVR-BE in den USA technologisch noch nicht abgesichert. Des Weiteren ist die Erteilung einer Genehmigung für das Bestandslager wahrscheinlich, nach Atomgesetz ist dann keine Ausfuhr mehr gestattet.

Am 15. Dezember 2014 gab das FZJ bekannt, dass es auch die Möglichkeit eines **Transports in das TBL Ahaus** wieder verfolgen möchte. Dazu hat die GNS das Genehmigungsverfahren für die Aufbewahrung der Brennelemente im TBL Ahaus mit Schreiben vom 6. Januar 2015 wieder aufgenommen. Die diesbezügliche Genehmigung, die 8. Änderungsgenehmigung für das Brennelemente-Zwischenlager Ahaus, wurde am 21. Juli 2016 vom BfS (jetzt BASE) erteilt und die Auflagenerfüllung ist nahezu abgeschlossen.

Gegen diese Genehmigung haben die Stadt Ahaus und eine Privatperson Klage beim Oberverwaltungsgericht Münster eingereicht. Das Genehmigungsverfahren für den Transport von Jülich nach Ahaus ist

⁵⁷ Am 1. September 2015 übertrug das FZJ die Betriebsführung für das Zwischenlager auf die neu gegründete AVR GmbH, die zum 1. Januar 2016 in die Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH (JEN) umbenannt wurde.

⁵⁸ Die Bundesrepublik Deutschland und die USA stehen als Parteien des Nuklearen Nichtverbreitungsvertrags und weiterer damit zusammenhängender Abkommen seit den 1960er-Jahren in regelmäßigem Austausch, um die Maßnahmen zur Überwachung von Nuklearmaterial (Safeguards) mit dem gemeinsamen Ziel einer Spaltstoffflusskontrolle umzusetzen. Die Maßnahmen haben zum Ziel, eine Weiterverbreitung (Proliferation) bzw. eine unerlaubte Entnahme von Nuklearmaterial zu entdecken bzw. zu verhindern.

in der Prüfung weit fortgeschritten und wird von der BASE prioritär bearbeitet. (DBT 2020a) Laut JEN kann das Genehmigungsverfahren in absehbarer Zeit abgeschlossen werden, das Sicherheitskonzept ist ausreichend abgesichert und der größte Teil der Komponenten sind bereits beschafft.

Als eine dritte Option wird die Verbringung der Brennelemente in ein **neu zu errichtendes Zwischenlager am Standort Jülich** genannt. Im Hinblick auf Konzeption, Genehmigung und Realisierung eines Neubaus eines Zwischenlagers am Standort Jülich ist ein Grundstück am Standort Jülich ausgewählt worden.

Neben diesen Optionen arbeitet die JEN auch daran, für das bestehende AVR-Behälterlager wieder eine Genehmigung zur weiteren Aufbewahrung der Brennelemente zu erhalten. **Hier ist geplant, das Bestandslager für weitere neun Jahre (ab Erteilung der Genehmigung) zu nutzen.**

Als Voraussetzung für die Erteilung einer solchen Genehmigung für das Bestandslager sind insbesondere Nachweise zur Erdbbensicherheit nach aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik zu erbringen. Um die geforderten Nachweise zu erbringen, wurden weiterführende Untersuchungen im Auftrag der JEN durchgeführt und Nachweise zur Seismologie und Baugrundveränderungen bzw. Bodenverflüssigung erbracht. Dieses Verfahren kostete zwar viel Zeit, konnte jedoch aus Sicht der JEN erfolgreich abgeschlossen werden. Alle geforderten Nachweise und Dokumente wurden bis Ende 2021 bei der Genehmigungsbehörde (BASE) zur Prüfung eingereicht.

Außerdem muss die JEN nachweisen, dass das Zwischenlager gegen Angriffe, die auf virtuellem Weg über die Instrumente der Informationstechnologie erfolgen könnten, geschützt ist. Zu diesem wichtigen Thema wird die Nachweisführung durch die JEN in Kürze fertig gestellt. Die JEN geht aktuell davon aus, dass das Genehmigungsverfahren in absehbarer Zeit abgeschlossen wird. Ob die Genehmigungsbehörde dann dem Antrag für die Dauer von neun Jahren entsprechen wird, oder eine kürzere Zwischenlagerung im Bestandslager genehmigt, ist offen. (JEN 2022)

Laut JEN kann dieses Genehmigungsverfahren in absehbarer Zeit abgeschlossen werden. Zeitpunkt der Erteilung und Dauer der befristeten Genehmigung ist jedoch offen, daher läuft eine parallele Weiterverfolgung der Optionen „Ahaus“ und „Neubau“.

Die BGZ weist daraufhin, dass die tatsächliche Entscheidung über den weiteren Verbleib der AVR-Brennelemente deren Eigentümerin, die JEN, in enger Abstimmung mit der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde (Wirtschaftsministerium NRW – MWIDE) trifft.

Laut BASE lassen sich vor dem Hintergrund der laufenden Verfahren zeitliche Schätzungen zu einer belastbaren Entscheidung, welche der Optionen zum Tragen kommt, nicht seriös treffen.

Im Bericht der Bundesregierung für die siebte Überprüfungskonferenz im Mai 2021 zur Erfüllung des „Gemeinsamen Übereinkommens über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle“ wird die „Herstellung eines genehmigten Zustandes bei der Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente im AVR-Behälterlager in Jülich“ als Herausforderung genannt.

Bewertung

Das Zwischenlager Jülich wird nunmehr seit fast zehn Jahren ohne Genehmigung betrieben, obwohl bereits 2007 – vor mehr als 15 Jahren (!) – eine Verlängerung der Genehmigung beantragt wurde. Für das Zwischenlager in Jülich hat die zuständige Aufsichtsbehörde bereits 2014 die Räumung angeordnet. Statt schnellst möglich eine konstruktive bauliche Verbesserung anzustreben, wurde versucht, das Problem durch einen Export des abgebrannten Kernbrennstoffs in die USA zu lösen. Dieses Vorhaben hat zu massiven Protesten von Umweltgruppen in Deutschland und den USA geführt. Mit Erfolg, seit Oktober 2022 wird die Rückführung in die USA als Option für die unverzügliche Räumung nicht weiterverfolgt.

Aber noch immer wird keine konstruktive Lösung vorangetrieben, im Gegenteil, zurzeit wird auf eine Verlängerung des als nicht sicher geltenden bestehenden Lagers gesetzt. Die Erhöhung der Sicherheit

erfolgt nur auf dem Papier, in den Sicherheitsanalysen werden Sicherheitsmargen abgebaut. Auch wenn offiziell an der Option Neubau gearbeitet wird, wird die Option Transport nach Ahaus engagiert weiterverfolgt. Demnach sollen die Brennelemente in das Zwischenlager nach Ahaus transportiert werden, das dann selbst nur noch eine etwa zehnjährige Genehmigung haben wird. Zudem ist es das gegen äußere Einwirkungen am schlechtesten geschützte Zwischenlager in Deutschland.

Anhand dieser Erfahrungen kann befürchtet werden, wie die Situation der Zwischenlager bei Auslaufen der jetzigen Genehmigungen sein wird: Die Behälter werden in aufgrund von Sicherheitsbedenken nicht genehmigten Zwischenlagern noch Jahrzehnte aufbewahrt werden (müssen).

8.3 Problem: Fehlende Genehmigung für das Standort-Zwischenlager Brunsbüttel

Mit Urteil des Oberverwaltungsgerichts (OVG) Schleswig (4 KS 3/08) am 19.06.2013 wurde die Genehmigung für das SZL Brunsbüttel aufgehoben; eine Revision wurde nicht zugelassen. Sowohl das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) als Beklagte als auch der Beigeladene (Vattenfall) stellten einen Antrag auf Zulassung der Revision. Das Bundesverwaltungsgericht (BVerwG) hat mit Urteil vom 8. Januar 2015 die Beschwerde auf Zulassung der Revision abgelehnt. Mit dieser Entscheidung wurde das Urteil des OVG Schleswig, durch das die Genehmigung für das SZL Brunsbüttel aufgehoben wird, rechtskräftig. (siehe Kapitel 7)

Die Behälter werden dennoch weiterhin im SZL Brunsbüttel gelagert. Rechtsgrundlage für die Aufbewahrung der bestrahlten Brennelemente war eine bis Januar 2018 befristete Anordnung der Aufsichtsbehörde, die dann zunächst bis 31. Januar 2020 verlängert wurde. Rechtsgrundlage für die aktuelle Aufbewahrung der bestrahlten Brennelemente ist eine unbefristete aufsichtliche Anordnung nach § 19 Abs. 3 AtG des Umweltministeriums Schleswig-Holstein. Sie soll die Zeit überbrücken, bis die KKB-Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG eine neue Genehmigung erwirkt hat. (BASE 2020a)

Am 24. November 2016 erteilte die schleswig-holsteinische Atomaufsichtsbehörde zusätzlich die Zustimmung für die Bereitstellung von weiteren Behältern im SZL Brunsbüttel für eine spätere Zwischenlagerung. Die Einlagerung der im Reaktordruckbehälter befindlichen Brennelemente in Behälter und Überführung in das Zwischenlager ist 2017 erfolgt. Nach Überzeugung der Atomaufsicht wird mit der Räumung des Reaktordruckbehälters für zusätzliche Sicherheit gesorgt. Der Sicherheitsgewinn bezieht sich auch auf den Schutz des Reaktorgebäudes gegen Einwirkungen von außen (Angriffe von außen, terroristisch herbeigeführter Flugzeugabsturz). Die Atomaufsicht hatte dieses Vorhaben unter anderem in einem Rechts- und einem Sicherheitsgutachten prüfen lassen. Daraufhin war die Atomaufsicht zu dem Ergebnis gekommen, dass unter den am Standort vorhandenen Gegebenheiten die Bereitstellung im SZL als bestmögliche Schadensvorsorge im Sinne des Atomgesetzes anzusehen ist.

Das SZL Brunsbüttel wurde am 5. Februar 2006 mit der Einlagerung des ersten Behälters in Betrieb genommen. Am 31. Dezember 2015 lagerten dort neun Behälter des Typs CASTOR V/52. Inzwischen sind dort 20 Behälter gelagert. Weitere Einlagerungen sind zurzeit nicht geplant.

Am 16.11.2015 wurde ein Antrag auf eine neue Genehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen nach § 6 des Atomgesetzes (AtG) in dem bestehenden SZL Brunsbüttel gestellt. (BFS 2015e) Sie soll wie die ursprüngliche Genehmigung bis zum 4. Februar 2046 gelten. Die nunmehr beantragte Gesamtwärmeleistung, Gesamtschwermetallmasse, Gesamtaktivität und die Zahl der benötigten Behälterstellplätze sind aufgrund der vorzeitigen Außerbetriebnahme des AKW Brunsbüttel geringer als in der ursprünglichen Genehmigung festgelegt. So wurden nur noch 24 Stellplätze statt wie bisher 80 Stellplätze für das SZL Brunsbüttel beantragt.

Im Laufe des Genehmigungsverfahrens musste eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) mit Öffentlichkeitsbeteiligung durchgeführt werden. Die Einwendungen wurden in einem Erörterungstermin am 14. und 15. Juni 2017 mit der Antragstellerin und den zuständigen Behörden diskutiert. Die Einwen-

dungen sollen im weiteren Genehmigungsverfahren berücksichtigt werden. Im Januar 2019 ist die Gesellschaft für Zwischenlagerung mbh (BGZ) dem Genehmigungsverfahren beigetreten.⁵⁹ Bestandteile des Neugenehmigungsverfahrens sind auch die Inhalte aller bis zum 8. Januar 2015 beantragten und/oder erteilten Änderungsgenehmigungen.

Zur Erfüllung der Genehmigungsvoraussetzungen hat die Antragstellerin nachzuweisen, dass bei möglichen Störfällen der erforderliche Schutz gewährleistet ist. Dabei sind alle in Frage kommenden Ereignisse zu betrachten. Die Antragstellerin untersucht dabei auch Einwirkungen, die sich durch absehbare Entwicklungen am Standort neu ergeben können. Für das SZL Brunsbüttel ist folglich auch die geplante Anlage zum Umschlag und zur Lagerung von kälteverflüssigtem Erdgas (LNG-Terminal) zu berücksichtigen. Das BfE (heute: BASE) hat die Antragstellerin im atomrechtlichen Verfahren mit Schreiben vom 14.12.2018 aufgefordert entsprechende Nachweise vorzulegen. Zu den eingereichten Nachweisunterlagen wurde noch keine abschließende Bewertung getroffen.

Eine Beschleunigung des Verfahrens kann maßgeblich durch die Antragstellerin selbst und durch die Steuerung der Einreichung der erforderlichen Unterlagen und Nachweise in der entsprechenden Detailtiefe erfolgen. Seitens des Bundesamtes für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) werden die eingereichten Unterlagen zeitnah nach der jeweiligen Einreichung geprüft. (DBT 2021a)

Die atomrechtliche Aufsicht des Landes Schleswig-Holstein erhält im Rahmen von regelmäßig stattfindenden Statusgesprächen mit allen Verfahrensbeteiligten umfassende Informationen über den Stand des Genehmigungsverfahrens. (DBT 2021a)

Laut BASE lässt sich zur Dauer des Genehmigungsverfahrens keine Angabe machen. Sie hängt maßgeblich davon ab, ob die Antragsunterlagen vollständig und in der erforderlichen Qualität vorliegen.

Laut BASE fehlen nach wie vor entscheidende Sicherheitsnachweise, um die Genehmigungsvoraussetzungen für das Zwischenlager zu erfüllen. Dies betrifft beispielsweise Nachweisunterlagen für die CASTOR-Behälter. Lisa Ahlers, Sprecherin der BASE, erklärte 2020: "Für eine atomrechtliche Genehmigung sind von Betreibern der Atomanlagen ohne Wenn und Aber belastbare und prüffähige Unterlagen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zu erbringen. Die Kieler Atombehörde im Umweltministerium ist umfassend über leider immer noch ausstehende Unterlagen durch die Antragstellerin Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG bei dem für die Genehmigung zuständigen Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung informiert, u.a. zu den CASTOR-Behältern und der in unmittelbarer Nachbarschaft des Zwischenlagers für hoch-radioaktive Abfälle geplanten Störfallanlage. Eine auch im Interesse der Bundesbehörde liegende Beschleunigung des Verfahrens kann durch die aufsichtliche Einwirkungsmöglichkeit des Umweltministers auf die Antragstellerin Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG erreicht werden, indem er das Unternehmen zur zeitnahen Vorlage von vollständigen Antragsunterlagen verbindlich verpflichtet." (BASE 2020c)

Im Bericht der Bundesregierung für die siebte Überprüfungskonferenz im Mai 2021 zur Erfüllung des „Gemeinsamen Übereinkommens über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle“ wird die Herstellung eines genehmigten Zustandes bei der Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente am Brennelemente-Zwischenlager Brunsbüttel auch als Herausforderung gesehen.

⁵⁹ Anstelle eines Übergangs des Zwischenlagers auf die BGZ im Sinne des Entsorgungsübergangsgesetzes zum 01. Januar 2019, sieht das Entsorgungsübergangsgesetz den Beitritt der BGZ zu dem vom Betreiber des Zwischenlagers Brunsbüttel geführten Genehmigungsverfahren vor. Dem gesetzgeberischen Auftrag entsprechend wird die BGZ durch den Beitritt zum Genehmigungsverfahren sicherstellen, dass nach Genehmigungserteilung alle sicherheitstechnischen Anforderungen im Rahmen der späteren Betriebsführung erfüllt werden.

Zusätzlich zum laufenden Genehmigungsverfahren für die Neugenehmigung wurde am 07.02.2020 ein Antrag auf Genehmigung nach § 6 AtG für einen befristeten Zeitraum von fünf Jahren zur Aufbewahrung von bestrahlten Kernbrennstoffen außerhalb der staatlichen Verwahrung am Standort Brunsbüttel beim BASE gestellt. Die Genehmigung würde der Überbrückung des Zeitraums bis zu einer vollständigen Umsetzung der im Antrag von 2015 beschriebenen Maßnahmen dienen.

Aktuell sind also zwei Genehmigungen beantragt:

- Aufbewahrung von Kernbrennstoffen in TLB CASTOR® V/52 im SZL Brunsbüttel bis 2046
- Befristete Aufbewahrung von Kernbrennstoffen in TLB CASTOR® V/52 im SZL Brunsbüttel für fünf Jahre.

Bewertung

Auch nach Aufhebung der Genehmigung aufgrund begründeter Zweifel an den Sicherheitsnachweisen werden die Behälter weiter im Zwischenlager aufbewahrt. Zusätzlich wurden auch weitere Behälter eingelagert bzw. „bereitgestellt“. Rechtsanwalt Wollenteit hat in einem Gutachten im Auftrag von Greenpeace dieses Vorgehen als nicht rechtmäßig erklärt. (WOLLENTEIT 2017) Allerdings brachte die Umlagerung vom Reaktor in Behälter tatsächlich einen erheblichen Sicherheitsgewinn.

Sinn des UVP-Verfahrens im Rahmen der Neugenehmigung ist, dass die betroffene Öffentlichkeit die Möglichkeit erhält, sich über das Vorhaben zu informieren und gegebenenfalls Einwendungen zu erheben. Gegen den Antrag von Vattenfall, eine neue Genehmigung für das Zwischenlager zu erhalten, haben u. a. die BUND-Landesverbände in Schleswig-Holstein und Hamburg umfangreiche Einwendungen erhoben.

Aber gerade zu den Themen (gezielter Flugzeugabsturz und Behälter-Beschuss mit panzerbrechender Waffe), die der Grund für die Aufhebung der Genehmigung waren, wurden in den ausgelegten Unterlagen keine Informationen gegeben. Die Bevölkerung muss der Behörde trauen, die – wie sich im Klageverfahren herausgestellt hat – schon bei der ursprünglichen Genehmigung fehlerhaft ermittelt und bewertet hat. (siehe auch Kapitel 7)

Da es offenbar erhebliche bzw. nicht leicht zu behebbende Lücken in den Sicherheitsnachweisen gibt, hat sich nun die Betreiberin entschieden, zusätzlich eine kurze Verlängerung des ungenehmigten Lagers für fünf Jahre zu beantragen. Dieses unter Sicherheitsaspekten fragwürdige Vorgehen, ist insbesondere in Hinblick auf die ausstehenden Verlängerungen kritisch zu sehen. Gelingt es nicht die erforderlichen Sicherheitsnachweise zu erbringen, wird ein kurzer Zeitraum beantragt. Das gleiche Vorgehen aus dem gleichen Grund wird auch für das Zwischenlager Jülich angewandt. Die Prüftiefe bzw. der Umfang der zu erbringenden Nachweise ist für einen kurzen Zeitraum geringer.

8.4 Problem: Lagerung des waffenfähigen Materials aus FRM II im TBL Ahaus

Das Transportbehälterlager Ahaus (TBL-A) ist seit 1992 in Betrieb. Seit 1998 lagern dort sechs Behälter mit abgebrannten Brennelementen aus den AKWs Neckarwestheim (3 CASTOR V/19) und Gundremmingen (3 CASTOR V/52). Darüber hinaus lagern dort 305 Behälter mit THTR/AVR-Brennelementen und 18 CASTOR MTR2 Behälter mit Brennelementen aus dem Forschungsreaktor Dresden-Rossendorf. Von den 420 genehmigten Stellplätzen sind bisher 56 belegt. Bei der Lagerbelegung ist zu beachten, dass 6-7 THTR-Behälter den Stellplatz eines Lagerbehälters einnehmen. Es ist vorgesehen, das TBL Ahaus künftig für die Aufbewahrung weiterer Brennelemente aus den Forschungsreaktoren Garching bei München, Berlin und Mainz zu nutzen.

Der erste Antrag für die Einlagerung der abgebrannten Brennelemente des Forschungsreaktors FRM II in Behältern von Typ CASTOR MTR2 wurde 1995 gestellt. Er wurde jedoch zurückgezogen, da die GNS einen speziellen Transportbehälter vom Typ MTR3 konstruieren musste. Der CASTOR MTR3 unterscheidet sich vom CASTOR MTR2 hauptsächlich durch Anpassungen an die heute aktuellen verkehrs-

rechtlichen Sicherheitsvorschriften. Diese betreffen das Deckel- und Dichtsystem sowie die Stoßdämpfer. Das damals zuständige BfE (heute BASE) hat am 17. Januar 2019 die verkehrsrechtliche Zulassung für den CASTOR MTR3 erteilt. (DBT 2019a)

Am 30. September 2014 beantragte die GNS die Wiederaufnahme des atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens für die Aufbewahrung der abgebrannten Brennelemente des FRM II in das TBL Ahaus. In dem Genehmigungsverfahren wurden die sicherheits- und sicherungstechnischen Unterlagen von der Antragstellerin weitestgehend eingereicht. Die sicherheitstechnische Prüfung der darin enthaltenen Nachweisführung läuft. (DBT 2019a)

Für den Transport sind drei Genehmigungen erforderlich: Neben der bereits erteilten verkehrsrechtlichen Zulassung des Behälters CASTOR MTR3 und der beantragten Aufbewahrungsgenehmigung auch die Beförderungsgenehmigung. Die Aufbewahrungsgenehmigung nach § 6 AtG ist Voraussetzung für die Erteilung der Beförderungsgenehmigung. Das Genehmigungsverfahren wird durch die Betreiberin des Zwischenlagers Ahaus, die BGZ, geführt. Prüfende Behörde ist das BASE.

Die Beförderungsgenehmigung gemäß § 4 AtG hat das vom FRM II beauftragte Transportunternehmen Daher NT (heute: Orano NCS) beim Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (heute: BASE) beantragt. Ein Transport nach Ahaus kann erst erfolgen, wenn die noch ausstehenden Transport- und Aufbewahrungsgenehmigungen für das Zwischenlager Ahaus erteilt wurden.

Es wird erwartet, dass bis 2036 ca. 21 Behälter mit Brennelementen aus dem FRM II nach Ahaus transportiert werden.

Das Transportfahrzeug wurde entsprechend der Beförderungsgenehmigung von der Firma Orano NCS entwickelt. Es wird eine Zugmaschine mit einem angehängten Auflieger sein. Es ist nach der anzuwendenden SEWD-Richtlinie („Richtlinie für den Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter bei der Beförderung von Kernbrennstoffen auf der Straße und der Schiene“) ausgelegt. Details hierzu können aus Sicherheitsgründen nicht bekannt gemacht werden, um die Wirksamkeit dieser Maßnahmen nicht zu beeinträchtigen.

Für die Beschaffung und Bereitstellung des Spezialfahrzeugs für den Transport bestrahlter Brennelemente des FRM II belaufen sich die Kosten nach Angaben des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz auf 1,555 Mio. Euro. Die Kosten trägt die Technische Universität München (TUM). Eigentümer ist die Firma Daher Nuclear Technologies GmbH. (DBT 2019a)

Die Bundesregierung erklärte, dass zusätzliche Safeguard-Maßnahmen von der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) bzw. der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) in Ahaus mit Blick auf die Einlagerung der hochangereicherten waffenfähigen Brennelemente nicht erforderlich sind. Bei den abgebrannten FRM II Brennelementen handelte es sich nicht um direkt nutzbares, waffenfähiges Material. Um das in den bestrahlten Brennelementen enthaltene hochangereicherte Uran (highly enriched uranium – HEU) missbräuchlich zu verwenden, müssten die Brennelemente zunächst aufgearbeitet werden. Deutschland verfügt nicht über eine entsprechende Anlage zur Wiederaufarbeitung. Die IAEO hat Deutschland seit 2009 mit der sogenannten Broader Conclusion jährlich bescheinigt, dass Deutschland die Verpflichtungen entsprechend des Nuklearen Nichtverbreitungsvertrags (NVV) einhält, kerntechnische Anlagen und Kernmaterial ausschließlich für friedliche Zwecke zu nutzen. Teil der „Broader Conclusion“ ist auch die Feststellung, dass es in Deutschland keinerlei Hinweise auf nicht-deklarierte Aktivitäten wie z. B. eine geheime Wiederaufarbeitungsanlage gibt. Zusätzliche Safeguard-Maßnahmen von EURATOM/IAEO werden somit in Ahaus mit Blick auf die Einlagerung der FRM II Brennelemente nicht erforderlich. (DBT 2018b)

Die Bundesregierung erklärte weiterhin, dass es weder geplant noch erforderlich sei, die hochangereicherten Brennelemente vor einer weiteren Zwischenlagerung abzureichern. Laut Bundesregierung erfolgt die nukleare Sicherung gemäß dem gültigen Regelwerk gegen Störmaßnahmen oder sonstige Ein-

wirkungen Dritter (SEWD). Dieses SEWD-Regelwerk umfasst auch Maßnahmen zur Sicherung hochangereicherter Uranbrennelemente. Auf Details kann nicht eingegangen werden, um die Wirksamkeit der Maßnahmen nicht zu beeinträchtigen. (DBT 2018b)

Gemäß den Nebenbestimmungen 5.6. bis 5.8 der dritten Teilgenehmigung des FRM II sind vor einer möglichen Beladung des CASTOR MTR3 spätestens sechs Monate vor dem erstmaligen Einsatz des Transportbehälters im FRM II eine Reihe von Anforderungen zu erfüllen. So muss ein Arbeits- und Schrittfolgeplan für die Handhabung, Beladung und Abfertigung der Behälter vorgelegt sowie die sicherheitstechnische Eignung der Handhabungseinrichtungen im Reaktorgebäude nachgewiesen werden.

Laut einer Pressemeldung der TU München vom 30.03.2022 bereitet sich die TU München auf die geplanten Transporte der abgebrannten Brennelemente vor. (FRM 2022a) Die abgebrannten FRM II-Brennelemente sollen wie geplant in den nächsten Jahren in mehreren Transporten ins Zwischenlager Ahaus der BGZ gebracht werden. Ende 2021/Anfang 2022 führte das FRM II-Fachpersonal alle Arbeitsschritte des Funktionstests erfolgreich durch: die Handhabung des Transport- und Lagerbehälters CASTOR MTR3 sowie das Be- und Entladen des Transportfahrzeugs. Der Funktionstest fand in Anwesenheit der Sachverständigen und der zuständigen Behörden statt. Für den Funktionstest kam ein "Dummy-Brennelement" zum Einsatz.

Jedes FRM II-Brennelement liefert bis zu 60 Tage lang Neutronen für Forschung, Industrie und Medizin. Nach ihrem Einsatz werden die abgebrannten Brennelemente im Abklingbecken der Forschungs-Neutronenquelle für mindestens 6,5 Jahre aufbewahrt. Laut Genehmigung dürfen dort maximal 50 BE gelagert werden. Zurzeit befinden sich 47 abgebrannte Brennelemente im Abklingbecken des Reaktors. Der Behältertyp CASTOR MTR3 kann jeweils maximal 5 Brennelemente aufnehmen, für die 47 abgebrannten Brennelemente werden damit insgesamt 10 Behälter benötigt. Pro Transport soll ein Behälter transportiert werden.

In einer Pressemitteilung vom 25.11.2022 wurde bekannt gegeben, dass die Forschungs-Neutronenquelle (FRM II) der Technischen Universität (TUM) aus wissenschaftlicher Sicht auf ein Brennelement mit niedrig angereichertem Uran (LEU) umgerüstet werden kann. Das haben Forschende der TUM berechnet, die Ergebnisse wurden von Experten aus den USA unabhängig bestätigt. Erstmals haben Forschende an der Forschungs-Neutronenquelle mit aufwändigen Computersimulationen eine Umrüstungsoption identifiziert, die mit einem Brennstoff mit einer Anreicherung unter 20 % des Uran-235 funktionieren soll. Damit ist nun die theoretische Grundlage für die Umsetzung der Vorgaben der staatlichen Genehmigungsbehörden vorhanden, auf hoch angereichertes Uran (HEU) als Brennstoff am FRM II in der Zukunft zu verzichten.

In ihrer Studie treffen die Wissenschaftler keine Aussage darüber, ob das von ihnen errechnete Brennelement so auch hergestellt werden kann. In den USA sei aber der Produktionsprozess für solche Elemente verfügbar. Die Aussicht auf den Einsatz niedrig angereicherter Urans eröffne dem FRM II auch neue Kooperationsmöglichkeiten mit den USA. Derzeit stammt das Uran für die Brennstäbe im FRM II aus Russland, gefertigt werden die Brennelemente in Frankreich. Vor der tatsächlichen Umrüstung stehen aber noch einige Schritte. (SZ 2022)

Eine Nebenbestimmung in der dritten Teilgenehmigung des FRM II sieht eine Umrüstung auf einen „Brennstoff mit höchstens 50% Uran-235 Anreicherung“ vor, „sobald der neue Brennstoff entwickelt, qualifiziert und industriell verfügbar ist“. In einer Vereinbarung aus dem Jahr 2020 haben die Wissenschaftsministerien von Bund und Bayern festgelegt, im Jahr 2023 aufgrund der bis dahin vorliegenden Forschungsergebnisse über die Brennstoffvariante zu entscheiden. Bis 2025 soll das Genehmigungsverfahren für den neuen Brennstoff eingeleitet werden. (FRM 2022b)

Laut BLT (2022) wird davon ausgegangen, dass Bund und BGZ auch nach 2036 eine rechtssichere Entsorgungsmöglichkeit bereitstellen werden. Insofern wird kein Problem gesehen, in

ein Zwischenlager mit einer bereits im nächsten Jahrzehnt auslaufenden Genehmigung zu transportieren und einzulagern.

Am 1. April 2022 haben Landtagsabgeordnete der Partei Bündnis 90/Die Grünen aus Bayern und Nordrhein-Westfalen das Zwischenlager Ahaus besucht. Die BGZ informierte sie dort über die geplante Aufbewahrung von Brennelementen aus dem Forschungsreaktor München II (FRM II).

Die Aufbewahrung von Brennelementen aus deutschen Forschungsreaktoren im Zwischenlager Ahaus sei das Ergebnis langjährig bestehender Vereinbarungen: So habe die Stadt Ahaus 1993 der Aufbewahrung zugestimmt. Auf dieser Basis habe die damalige Betreiberin des Zwischenlagers Ahaus im Jahr 2000 Verträge mit den Betreibern der deutschen Forschungsreaktoren geschlossen, erklärte der BGZ-Bereichsleiter. Im laufenden Genehmigungsverfahren hat die BGZ bereits umfassende Nachweise zur Sicherheit der Aufbewahrung eingereicht. Außerdem wurden Nachweise dazu vorgelegt, dass der Schutz gegen eine Entwendung der Brennelemente und sonstigen Zugriff durch Dritte von außen jederzeit gewährleistet ist. (BGZ 2022a)

Bewertung

Die abgebrannten Brennelemente des FRM II lagern bisher in einem Nasslager, ein Zwischenlager am Standort existiert nicht. Sie enthalten 87,5% angereichertes und damit waffenfähiges Uran. Ein CASTOR MTR3 kann fünf Brennelemente aufnehmen und damit ausreichend spaltbares Material, um mindestens eine Uran-Atombombe herstellen zu können.

Ab einer Anreicherung von mehr als 20 Prozent gilt Uran als hoch angereichert und waffentauglich. Die Verwendung dieses Brennstoffs widerspricht dem internationalen Programm zur Umstellung von Forschungsreaktoren auf niedrig angereichertes Uran. Vor Inbetriebnahme hat die Reaktorsicherheitskommission (RSK) 2001 die Abreicherung dieser Abfälle empfohlen. Die Empfehlung der RSK ging in die 3. Teilerrichtungsgenehmigung (TG) des FRM II ein. Die Technische Universität München ist laut Betriebsgenehmigung nach § 9a Abs. 1a AtG verpflichtet, ein Konditionierungsverfahren zu entwickeln. (DBT 2019a) Dieses ist bisher nicht erfolgt. Der BUND Landesverband Bayern klagt gegen den Betrieb des FRM II.⁶⁰

Über 70 Anti-Atom-Initiativen und -Verbände, die sich als „fachlich-politisches, parteiunabhängiges Forum für Betroffene und Akteure von den Standorten, an denen Atom Müll liegt oder an denen die Lagerung vorgesehen ist“ zur Atom Müllkonferenz zusammengeschlossen haben, fordern in einem Positionspapier vom November 2018 daher die Schließung des FRM II wegen wiederholter Nichterfüllung der Genehmigungsaufgaben sowie die Errichtung eines Standort-Zwischenlagers und die Entwicklung von Technologien zur Abreicherung des Urans in Garching. (DBT 2019a) Die Entwicklung eines nicht hochangereicherten und damit nicht waffenfähigen Kernbrennstoffs ist ein guter Schritt in Richtung einer Risikominderung. Die bisher erzeugten und bis zum Einsatz des neuen Brennstoffs anfallenden hochangereicherten BE müssten dennoch zwischengelagert werden.

Die Schlussfolgerung einer Studie der Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien, die im Auftrag des Nationalen Begleitgremiums (NBG) erstellt wurde, lautet: „Aufgrund des relativ geringen Gewichts dieser CASTOREN und der nicht vorhandenen Strahlenbarriere des CASTORs selbst müssen die abgebrannten FRM II Brennelemente im Zwischenlager als proliferationsgefährdet eingestuft werden“. Zur Minderung dieser Risiken wird die Abreicherung oder die Vermischung mit Natururan vorgeschlagen. Weitere sicherheitsrelevante Kriterien wie Rekritikalität und Flugzeugabsturz werden betrachtet. Die Studie stellt fest: „Der physische Schutz von Zwischenlagern entspricht, [...] nicht demjenigen für die

⁶⁰ Nichtigkeit der 3. TG durch Nichtbeachtung der Auflagen und infolgedessen Einstellung des Betriebs – Betriebseinstellung aufgrund fehlender atomrechtlicher Genehmigung.

Lagerung von Waffenmaterial. Unter der Voraussetzung, dass Angreiferinnen und Angreifer das Zwischenlager betreten und wieder verlassen können, sind Diebstahlsszenarien möglich. Ein Abtransport eines ca. 50 kg schweren Brennelements wäre vergleichsweise einfach. Daher ist das Risiko eines Diebstahls eines Brennelements des FRM II aus dem Zwischenlager als nicht ausgeschlossen und damit proliferationsrelevant einzustufen.“ (ISR 2017)

Obwohl die Studie zu dem Ergebnis kommt, dass vor der weiteren Zwischenlagerung dieser hoch-radioaktiven Abfälle aus Gründen des Terrorschutzes und der Proliferationssicherheit eine Abreicherung des Urans erfolgen muss, widerspricht die Bundesregierung mit Verweis auf den Nachweis der Unterkritikalität. Auf die Risiken von Diebstahl und die Folgen eines Anschlages beim Transport oder der Zwischenlagerung dieser hoch angereicherten Brennelemente geht die Bundesregierung in ihrer Antwort nicht ein. Zudem weist das 2017 vom Nationalen Begleitzentrum (NBG) in Auftrag gegebene Gutachten zum FRM II darauf hin, dass diese radioaktiven Abfälle derzeit nicht endlagerfähig sind. (DBT 2019a)

Die bestrahlten Brennelemente des FRM II, die noch immer waffenfähig sind, sollen nun über Jahrzehnte in einem relativ schlecht geschützten Zwischenlager in Ahaus lagern, dessen Betriebsgenehmigung zudem bereits 2036 und damit deutlich vor der geplanten Inbetriebnahme des geologischen Tiefenlagers endet. Diese Vorgehensweise ist unter Risikogesichtspunkten unververtretbar. Da ein betriebsbereites Endlager voraussichtlich frühestens gegen Ende dieses Jahrhunderts zur Verfügung stehen wird, ist diese risikoreiche Zwischenlagerung noch Jahrzehnte lang erforderlich.

9 (Unnötige) Transporte

In diesem Kapitel werden die ausstehenden und in den letzten Jahren durchgeführten Transporte mit hoch-radioaktiven Abfällen und die damit einhergehenden Gefahren diskutiert.

9.1 Überführung der Behälter von Zwischenlagerstandorten zum Endlagerstandort

In Zukunft müssen knapp 1.400 Behälter vom Typ B mit bestrahlten Brennelementen und Wiederaufarbeitungsabfällen sowie ggf. einige 100 mit bestrahlten Brennelementen aus Versuchs-, Demonstrations- und Forschungsreaktoren von den Zwischenlagerstandorten zum Endlagerstandort transportiert werden. (ÖKO-INSTITUT & GRS 2015a)

Bei einem Transport mit der Eisenbahn können gleichzeitig mehrere Behälter, bei einem Transport mit dem LKW nur jeweils ein Behälter befördert werden. Die Transporte sollen, zumindest auf längeren Strecken, überwiegend mit der Eisenbahn durchgeführt werden. Insgesamt handelt es sich um eine sehr große Zahl von erforderlichen Transporten. Mögliche Umweltauswirkungen können laut Umweltbericht durch Direktstrahlung beim unfallfreien Transport sowie durch Direktstrahlung und Freisetzen nach Transportunfällen resultieren. (ÖKO-INSTITUT & GRS 2015a)

Laut BGZ benötigt der Transport der Abfälle von den Zwischenlagern zum Endlager **mindestens** 20 Jahre. (BGZ 2023e) Ausgehend von einer 30-jährigen Betriebszeit des Endlagers wird unterstellt, dass sich die Transporte gleichmäßig über einen Zeitraum von 30 Jahren erstrecken. Somit ergibt sich die Transportfrequenz von den Zwischenlagern zum Eingangslager von ca. 60 Behältern pro Jahr. (ESK 2023)

9.2 Transporte zur Rückholung der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung

Bestrahlte Brennelemente dürfen laut Atomgesetz seit 2005 nicht mehr zur Wiederaufarbeitung ins Ausland verbracht werden. Insofern werden derartige Transporte nicht mehr durchgeführt. Jedoch müssen die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung rückgeführt werden. Transporte mit der Rückführung der hoch-radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in die SZL Brokdorf, Isar und Philippsburg stehen noch aus. (Siehe Kapitel 8.1)

Die Landesregierung Baden-Württemberg erklärt, dass der Transport von abgebrannten Brennelementen und die Rückführung der radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung im Ausland in der Vergangenheit auf erheblichen Widerstand durch Blockaden, Behinderungen und Sabotagen stießen. Rücktransporte von radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung müssen daher auch weiterhin mit einem erheblichen Aufwand von Bundes- und Landespolizei gesichert werden. (BW 2019a) Der Transport in das Zwischenlager SZL Biblis im November 2020 war mit zahlreichen Protesten begleitet.

9.3 Transporte vom AKW Obrigheim zum SZL Neckarwestheim

Das Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE, heute BASE) hat am 16.05.2017 die Beförderung von 15 Behältern aus dem AKW Obrigheim in das SZL Neckarwestheim genehmigt.⁶¹ Den Antrag auf Beförderung hatte die Firma DAHER im Auftrag der EnBW Kernkraft GmbH am 27.03.2014 gestellt. Gestattet wurden maximal acht Transporte mit einem Binnenschiff über den Neckar. Bei den Transporten wurden Behälter vom Typ CASTOR 440/84 mvK eingesetzt. (BFE 2017a)

Bei der Genehmigung handelt es sich um eine sogenannte gebundene Entscheidung nach § 4 AtG. Das heißt: Wenn alle gesetzlich vorgeschriebenen Anforderungen erfüllt sind, besteht ein Rechtsanspruch auf eine Genehmigung. Dies beinhaltet unter anderem den Nachweis, dass die Transporte ausreichend gegen Einwirkungen Dritter, wie zum Beispiel Terror- und Sabotageakte, geschützt sind. (BFE 2017a)

Der erste Transport fand am 28. Juni 2017 statt, begleitet durch zahlreiche Proteste. Die Gemeinde Neckarwestheim beabsichtigte über den Rechtsweg weitere derartige Transporte zu verhindern. (SWR 2017) Auch wenn in dem Verfahren Teilerfolge erzielt wurden, fanden alle weiteren Transporte statt. Die 15 Castor-Behälter mit abgebrannten Brennelementen wurden zwischen dem 28. Juni 2017 und dem 19. Dezember 2017 in fünf Schiffstransporten mit jeweils drei Castor-Behältern auf dem Neckar zum SZL Neckarwestheim befördert. (BW 2019a)

Für die Transporte der Behälter von Obrigheim nach Neckarwestheim im Jahr 2017 wurde im Vorfeld ermittelt, welche möglichen Strahlenbelastungen bei dem Beschuss mit einer panzerbrechenden Waffe resultieren würden. Für die Ermittlung der Strahlenbelastungen wurde von der GRS erneut die zu geringe Freisetzungsmenge aus dem Behälter in Höhe von einem Gramm unterstellt. Sie wurde, wie bereits im Urteil zur Aufhebung der Genehmigung für das SZL Brunsbüttel dargestellt, fehlerhaft ermittelt. (siehe Kapitel 7.2)

Aber selbst mit dieser zu geringen Freisetzungsmenge würde durch einen Hohlladungs(HL)-Beschuss in der Umgebung der transportierten Behälter eine erhebliche Strahlenbelastung für die Bevölkerung resultieren. Ohne zusätzlichen Schutz wären die radiologischen Auswirkungen nach einem potenziellen Beschuss oberhalb der zulässigen Inhalationsdosis. Daher werden die Behälter mit einer Einhausung transportiert.

Bei einem Beschuss sollen sich die Lamellenfenster der Einhausung automatisch schließen, so dass die radioaktiven Stoffe nur durch das Einschussloch freigesetzt werden können und nur ein Teil der durch den HL-Beschuss aus dem Behälter freigesetzten radioaktiven Stoffe in die Atmosphäre

⁶¹ Für den Standort Obrigheim wurde zwar am 22.04.2005 der Bau eines Standortzwischenlagers (SZL) für 15 Behälter mit insgesamt 342 bestrahlten Brennelementen aus dem stillgelegten AKW Obrigheim beantragt. Die EnBW Kernkraft GmbH (EnKK) stellte am 10.12.2013 aber auch einen Antrag zur Aufbewahrung dieser Brennelemente im SZL Neckarwestheim. Eine entsprechende Genehmigung nach § 6 AtG wurde am 09.08.2016 erteilt. Das SZL Neckarwestheim verfügt über 151 Stellplätze für Behälter. Insgesamt werden rund 125 Plätze für die Zwischenlagerung der Brennelemente aus den beiden Reaktoren des AKW Neckarwestheim benötigt. Die Unterbringung der 15 Castoren aus dem AKW Obrigheim war daher möglich.

freigesetzt werden kann. Die Höhe der Freisetzung soll ca. 1 % der nach einem HL-Beschuss aus dem Behälter freigesetzten Stoffe betragen.

Es ist allerdings nicht plausibel, dass der automatische Verschluss der Lamellen tatsächlich schnell genug erfolgen kann, um eine Freisetzung derart wirkungsvoll und zuverlässig zu begrenzen. Die Freisetzung der radioaktiven Stoffe nach dem HL-Beschuss erfolgt extrem schnell (im Milli-Sekunden-Bereich). Ein Hohlladungstachel bewegt sich mit 8.000 Metern in einer Sekunde. Es ist nicht vorstellbar und wird auch technisch nicht näher erläutert, wie sich die Lamellen so schnell schließen sollen. Das Auslösen sowie insbesondere das dichte Schließen der Lamellen innerhalb eines Zeitraums von weniger als einer Sekunde ist technisch nicht vorstellbar. Insofern würden die radioaktiven Partikel nach einem HL-Beschuss freigesetzt, bevor die Lamellen vollständig dicht schließen.

Die Auslösung des Schließmechanismus im Bereich von etwa 15 Milli-Sekunden ist zwar möglich, eine derart schnelle Auslösung wird z. B. bei Airbags angewendet. Das mechanische Schließen der Lamellen unter einer Sekunde ist aber technisch eine Herausforderung. Dabei macht insbesondere das schnelle und dichte Schließen der Lamellen Schwierigkeiten, denn die Lamellen könnten bei einem schnellen Aufprall auf das Wandmaterial zurückprallen. Insofern ist ein relativ „langsameres“ Schließen technisch erforderlich, wenn ein vollständiges und dichtes Schließen beabsichtigt wird.

Weiterhin ist zu bezweifeln, dass die Lamellen so dicht schließen, dass die sehr kleinen radioaktiven Partikel nicht mehr freigesetzt werden können. Relevant für die Höhe der radiologischen Auswirkungen ist nicht, welche Menge an radioaktiven Partikeln insgesamt, sondern welche Menge an lungengängigen Partikeln freigesetzt wird. Lungengängige Partikel haben einen Durchmesser von unter 5 Mikrometer (μm).

Annähernd die gesamte Wandfläche der Einhausung besteht aus Lamellen. Es scheint lediglich eine Abschätzung zu sein, dass nur 1 % der aus dem Behälter freigesetzten radioaktiven Partikel aus der Einhausung in die Umwelt freigesetzt werden. Praktische Versuche oder wissenschaftliche Untersuchungen sind offenbar nicht erfolgt, was angesichts des Gefährdungspotenzials zwingend erforderlich gewesen wäre.

Für die genannte Abschätzung von 1 % der radioaktiven Stoffe aus dem Behälter werden zudem, wie bei wissenschaftlichen Arbeiten erforderlich, keine Fehlergrenzen angegeben, d.h. der Bereich für die möglichen Freisetzungsmengen. Dieser könnte sich aufgrund der Schwierigkeiten bzw. Unsicherheiten bei einer derartigen Abschätzung über einen großen Bereich erstrecken (z. B. 0,5 bis 60 %).

Insgesamt ist weder plausibel noch belegt, dass die Automatik die Lamellen schnell und insbesondere ausreichend dicht schließen kann. Insofern muss davon ausgegangen werden, dass die Freisetzung radioaktiver Stoffe aus der Lagerhalle eines SZL vergleichbar mit der Freisetzung aus der Einhausung beim Transport eines Behälters ist.

9.4 Transporte von bestrahlten Brennelementen aus Forschungsreaktoren

Am 26. Juni 2017 wurden letztmalig 33 bestrahlte Brennelemente aus dem **Berliner Forschungsreaktor BER II** mit niedrigangereichertem Uran (LEU) in die USA transportiert. Das zugrundeliegende Abkommen galt für Brennelemente, die bis Mai 2016 bestrahlt wurden. (BMU 2018a) Der Transport erfolgte vom Hafen Nordenham auf dem Seeweg. Die erforderliche Transportgenehmigung wurde noch vor Inkrafttreten des neuen Standortauswahlgesetzes erteilt. Nach neuer Rechtslage ist eine Ausfuhr abgebrannter Brennelemente untersagt und nur noch in schwerwiegenden Ausnahmefällen für hochradioaktiven Abfall aus Forschungsreaktoren möglich. Die 2017 erfolgte Rückführung bestrahlter

Brennelemente aus einem Forschungsreaktor entspricht einem Abkommen mit den USA zur Nichtverbreitung von waffenfähigem Uran.⁶² (BMUB 2017a) Es ist geplant, die bestrahlten Brennelemente zukünftig in das TBL Ahaus zu transportieren.

Der erste Transport **abgebrannter Brennelemente des FRM II in das TBL Ahaus** war für die zweite Jahreshälfte 2018 vorgesehen. Bis Ende 2036 sollten ca. 17 Transporte (pro Transport maximal fünf abgebrannte Brennelemente) erfolgen. (LT B 2015a) Das Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE, heute BASE) hat am 17. Januar 2019 die verkehrsrechtliche Zulassung des Transport- und Lagerbehälters CASTOR MTR3 erteilt. Der Behälter ist von der Gesellschaft für Nuklear-Service mbH (GNS) speziell für abgebrannte Brennelemente aus Forschungsreaktoren entwickelt worden. (GNS 2019a)

Forschung zur Transportsicherheit

Der Transport nach verlängerter Zwischenlagerung steht in enger Verbindung zu Untersuchungsvorhaben „Sicherheit der Zwischenlagerung“. Fragen der Transportsicherheit sind als wichtige Randbedingung der Entsorgung konsequent mit zu betrachten. Laut BfE (heute BASE) ist in Zusammenhang mit dem Transport die Bewertung von Methoden zur Bestimmung von Dosisleistung und Kritikalitätssicherheit wichtig.

Aus Sicht des BfE (heute BASE) ist die Entwicklung von generischen Rechenmodellen zur Bestimmung der radiologischen Auswirkungen von SEWD Ereignissen erforderlich. Abhängig von dem Tatmittel und der konkreten Transportkonfiguration sind aber auch komplexe numerische Berechnungen erforderlich, da generische Berechnungen entweder zu wenig die tatsächlichen physikalischen Vorgänge abbilden oder aufgrund ihres einfachen Ansatzes zu viele Konservativitäten beinhalten. (BfE 2019c)

9.5 Bewertung

Das Entsorgungskonzept der Bundesrepublik Deutschland sieht vor, die abgebrannten Brennelemente an den Standorten der Atomkraftwerke zwischenzulagern, bis sie endlagergerecht konditioniert und endgelagert werden. So sollen Transporte vermieden werden. Dieses aus sicherheitstechnischen Gründen grundsätzlich richtige Konzept sollte aber nur dann weiter beibehalten werden, wenn erhebliche Nachrüstungen oder Neubauten erfolgen, damit die langfristigen Zwischenlager so risikoarm wie möglich betrieben werden können. Die dennoch notwendigen Transporte sollten unter geeigneten konstruktiven Sicherheitsmaßnahmen erfolgen.

Insgesamt sind mindestens 150 Transporte von Zwischenlagern zu dem Standort des geologischen Tiefenlagers zu erwarten.⁶³ Daher sollten diese erst erfolgen, wenn das geologische Tiefenlager sicher in Betrieb genommen wird. Verfrühte Transporte zu einem vermeintlichen Eingangslager können eine ganze Reihe unnötiger Transporte zur Folge haben.

Ein Integritätsverlust eines Behälters während des Transports durch einen Unfall oder einen Terrorangriff würde massive Strahlendosen in der Umgebung verursachen. In einer Studie (INTAC 1996) wurde nach einem schweren Unfall beim Transport von verglasten, hoch-radioaktiven Abfällen eine Überschreitung des Störfallplanungswertes der Strahlenschutzverordnung von 50 mSv noch in 15 km Entfernung vom Unfallort und aufgrund der Strahlenbelastungen die Notwendigkeit der Umsiedlung der Bewohner*innen für ein Gebiet bis in ca. 5 km Entfernung ermittelt. In dieser Studie wurde deterministisch vorgegangen, d.h. die Eintrittswahrscheinlichkeit wurde nicht berücksichtigt, sondern stattdessen unter Berücksichtigung der natur- und ingenieurwissenschaftlichen Möglichkeiten ein Szenario

⁶² Das Abkommen gilt für Brennelemente, die bis Mai 2016 bestrahlt wurden. Die Rückführung ist mit einem vollständigen Eigentumsübergang verbunden, d.h. es besteht keine Verpflichtung zur Rücknahme von radioaktiven Abfällen.

⁶³ Es wird hier unterstellt, dass bei einem Transport ca. 10 bis 12 Behälter transportiert werden.

für den maximal glaubhaften Unfall entwickelt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Grenzwert bei sehr schweren Unfällen durchaus auch in größeren Entfernungen überschritten werden kann.

Exemplarisch für einen Terrorangriff auf Behälter während des Transports sollen hier die möglichen Folgen eines relativ einfach auszuführenden Terroranschlags, der Beschuss mit einer tragbaren panzerbrechenden Waffe, genannt werden. Für den Beschuss eines mit bestrahlten Brennelementen beladenen Transport- und Lagerbehälters vom Typ CASTOR mit einer panzerbrechenden Waffe wurde in einer Studie der Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit mbH eine Strahlenbelastung von 300 mSv in 500 m Entfernung ermittelt. (GRS 2003) Für ein ähnliches Szenario mit zusätzlicher Berücksichtigung eines Zircaloy-Brandes im Behälter wurde in einer weiteren Studie die Notwendigkeit der Umsiedlung der Bevölkerung für ein Gebiet bis in ca. 5 km Entfernung ermittelt. (GÖK/UIM 2004)

Der Transport der Brennelemente aus dem Nasslager in Obrigheim in Transport- und Lagerbehältern in das SZL Neckarwestheim trug zur Verminderung des Unfallrisikos am Standort Obrigheim bei. Solange allerdings die Transporte unter nicht ausreichenden Sicherungsmaßnahmen durchgeführt würden, würde insgesamt das Risiko für die Bevölkerung nicht gemindert. Zumindest wurde mit der Einhausung der Behälter der Versuch unternommen, potenzielle Freisetzungen zu begrenzen.

Vor allem ist wenig nachvollziehbar, warum ohne vorhandenes Gesamtkonzept für die langfristige Zwischenlagerung aktuell Transporte erfolgen. So kann nicht ausgeschlossen werden, dass die hoch-radioaktiven Stoffe häufiger und über größere Strecken als erforderlich transportiert werden müssen.

Das gilt auch und insbesondere für die Transporte aus Nicht-Leistungsreaktoren zum TBL Ahaus. Besonders problematisch ist, dass der FRM II mit hoch angereichertem Uran (Highly Enriched Uranium – HEU) betrieben wird und auch nach Einsatz im Reaktor mit 87,5 Prozent Anreicherung noch hoch angereichert und damit waffenfähig ist. Es kann für den Bau von Atombomben verwendet werden (Proliferationsrisiko). (Siehe Kapitel 8.4)

Dezentrale Zwischenlager direkt an den Standorten der Erzeugung sind gegenüber zentralen Lagern vorzuziehen, da sie die erforderlichen Transporte von radioaktiven Stoffen und das damit verbundene Risiko minimieren. Das gilt aber nur dann, wenn die Zwischenlager ausreichend geschützt sind. Ein durch konstruktive Maßnahmen gesicherter Transport in ein besser gesichertes Lager kann insgesamt die Risiken für die Bevölkerung minimieren. In einem Abwägungsprozess sollten die Risiken von notwendigen Lagerungen und Transporten im Rahmen eines Gesamtkonzeptes für die Zwischenlagerung bewertet werden.

10 Unplausibles Eingangslager

Um die zeitliche Lücke zwischen dem Ende der Zwischenlagereignisgenehmigungen und der Inbetriebnahme des Endlagers zu schließen, sieht das NaPro die schnelle Errichtung eines großen Eingangslagers am Endlagerstandort vor. Dieses kann laut NaPro bereits nach der ersten Teilgenehmigung des Endlagers errichtet werden. Angaben zur Kapazität des geplanten Eingangslagers sind im NaPro nicht vorhanden. Etwa 1.400 Behälter mit abgebrannten Brennelementen und Abfällen aus der Wiederaufarbeitung sowie ggf. einige hundert Behälter mit Brennelementen aus Nicht-Leistungsreaktoren müssen an den Endlagerstandort transportiert werden und könnten so gleichzeitig im Eingangslager aufbewahrt werden.

Im Umweltbericht zum NaPro wurde angenommen, dass das Eingangslager etwa 500 Stellplätze für Behälter mit abgebrannten Brennelementen und Abfällen aus der Wiederaufarbeitung hat. Die Auslegung und Sicherheitsanforderung an das Eingangslager werden im NaPro nicht genannt. Allerdings wird im Umweltbericht in einem Analogieschluss zur Größe des Transportbehälterlagers in Ahaus und der Standortzwischenlager die Flächeninanspruchnahme ermittelt. Es wird eine Gebäudehöhe von 20 m und eine Gebäudelänge von etwa 200 m abgeschätzt. (ÖKO-INSTITUT & GRS 2015a)

In der Stellungnahme zu den Einwendungen im Rahmen des UVP-Verfahrens des NaPro erklärt die Bundesregierung, dass derzeit keine konkreten Planungen zur Dimensionierung des Eingangslagers

vorliegen, daher wurden im Umweltbericht Annahmen verwendet. Eine genaue Planung wird zum Zeitpunkt der Antragstellung für die Genehmigung für ein solches Eingangslager vorliegen. (BMUB 2016a) Weiterhin wird von der Bundesregierung erklärt, dass es nicht notwendig sei, alle einzulagernden Behälter zeitgleich in dem Eingangslager unterzubringen, da der Transport zum Lager eine längere Zeitspanne benötige und schon um das Jahr 2050 ein Abfluss der hoch-radioaktiven Abfälle in das Endlager erfolgen soll. (BMUB 2016a)

Im aktuellen dritten Bericht zur Durchführung der Richtlinie 2011/70/EURATOM von August 2021 wird noch erklärt, dass derzeit bei dem Standortauswahlverfahren keine Verzögerungen im Hinblick auf die Umsetzung des Nationalen Entsorgungsprogrammes vorliegen. Die Standortfestlegung für ein Endlager für hoch-radioaktive Abfälle soll bis 2031 erfolgen. Zu den nächsten zeitlichen Schritten auf dem Weg zur sicheren Entsorgung der abgebrannten Brennelemente gehört auch die Genehmigung und Errichtung eines Eingangslagers für abgebrannte Brennelemente und Abfälle aus der Wiederaufarbeitung am ausgewählten Standort für das Endlager. Die zeitliche Fixierung dieses Zwischenschritts erfolgt erst, wenn aufgrund des Verfahrensfortschritts eine ausreichende Planungssicherheit dafür vorliegt.

10.1 Bewertung

Das NaPro lässt offen, ob alle bestrahlten Brennelemente und Abfälle aus der Wiederaufarbeitung gleichzeitig oder nacheinander, also durchlaufend, in dem Eingangslager aufbewahrt werden sollen. Den Äußerungen der Bundesregierung zu diesem Thema ist zu entnehmen, dass noch keine konkrete Planung vorliegt. Es wird aber offenbar davon ausgegangen, dass zunächst die Behälter einiger Zwischenlager in das Eingangslager transportiert werden, und dann nach und nach die anderen Lager geräumt werden, sobald Behälter in das geologische Tiefenlager eingelagert wurden.

In der Äußerung der Bundesregierung wurde aber bisher ausgeblendet, dass eine Inbetriebnahme um das Jahr 2050 von vielen Experten für unrealistisch gehalten wird. Zudem wird die Einlagerung voraussichtlich 20-30 Jahre andauern. Nach den Plänen der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) soll frühestens 2046 ein Endlager-Standort feststehen. Die BGE räumt aber ein, eine Entscheidung könne auch erst 2068 fallen. Die Inbetriebnahme eines Endlagers würde sich entsprechend ebenfalls erheblich verzögern.

Das zentrale Eingangslager kann laut NaPro bereits nach der ersten Teilgenehmigung des Endlagers errichtet werden. Mit der ersten Teilgenehmigung für das Endlager besteht jedoch weder Rechtssicherheit noch die Garantie, dass das Endlager tatsächlich in Betrieb genommen wird. Insofern könnten, falls sich der Standort als ungeeignet für ein Endlager herausstellt, eine Vielzahl von Transporten an einen neuen Standort erforderlich sein.

Auch die Endlagerkommission wies auf mögliche Schwierigkeiten mit dem Eingangslager hin: Die Konzentration eines Großteils der hoch-radioaktiven Abfallstoffe im Eingangslager am Endlagerstandort kann die Legitimität der Standortauswahl im Nachhinein beeinträchtigen, vor allem wenn die hoch-radioaktiven Abfälle länger im Eingangslager verbleiben. Wenn dieses Lager errichtet wird bevor das Endlager eine rechtskräftige Genehmigung hat, entsteht der Eindruck einer Vorentscheidung, der Zweifel an der Rechtmäßigkeit des Verfahrens auslösen kann. Wenn ein großes Eingangslager errichtet wird, könnte dies in der Diskussion vor Ort zudem als die größere Belastung im Vergleich zum Endlager wahrgenommen werden. Eine Reihe von weiteren Entwicklungen ist zudem schwer vorhersehbar, etwa die Entwicklung hinsichtlich des Schutzes vor Einwirkungen Dritter, die in den letzten Jahren eine starke Dynamik entfaltet hat. (KOMMISSION 2016a)

Die Arbeitsgemeinschaft der Standortgemeinden mit kerntechnischen Anlagen (Asketa⁶⁴) forderte, bis 2031 ein zentrales Eingangslager am Standort des geologischen Tiefenlagers zu bauen. Dort sollten die Behälter mit hoch-radioaktivem Abfall so lange stehen bleiben, bis das geologische Tiefenlager in Betrieb gehen könne. Auf diesem Weg könnten die Zwischenlager an den Atomkraftwerken früher geräumt werden, so die Vorstellung von Asketa. (STIMME 2017a) Aber es ist bisher nicht vorgesehen, alle Behälter gleichzeitig umzulagern. Das Räumen der Zwischenlager wird sich über mehrere Jahrzehnte hinziehen.

Vollkommen unklar ist, welche Zwischenlagereignisungen bis zu welchem Zeitraum verlängert werden und in welcher Reihenfolge dann die Behälter in ein Eingangslager transportiert werden sollen. Dieses Vorgehen wird noch nicht einmal für den unwahrscheinlichen Fall, dass der gesetzlich festgelegte Zeitplan eingehalten wird, im NaPro plausibel dargestellt. Wie sich dieses theoretische Konzept praktisch umsetzen lässt – insbesondere, wenn es zu dem erwarteten längeren Zwischenlagerzeitraum kommt – ist vollständig unklar.

Die o.g. Angabe im Umweltbericht zeigt, dass für das Eingangslager eine ähnliche Auslegung wie für die bestehenden Lagergebäude erwartet wird. Das ist angesichts der bestehenden Terrorgefahren nicht angemessen. Die Einlagerung der radioaktiven Stoffe in das Endlager wird in jedem Fall mehrere Jahrzehnte andauern. Wenn sich tatsächlich für die Option Abtransport der Behälter in ein Eingangslager entschieden wird, sollte die Betriebszeit des Lagers anhand von konservativen Zeitannahmen festgelegt werden, da diese die anzulegenden Sicherheitsanforderungen mitbestimmt. Bei der Auswahl der Lagerkonzepte für das neu zu errichtende Eingangslager sowie im Rahmen der Erweiterung der vorhandenen Lagerkapazitäten ist der Schutz vor möglichen Terrorangriffen zu berücksichtigen.

Laut ESK wird für den Betrieb des Endlagers ein Eingangslager für die aus der Zwischenlagerung anzuliefernden Behälter benötigt, das sich idealerweise am Endlagerstandort befindet. Dieses Eingangslager ist so zu dimensionieren, dass zumindest so viele Behälter aus den Zwischenlagern gleichzeitig aufgenommen werden können, wie für eine unterbrechungsfreie Konditionierung der Inventare bzw. die Einlagerung der Behälter erforderlich ist. Die ESK weist auch darauf hin, dass bei einer deutlichen Verzögerung der Standortauswahl gegenüber den Annahmen des NaPro die Option Errichtung eines größer dimensionierten Eingangslagers, das ab 2046 oder früher alle in den existierenden Zwischenlagern befindlichen Behälter aufnehmen kann, entfallen würde und dann nur im Rahmen der Errichtung eines neuen zentralen Zwischenlagers an einem dann zu definierenden Standort realisiert werden könnte. (ESK 2023)

Insgesamt sollten zur Minimierung von Risiken die Behälter erst dann in ein Eingangslager eines Endlagers transportiert werden, wenn ihre Konditionierung und Einlagerung in das Endlager absehbar bevorstehen; die Kapazität des Eingangslagers sollte entsprechend gewählt werden.

11 Überwachung und Strahlenschutz im Lagerbetrieb

Jeder Behälter ist im Zwischenlager mit einem Doppeldeckelsystem (inneres und äußeres Deckelsystem) verschlossen, wobei jedes einzelne Deckelsystem unabhängig von dem jeweils anderen den dichten Einschluss der radioaktiven Abfälle gewährleistet. Der Zwischenraum zwischen beiden Deckelsystemen, der sogenannte Sperrraum, ist mit Helium von rund 6 bar Druck befüllt. Die Überwachung des dichten Einschlusses radioaktiver Stoffe in den Behältern wird mittels einer Kontrolle dieses Überdrucks realisiert. Die Druckprüfung erfolgt mit einem Druckschalter (Membrane), der bei einer Absenkung des Druckes im Sperrraum anspricht und dabei einen Stromkreiskontakt öffnet. Dies erzeugt eine Meldung des Überwachungssystems. Die Funktionsweise des Druckschalters und die beim Einbau

⁶⁴ Die Asketa wurde 1994 gegründet und vertritt 25 deutsche Städte und Gemeinden mit kerntechnischen Anlagen.

durchzuführende Funktionsprüfung sollen sicherstellen, dass ein Nachlassen der Dichtwirkung einer der beiden Dichtbarrieren angezeigt wird.

Im Dezember 2021 hat das Behälterüberwachungssystem im Zwischenlager Isar eine Meldung ausgelöst. Ursache war ein defektes Bauteil im Überwachungssystem eines CASTOR-Behälters, dies meldete der darin eingebaute Druckschalter wie vorgesehen. Die BGZ hat die Aufsichtsbehörde informiert und den Behälter in die Wartungsstation des Zwischenlagers transportiert. Dort wurde festgestellt, dass ein defektes Bauteil des überwachenden Druckschalters die Meldung verursacht hat. Das defekte Bauteil wurde ersetzt und an den Hersteller übergeben, um es dort im Beisein eines Sachverständigen zu überprüfen. Das Ergebnis wird die BGZ im Rahmen ihres Alterungsmanagements auswerten.

Im Juli 2022 hat im Zwischenlager Philippsburg das Behälterüberwachungssystem eine Meldung ausgelöst. Ursache war ein defektes Bauteil im Überwachungssystem eines CASTOR-Behälters. Ein defektes Bauteil des überwachenden Druckschalters hatte die Meldung verursacht. Die Funktion beider Deckelsysteme war und ist uneingeschränkt gegeben. Fachliche Gutachter waren vor Ort und haben sich davon überzeugt. (BGZ 2021a)

Der Jahresbericht der Umgebungsüberwachung bestätigt, dass die BGZ-Anlagen keine radioaktiven Stoffe emittiert haben und die Strahlung am Zaun des Zwischenlagers Gorleben weiterhin deutlich unterhalb des Genehmigungswertes von 0,3 Millisievert (mSv) pro Jahr gelegen hat.⁶⁵

So ist für das Jahr 2020 am Zaun des Zwischenlagers an der Stelle mit der höchsten Strahlung ein Jahreswert von 0,14 mSv ermittelt worden. Von 2006 an liegen die Jahreswerte am Anlagenzaun im Schwankungsbereich zwischen 0,22 mSv im Jahr 2008 und 0,13 mSv im Jahr 2019. Insgesamt ist mittelfristig mit einer weiteren Abnahme der Jahresdosis zu rechnen, da keine weiteren Einlagerungen hoch-radioaktiver Abfälle erfolgen. (BGZ 2021b) Für das Jahr 2021 wurde am Anlagenzaun an der Stelle mit der höchsten Strahlung ein Wert von 0,11 Millisievert ermittelt. (BGZ 2021c)

11.1 Bewertung

Für das Verhalten der Materialien, welche die Dichtheit bzw. deren Überwachung (Dichtungen, Druckschalter, Schweißnähte usw.) gewährleisten sollen, fehlen die Nachweise über die notwendige, lange Lagerzeit. Die Einhaltung der in der Kerntechnik üblichen Sicherheitsstandards würde eine diversitäre Überwachung von Freisetzungen radioaktiver Stoffe verlangen. Die bisherige Überwachung ist zusätzlich deshalb unzureichend, da sie nicht durchgehend erfolgt. Die Überwachung findet nicht statt, wenn mit den Behältern im Lagerbereich hantiert wird, eine Fehlfunktion eines Druckschalters auftritt, der Behälter im Wartungs-/Reparaturbereich steht und die Arbeiten noch nicht begonnen wurden bzw. abgeschlossen sind, die Stromversorgung unterbrochen ist oder das Drucküberwachungssystem wegen Defekt oder Störfall außer Betrieb ist. Die Druckschalter sind eine Fehlerquelle und fallen offenbar alterungsbedingt nun häufiger aus. Eine systematische Bewertung der Ausfallraten und deren Ursache ist nicht öffentlich bekannt. Optimierungsarbeiten im Rahmen des BGZ Forschungsprogramm sind gut, sollten sich allerdings an den erforderlichen Lagerzeiten orientieren.

Eine kontinuierliche Messung der Raumluft im Lagergebäude bzw. der Abluft würde ein diversitäres Element in der Überwachung des Zwischenlagers darstellen. International ist eine Überwachung der Raumluft in Zwischenlagern für abgebrannte Brennelemente mit vergleichbarem Lagerkonzept durchaus üblich. In der Schweiz ist im dortigen Zwischenlager Würenlingen (seit Herbst 2001 in Betrieb) eine Überwachung der Hallenatmosphäre mittels Monitors auf Aerosole stichprobenweise durchzuführen.

⁶⁵ 2011 wurde prognostiziert, dass am Zaun des Zwischenlagers Gorleben die zulässigen Grenzwerte überschritten werden könnten.

In der Tschechischen Republik wird unter dem Dach der Lagerhalle des Zwischenlagers Dukovany kontinuierlich die Volumenaktivität von Edelgasen kontrolliert und an sechs Stellen in der Nähe der Abluftöffnungen die Aerosolaktivität (u.a. Cäsium-137) registriert und wöchentlich im Labor analysiert. (UMWELTBUNDESAMT 2002)

Eine Freisetzungsüberwachung mittels Messung von Raumluftaktivitäten ist in Zwischenlagern schon seit Jahren Stand der Technik. Diese sollte wegen der gebotenen Vorsorge und Nachweispflicht auch in Deutschland eingesetzt werden. Aufgrund der langen Betriebszeit der Zwischenlager ist eine vielfach geforderte kontinuierliche Messung der Raumluft im Lagergebäude bzw. der Abluft notwendig. Diese Überwachung stellt ein diversitäres und potenziell redundantes Element in der Überwachung des Zwischenlagers dar. Es käme dem berechtigten Interesse der Bevölkerung entgegen, möglichst umfassend und transparent über die Umweltauswirkungen des Zwischenlagers informiert zu werden.

In den letzten Jahren zeigt sich nach Auffassungen einiger Forschungsgruppen, dass ionisierende Strahlung bereits im Niedrigdosisbereich negative Wirkungen hat. Es wird u.a. vom BUND gefordert, dass internationale und nationale Grenzwerte im Strahlenschutz überarbeitet und gesenkt werden. **Diese Fragestellungen und die Gewährleistung eines erweiterten Strahlenschutzes der Bevölkerung müssen aufgrund der langen Betriebszeit der Zwischenlager dringend öffentlich diskutiert werden.**

12 Neubewertungsprozess des Zwischenlagerkonzepts

Die Endlagerkommission empfiehlt in ihrem Abschlussbericht eine regelmäßige Überprüfung der Belastbarkeit des aktuellen Zwischenlagerkonzepts. Diese Überprüfung muss sich laut Endlagerkommission u.a. auf folgende Aspekte erstrecken:

- Gewährleistung der technischen Transportfähigkeit der Zwischenlager-Behälter,
- ein professionelles Alterungsmanagement und regelmäßige stichprobenartige Prüfungen des Inventarzustands,
- Möglichkeit von Behälterreparaturen und Umpacken in zentralen oder dezentralen Einrichtungen,
- die Aspekte der Anlagensicherung,
- Akzeptanz der Lagerung und Entwicklung der AKW-Standorte.

Gegebenenfalls sollten auch Aussagen dazu getroffen werden, wie lange das gegenwärtige Konzept unter diesen Gesichtspunkten noch tragfähig ist. (KOMMISSION 2016a)

Aus Sicht der Endlagerkommission impliziert diese Überprüfung eine Auseinandersetzung mit den Vor- und Nachteilen einer **konsolidierten Zwischenlagerung an mehreren größeren Standorten** sowie mit einer Verbringung in ein Zwischenlager am Endlagerstandort in verschiedenen Varianten. Die Bundesregierung sollte im Rahmen der nächsten Fortschreibung des NaPro das Zwischenlagerkonzept einschließlich des geplanten Eingangslagers auf notwendige Optimierungen und Veränderungsbedarf prüfen, stellt die Endlagerkommission fest.

Auch die ESK weist in ihrem aktuellen Positionspapier daraufhin, dass alternativ zu einer Verlängerung der Aufbewahrungsgenehmigung bei den derzeitigen Standortzwischenlagern die Errichtung eines Zentrallagers oder weniger Regionallager in Erwägung gezogen werden könnte. Nachteilig ist bei einer solchen Lösung, dass sich die Gesamtanzahl der Transporte vergrößert, sofern sich das Zentrallager nicht zufällig am Endlagerstandort befindet. (ESK 2023)

Von der Endlagerkommission wird auf die in den vorangegangenen Kapiteln dieser Studie benannten Probleme (fehlende „Heiße Zelle“, fehlende Gewährleistung der Integrität der Behälterinventare und Handhabbarkeit der Behälter für lange Lagerzeiträume, überdimensioniertes Eingangslager, unzureichender Terrorschutz) hingewiesen und gefordert, dass diese in einen differenzierten und ausgewogenen Neubewertungsprozess für die notwendige Zwischenlagerung einfließen. (KOMMISSION 2016a)

Die Endlagerkommission erklärt, dass es nicht Aufgabe der Kommission war, auch für die Zwischenlagerung Kriterien zu entwickeln. Angesichts der Zeitpläne und bestehender Zusammenhänge zwischen End- und Zwischenlagerung lässt sich die Thematik der notwendigen Zwischenlagerung⁶⁶ aber auch nicht ausblenden. (KOMMISSION 2016a) Für die Überprüfung des Zwischenlagerkonzepts erscheinen ein kürzerer Zeitraum als jener der Endlagerkommission (z. B. 1 Jahr) sowie ein überschaubareres Format ausreichend und sinnvoll, erklärt die Endlagerkommission. (KOMMISSION 2016c)

12.1 Transparenz und Partizipation aus Sicht der BGZ

Auf einer Sitzung des Ausschusses für Wirtschaft, Energie und Landesplanung des NRW-Landtags wurde ein Antrag der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN zum Thema „Atomausstieg: NRW unterstützt ergebnisoffene Endlagersuche und setzt sich für mehr Transparenz und Partizipation bei der Zwischenlagerung ein!“ beraten. In der Anhörung nahmen die BGZ Geschäftsführer insbesondere Stellung zu Themen der verlängerten Zwischenlagerung, der Forschungsbedarfe und der Partizipation / Transparenz im Gesamtkonzept der Zwischenlagerung. Die **Position der BGZ zur Transparenz wird in der eingereichten Stellungnahme verdeutlicht.** (BGZ 2020g)

In der Stellungnahme wird unter der Überschrift Transparenz ausgeführt: *„Schon heute führt die BGZ mit allen an der Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle Interessierten regelmäßig einen intensiven und offenen Dialog insbesondere an ihren Standorten aber auch bei standortübergreifenden Veranstaltungen wie dem BGZ Workshop im vergangenen Oktober in Berlin. (...) Die BGZ baut dabei ihre Informations- und Dialogangebote permanent weiter aus. Durch die Einstellung von regionalen Referent*innen als Ansprechpartner*innen für alle an der Zwischenlagerung Interessierten am jeweiligen Standort sowie durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Online-Angebote bgz.de und zwischenlager.info. Zudem werden die BGZ-Informationshäuser künftig durch ein Informationsmobil ergänzt. Auch wird die BGZ das Format „Forum Zwischenlager“ fortführen. Dieses offene und selbsthinterfragende Format bietet die Möglichkeit, standortübergreifende fachliche und gesellschaftliche Fragen zur Zwischenlagerung und deren notwendige Verlängerungen frühzeitig öffentlich aufzugreifen und sich mit Experten und allen Interessierten dazu regelmäßig auszutauschen.“*

Unter der Überschrift „Partizipation bei der Zwischenlagerung“ erklärt die BGZ ihre Vorstellung von Partizipation: *Bei der Verlängerung von Zwischenlagereignisgenehmigungen für hoch-radioaktive Abfälle um mehr als zehn Jahre ist im Rahmen des Genehmigungsverfahrens eine Umweltverträglichkeitsprüfung mit Beteiligung der Öffentlichkeit durchzuführen. Somit ist bei den Genehmigungsverfahren zu Erlangung von neuen Zwischenlagereignisgenehmigungen die Öffentlichkeit umfassend zu beteiligen. Dies ist auch im Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch-radioaktiver Abfallstoffe des Deutschen Bundestages festgehalten. Eine weitere Grundlage bietet das Verwaltungsverfahrensgesetz in § 25, wonach „(...) der Träger bei der Planung von Vorhaben, die nicht nur unwesentliche Auswirkungen auf die Belange einer größeren Zahl von Dritten haben können, die betroffene Öffentlichkeit frühzeitig über die Ziele des Vorhabens, die Mittel, es zu verwirklichen, und die voraussichtlichen Auswirkungen des Vorhabens unterrichtet (frühe Öffentlichkeitsbeteiligung).“ Mit der frühen Öffentlichkeitsbeteiligung soll der betroffenen Öffentlichkeit möglichst bereits vor Antragstellung Gelegenheit zur Äußerung und zur Erörterung gegeben werden. Diesen Anforderungen kommt die BGZ weitgehend mit den beschriebenen Informations- und Dialogangeboten nach.“ (BGZ 2020j)*

Insbesondere im letzten Jahr (2022) war eine verstärkte Öffentlichkeitsarbeit der BGZ zu beobachten:

⁶⁶ Die Endlagerkommission benutzte die Bezeichnung „notwendige Zwischenlagerung“ in Abgrenzung zur „Langfristigen Zwischenlagerung“, die auch Entsorgungsoption sein könnte.

- Die BGZ stellt das Forschungsprogramm auch im Rahmen ihres Formats „Forum Zwischenlagerung“ vor. (BGZ 2022i) Auf Einladung der BGZ haben Expert*innen beim „Forum Zwischenlagerung“ über die notwendige verlängerte Zwischenlagerung diskutiert und die Fragen des Publikums beantwortet, das vor Ort (30 Personen) und per Livestream (330) teilnahm. (BGZ 2022g)
- In einer Informationsveranstaltung am 16. Mai 2022 im Ratssaal der Stadt Ahaus für den Rat und die Bürger*innen der Stadt Ahaus hat die BGZ ihr Forschungsprogramm zur verlängerten Zwischenlagerung vorgestellt.⁶⁷ Die BGZ erklärt, dass sie rechtzeitig neue Genehmigungen beantragen wird, um die radioaktiven Abfälle bis zu ihrer Abgabe an das Endlager sicher und zuverlässig aufzubewahren. (BGZ 2022d)
- In ihrem Vortrag auf einer öffentlichen Sitzung des Ausschusses Atomanlagen zum Zwischenlager Gorleben veranschaulichte die BGZ ihre zahlreichen Forschungsaktivitäten: von Langzeituntersuchungen zur Sicherheit der Behälterdichtungen bis zu Experimenten, die zusätzliche Erkenntnisse zum Langzeitverhalten der Brennelemente liefern. *„Wir werden das Forschungsprogramm laufend fortschreiben, gegebenenfalls an den sich weiterentwickelnden Stand von Wissenschaft und Technik anpassen und die Öffentlichkeit regelmäßig über den Fortschritt in unterschiedlichen Dialogformaten informieren“*, so Becker (Leiter der Abteilung Zentrale Fachfragen). (BGZ 2022f)
- Die BGZ hat bei einer Dialogveranstaltung rund 30 Bürger*innen in Brokdorf über die Vorbereitungen für die notwendige verlängerte Zwischenlagerung informiert. Becker präsentierte das Forschungsprogramm der BGZ. In seinem Vortrag veranschaulichte er die Forschungsaktivitäten, die zusätzliche Erkenntnisse zum Langzeitverhalten der Brennelemente liefern sollen. (BGZ 2022h)
- Die BGZ stellt das Forschungsprogramm im Februar in Dannenberg (BGZ 2023a), im März in Unterweser (BGZ 2023b) und im Mai 2023 in Ahaus (BGZ 2023c) und Biblis (BGZ 2023d) vor.
- Die BGZ hat bei einer Veranstaltung des Nationalen Begleitgremiums (NBG) in Ahaus ihre Aufgaben, die Vorbereitungen auf die notwendige verlängerte Zwischenlagerung sowie ihre Kommunikation mit der Bevölkerung erläutert. Dr. Michael Hoffmann, Bereichsleiter für den Betrieb der Zwischenlager, gab zudem einen Überblick über aktuelle Themen und Planungen an den 16 Standorten der BGZ. So bereite die BGZ derzeit den von den AKWs unabhängigen Betrieb der Zwischenlager vor. Burghard Rosen, Abteilungsleiter Presse und Standortkommunikation, gab abschließend einen Überblick über die verschiedenen Kommunikationsaktivitäten der BGZ. Der stetige Austausch mit der Öffentlichkeit, ihre Information über Vorgänge in den Zwischenlagern und die Rückkopplung mit Bürger*innen und auch Bürgerinitiativen sei für die BGZ ein wichtiger Unternehmensanspruch und als öffentliches Unternehmen des Bundes auch Teil ihres Auftrags. (BGZ 2022k)
- Die Bürgermeister*innen der deutschen Gemeinden, in denen Zwischenlager betrieben werden, haben 2022 ihre Tagung im Informationshaus der BGZ in Ahaus durchgeführt. Dabei informierten sie sich über aktuelle Projekte und Entwicklungen bei der BGZ. Wie sich die BGZ konkret auf die verlängerte Zwischenlagerung vorbereitet, skizzierte der Leiter der Abteilung Zentrale Fachfragen anhand des BGZ-Forschungsprogramms. Mit dem Programm habe die BGZ die Grundlage dafür erarbeitet, die Sicherheit der Zwischenlagerung auch über den bisher genehmigten Zeitraum von 40 Jahren nachzuweisen. Trotz gelebter Partnerschaft werden die Kommunen die Zwischenlagerung weiterhin kritisch begleiten, insbesondere die anstehenden

⁶⁷ Die Genehmigung für das Zwischenlager Ahaus läuft im Jahr 2036 aus. Für einige der dort aufbewahrten CASTOR-Behälter endet die Frist bereits im Jahr 2032.

Genehmigungsprozesse für eine verlängerte Zwischenlagerung. „In diesem Prozess muss auch die Situation der Standortkommunen berücksichtigt werden“, fordert ASKETA-Vorsitzender Klaus. (BGZ 2022b)

Im Auftrag der BGZ findet derzeit eine **Umfrage in den Regionen rund um die Zwischenlagerstandorte** statt. Per Zufallsprinzip werden Bürger*innen, die in der Nähe eines von der BGZ betriebenen Zwischenlagers wohnen, aktuell von Mitarbeiter*innen einer unabhängigen Gesellschaft für Sozialforschung online oder per Telefon kontaktiert. Die Interviewer*innen möchten wissen, was die Menschen über die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle wissen und denken. Mit dieser ersten repräsentativen und anonymisierten Umfrage an ihren Standorten möchte die BGZ Erkenntnisse über den Informationsstand der Bevölkerung sowie das Stimmungsbild der Menschen vor Ort gewinnen. Diese sollen in die Arbeit der BGZ einfließen. Über die Ergebnisse der Erhebung wird die BGZ nach Auswertung der Daten informieren. (BGZ 2022j)

Der **Fachöffentlichkeit sollen Fortschritte und Ergebnisse aus den einzelnen Vorhaben des Forschungsprogramms** in zweijährlich stattfindenden „Fachworkshop Zwischenlagerung“ vorgestellt werden. Die BGZ hat im Rahmen ihres zweiten Fachworkshops ihr Forschungsprogramm zur verlängerten Zwischenlagerung vorgestellt und dieses mit zahlreichen nationalen und internationalen Expert*innen erörtert. Am 16. und 17.11.2021 diskutierten Expert*innen in Berlin die wissenschaftlichen, technischen und genehmigungsrechtlichen Aspekte, die mit der notwendigen verlängerten Zwischenlagerung hoch-radioaktiver Abfälle einhergehen. (BGZ 2021e)

Auf der wissenschaftlichen Ebene findet der Austausch mit nationalen und internationalen Projektpartner*innen aus Forschungseinrichtungen und Industrie sowie in den verschiedenen nationalen und internationalen Gremien statt. Laut BGZ werden der internationalen und nationalen wissenschaftlichen Gemeinschaft die Fortschritte und Ergebnisse des BGZ-Forschungsprogramms darüber hinaus durch regelmäßige Vorträge auf Fachtagungen, Konferenzen und Workshops vorgestellt und diskutiert. Ebenso werden das Forschungsprogramm und ausgewählte Ergebnisse in Tagungsbänden und den einschlägigen wissenschaftlichen Fachjournalen mit Peer-Review-Prozess veröffentlicht. **Dabei wird, wenn möglich, der anschließende freie Zugang der Öffentlichkeit zu den Veröffentlichungen (sogenannter Open Access) gewählt.** (BGZ 2022)

12.2 Bewertung

Insgesamt zeichnet sich international klar ab, dass in den meisten Ländern der Zeitbedarf zur Planung, Genehmigung und Errichtung eines Endlagers viel höher sein wird als ursprünglich vorgesehen. Die zeitliche Befristung der Betriebsgenehmigung für die Zwischenlagerung der hoch-radioaktiven Abfälle birgt eine politisch-gesellschaftliche Herausforderung.

Ein umfassender Dialog zum weiteren Umgang mit den hoch-radioaktiven Abfällen muss frühzeitig, das heißt vor Ablauf des Genehmigungszeitraums der Zwischenlager, stattfinden. Niemand kann angesichts der weltweiten Erfahrungen bei der Endlagersuche später ernsthaft behaupten, dass die Zwischenlager in bisheriger Weise weiterbetrieben werden müssen, weil mit einem höheren Zeitbedarf oder sogar mit einem (erneuten) Scheitern der Standortsuche für ein Endlager nicht zu rechnen war. (BUDELMANN 2017)

Wenige Länder haben mit der Konzeptionierung einer *langfristigen Zwischenlagerung* bereits heute begonnen. Im Vergleich zu konventionellen Zwischenlagern, die üblicherweise für 40 bis 60 Jahre konzipiert und genehmigt sind, wird bei langfristigen Zwischenlagern ein Nutzungszeitraum von 100 bis 300 Jahren zugrunde gelegt. Aus technischer Sicht weist ein langfristiges Zwischenlager den Vorteil einer entsprechend der vorgesehenen Nutzungsdauer robusteren Konstruktion auf, die bei richtiger Planung und Ausführung auch einen geringeren Instandhaltungsaufwand mit sich bringt. (BUDELMANN 2017)

Es wird zutreffend von der Endlagerkommission erklärt, dass das Endlager- und Zwischenlagerkonzept miteinander verzahnt sind. **Eine risikoarme Zwischenlagerung ist eine Grundbedingung für eine erfolgreiche Endlagersuche.** Aufgrund der voraussichtlichen langen Lagerzeit ergeben sich eine Reihe von zusätzlichen Anforderungen an die Zwischenlagerung. Diese betreffen nicht nur die Sicherheit und die Sicherung, sondern auch Anforderungen an das Personal (insbesondere Knowhow-Erhalt) und die Organisation (Veränderung der Betreibergesellschaften) sowie an die Akzeptanz an den Standorten.

Um einen angemessenen Schutz der hoch-radioaktiven Stoffe zu gewährleisten, muss für das notwendige (neue) Zwischenlager eine Betriebsdauer aufgrund einer konservativen Schätzung angesetzt werden. Alle Implikationen, die diese lange Zwischenlagerdauer haben kann, müssen frühzeitig, d.h. jetzt, berücksichtigt werden.

Zwei deutsche Zwischenlager besitzen seit Jahren aufgrund fehlender Sicherheitsnachweise keine gültigen Genehmigungen, sondern lagern die abgebrannten Brennelemente aufgrund aufsichtlicher Anordnungen. Es wäre fatal, aus diesen Fehlern nicht zu lernen und abzuwarten, bis eine derartige Situation erneut eintritt. Daher muss frühzeitig eine umfassende Überprüfung des gesamten Zwischenlagerkonzepts erfolgen.

Vernünftig erscheint die Idee, das Zwischenlagerkonzept regelmäßig umfassend zu überprüfen, um eine Verzahnung mit dem Endlagerkonzept zu ermöglichen. Auch die IAEO empfahl 2019 im Rahmen ihrer ARTEMIS Mission, dass die Regierung ein Verfahren zur regelmäßigen Überwachung des Fortschritts des NaPro einschließlich der Abhängigkeiten zwischen den Projekten einführen soll. Die ESK macht in ihrem Positionspapier einen Aufschlag, indem sie einen Zeitstrahl für den gesamten Entsorgungsprozess aufstellt, in welchem die wechselseitigen Abhängigkeiten dargestellt sind.⁶⁸ Dies betrifft insbesondere die Entwicklung von Endlagerbehälterkonzepten für die verschiedenen Wirtsgesteine sowie die Festlegung der damit verbundenen Konditionierungstechnik. (ESK 2023)

In Deutschland wäre ein transparentes Verfahren für die Entwicklung eines neuen Zwischenlagerkonzepts mit einer umfassenden Bürgerbeteiligung erforderlich. Dies wäre zudem ein wirksamer Schritt in Richtung erfolgreicher Standortauswahl für ein geologisches Tiefenlager. Momentan basiert das Zwischenlagerkonzept auf „Durchwurschteln“ bis die abgebrannten Brennelemente und hoch-radioaktiven Abfälle in ein Endlager verbracht werden können. Die Behälter sollen in den bestehenden Zwischenlagern verbleiben (dazu sollen die Genehmigungen verlängert werden) und dann in ein Eingangslager verbracht werden. Wie dieses theoretische Konzept praktisch umgesetzt wird, ist vollständig unklar.

Drei Optionen für ein (neues) Zwischenlagerkonzept in Deutschland wurden diskutiert:

1. alle bestehenden Standorte für die Zwischenlagerung beizubehalten und weitere an den Standorten der Nicht-Leistungsreaktoren einzurichten,
2. an mehreren Standorten zentrale Zwischenlager einzurichten,
3. ein sehr großes Zwischenlager (Eingangslager) am vermutlichen Standort des zukünftigen Endlagers zu errichten.

⁶⁸ Die IAEO empfahl im Rahmen ihrer ARTEMIS Mission, dass die Regierung ein Verfahren zur regelmäßigen Überwachung des Fortschritts des nationalen Programms zur Stilllegung der AKWs und Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente einschließlich der damit verbundenen Kosten, Zeitrahmen und Abhängigkeiten zwischen den Projekten einführen soll.

Zu 1: Entscheidender Vorteil der Option 1 ist die Vermeidung von Transporten. Allerdings müssten die Zwischenlager umfangreich nachgerüstet oder sogar neu gebaut werden, um die sicherheitstechnischen Anforderungen für einen langen Lagerzeitraum und den Schutz gegen mögliche terroristische Angriffe zu erfüllen. Auch an den Standorten von Nicht-Leistungsreaktoren müssten Lager neu errichtet werden. Es ist zu vermuten, dass wirtschaftliche Überlegungen umfangreiche Nachrüstungen oder Neubauten an allen Standorten verhindern. Nachteil dieser Option könnte auch der große Bedarf an kompetentem Personal für Wartung, Inspektion und Kontrolle sein.

Zu 2: An mehreren Standorten dezentrale Zwischenlager zu betreiben, führt definitiv zu einer Vielzahl von Transporten. Insgesamt könnte aber ein Sicherheitsgewinn gegenüber der bestehenden Situation erzielt werden, wenn dann an den Standorten für langfristige Zwischenlager deutlich verbesserte Neubauten errichtet würden. Herausforderung hierbei ist die Standortauswahl für die zentralen Zwischenlager, die dann zusätzlich zu der Standortauswahl für das Endlager stattfinden müsste. Allerdings kann in einer angemessenen Standortauswahl mit Beteiligung der Bevölkerung auch eine Chance für eine höhere Akzeptanz und Erfolgsaussichten für die erforderliche Endlagersuche liegen.

Zu 3: Theoretisch wäre mit der Option (Eingangslager) insgesamt die geringste Zahl von Transporten realisierbar. Zeitlich ist diese Option aber kritisch zu sehen. Bis zum Zeitpunkt, an dem über die Realisierung des geologischen Tiefenlagers an einem bestimmten Standort genug Sicherheit besteht, müssten die Behälter in den bestehenden Zwischenlagern verbleiben, deren Genehmigungen dann voraussichtlich sukzessive immer wieder für kurze Zeiträume verlängert werden müssten. Ein vernünftiger und realisierbarer Kompromiss zwischen den Anforderungen, die Behälter schnellstmöglich aus den bestehenden Zwischenlagern zu räumen, sie aber nicht verfrüht umzulagern, ist schwer zu finden. Es besteht die Gefahr, dass die Behälter viel zu lange in nicht mehr genehmigten Zwischenlagern „bereitgestellt“ werden und/oder in ein Eingangslager transportiert werden, das nicht an dem letztendlichen Standort für ein geologisches Tiefenlager steht. Diese Problematik wird durch die aktuellen Zeitschätzungen für die Standortsuche und die Einlagerung in ein Endlager noch verschärft.

Das Standortauswahlgesetz (StandAG) ist nach langer Diskussion am 31.03.2017 in Kraft getreten.⁶⁹ Das neue Standortauswahlverfahren muss sich das Vertrauen der Betroffenen erst noch verdienen. (BUND 2017a) Erforderlich für das Gewinnen des Vertrauens der Bevölkerung wäre die Partizipation bei der Konzeption und Realisierung der notwendigen Zwischenlagerung. Mit der Lagerung hoch-radioaktiver Stoffe ist immer ein Risiko verbunden. In einem Abwägungsprozess sollte entschieden werden, mit welcher der genannten Optionen (oder Kombination der Optionen) die geringsten Risiken verbunden sind.

Auch wenn eine schnellstmögliche Endlagerung der hoch-radioaktiven Stoffe sicherheitstechnisch von Vorteil wäre, ist für eine erfolgreiche, d.h. zielführende Endlagersuche ein erheblicher Zeitraum erforderlich, falls kein erneutes Scheitern der Suche riskiert werden will. Aufgrund der voraussichtlichen langen Lagerzeiträume für die hoch-radioaktiven Abfälle ergeben sich nicht nur Anforderungen an die Sicherheit, sondern auch bzgl. der Sicherung. Es stellen sich aber auch Anforderungen an Personal und Organisation sowie an die Akzeptanz der Bevölkerung an den Standorten.

Ein transparentes Verfahren für die Entwicklung eines neuen Zwischenlagerkonzepts mit einer umfassenden Bürgerbeteiligung wäre ein erforderlicher und zudem ein wirksamer Schritt in Richtung einer erfolgreichen Standortauswahl für ein geologisches Tiefenlager.

⁶⁹ Das neue Standortauswahlgesetz geht auf Empfehlungen der Endlagerkommission aus dem Jahr 2016 zurück. Bereits diese Empfehlungen hatte der BUND kritisiert und ein Sondervotum abgegeben. Trotz deutlicher Verbesserungen zum bisherigen Gesetz (etwa bei der Bürgerbeteiligung oder dem Rechtsschutz) hat auch die Neuversion des Standortauswahlgesetzes aus Sicht des BUND gravierende Mängel.

Auch die ESK erklärt in ihrem aktuellen Positionspapier, dass Öffentlichkeitsbeteiligung ein wesentlicher Baustein für den Erfolg eines solchen Infrastrukturprojekts wie der Endlagerung ist, sie benötigt aber auch Zeit und ist frühzeitig einzuplanen. Entsprechender Zeitaufwand ist insbesondere bei kontrovers diskutierten Themen zu berücksichtigen. Die ESK weist darauf hin, dass die Akteure Öffentlichkeitsbeteiligung als übergeordnete Aufgabe kontinuierlich in ihren Zeit- und Ressourcenplanungen berücksichtigen müssen. (ESK 2023)

In den letzten Jahren ist eine deutliche Zunahme der Öffentlichkeitsarbeit der BGZ zu bemerken. Die BGZ hat eine veraltete Vorstellung von Partizipation und Transparenz. Sie sieht Transparenz/Partizipation als Einbahnstraße, wobei die BGZ die (unwissende) Bevölkerung über die Richtigkeiten ihrer Vorgehensweise informiert.

Von dieser Sicht und Vorgehensweise zu einer tatsächlichen Öffentlichkeitsbeteiligung, die insbesondere für ein Gelingen der Endlagersuche zwingend erforderlich ist, ist noch ein weiter Weg.

In den bisherigen Veranstaltungen, selbst auf den Fachworkshops, wurde nur informiert. Probleme, daraus resultierende Konsequenzen oder Maßnahmen für die langfristige Zwischenlagerung wurden wenig bis gar nicht thematisiert. Eine vollständig andere Sichtweise und Vorgehensweise ist erforderlich, wenn ernsthaft anerkannt wird, dass die Zwischenlagerung nicht nur um einen kurzen Zeitraum verlängert werden muss, sondern sich die Lagerzeit, wie von den Expertinnen und Experten der Entsorgungskommission (ESK) aktuell geäußert, verdreifachen kann.

Literatur

AZ 2017: Aachener Zeitung: Manipulierte Sicherheitsunterlagen: 21 Fälle bekannt, 4. September 2017; <http://www.aachener-zeitung.de/lokales/region/manipulierte-sicherheitsunterlagen-21-faelle-bekannt-1.1707281>

BACKMANN 2016: Dr. Dr. Jan Backmann, Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, Schleswig-Holstein: Notwendige Zwischenlagerung - Zeit für ein neues Konzept? Vortrag auf dem Niedersächsischen Fachgespräch „Bis in alle Ewigkeit - Verlängerte Zwischenlagerzeiten? Konsequenzen für die nächsten Jahrzehnte“ 29.02.2016, <http://www.umwelt.niedersachsen.de/bis-in-alle-ewigkeit/bis-in-alle-ewigkeit9-140637.html>

BAM 2019a: Bundesanstalt für Materialforschung (BAM): Aktueller Stand des Forschungsprojekts LaMEP (Langzeitverhalten von Metall- und Elastomerdichtungen sowie Moderatormaterialien als sicherheitsrelevante Komponenten von TLB für radioaktive Stoffe; Matthias Jaunich, Anja Kömmling, Tobias Grelle, Dietmar Wolff, Holger Völzke, BGZ Fachworkshop Zwischenlagerung, 22.-23. Oktober 2019, Berlin

BAM 2019b: Bundesanstalt für Materialforschung (BAM): Internationale Forschung zur langfristigen trockenen Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente; Dr. Holger Völzke, BGZ - Workshop Zwischenlagerung; 22.-23. Oktober 2019, Berlin

BASE 2020a: Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE): Zwischenlager Brunsbüttel; 20.02.2020

BASE 2020b: Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE): Zwischenlager Biblis; 14.02.2020

BASE 2020c: Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE): Zur atomrechtlichen Situation des Zwischenlagers Brunsbüttel; Stand 20.01.2020; <https://www.base.bund.de/SharedDocs/Stellungnahmen/BASE/DE/2020/0120-Brunsbuettel.html>

BASE 2021: Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE): Faktencheck: Wandstärke von Zwischenlager-Mauern; 14.10.2021

BASE 2022: Bundesamt für Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE): Laufzeitverlängerung deutscher Atomkraftwerke? Stand 26.07.2022.

BASK 2022: Stellungnahme der BASK zum „Faktencheck: Wandstärke von Zwischenlager-Mauern“ des BASE; <https://www.bund.net/ueber-uns/organisation/atom-und-strahlenkommission/>

BECKER 2021: Der Weg zum Forschungsprogramm der BGZ, Dr. Jörn Becker, Abteilungsleiter Zentrale Fachfragen, 16.11.2021, BGZ Fachworkshop Zwischenlagerung, 17.11.2021, Berlin

BFE 2016a: Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE): Zwischenlager Nord bei Lubmin (Gemeinde Rubenow); 16.09.2016. <http://www.bfe.bund.de/DE/ne/zwischenlager/zentral/nord/nord.html>

BFE 2017a: Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE): Transporte bestrahlter Brennelemente nach Neckarwestheim genehmigt; 16.05.2017, <https://www.bfe.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/BfE/DE/2017/003.html>

BFE 2018a: Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE): Dokumentation: Fragen und Antworten aus dem „Forum Zwischenlagerung“; 2018

BFE 2019b: Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE): Forschungsbedarf zur Sicherheit der Zwischenlagerung bis zur Endlagerung, Dr. Christoph Bunzmann, Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit, Abteilungsleiter Genehmigungsverfahren Zwischenlagerung / Transporte, Fachworkshop Zwischenlagerung, BGZ mbH, Berlin, 22.10.2019

BFE 2019c: Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE): Unsere Forschungsagenda; Stand: November 2019

BFE 2019d: Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE): 9. Änderungsgenehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen im Standort-Zwischenlager in Biblis der BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH; GE 4–873110 vom 19. Dezember 2019

BFS 2015d: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Aktuelle Information zum Zwischenlager Brunsbüttel; 16.01.2015. <http://www.bfs.de/DE/themen/ne/zwischenlager/mehr-infos/brunsbuettel/brunsbuetel.html>

BFS 2015e: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Information zum Standort-Zwischenlager Brunsbüttel; 16.11.2015. <http://www.bfs.de/DE/themen/ne/zwischenlager/dezentral/genehmigung/kkb.html>

BGE 2018: Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE): Pressemitteilung – Endlager Konrad: Nr. 01/18 - Fertigstellung des Endlagers Konrad verzögert sich; 8. März 2018; <https://www.bge.de/de/pressemitteilungen/2018/03/pm-0118-fertigstellung-des-endlagers-konrad-verzoegert-sich/>

BGZ 2019a: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Rücknahme radioaktiver Abfälle aus der Wiederaufarbeitung; <https://rueckfuehrung.bgz.de/>

BGZ 2020a: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Brennelemente-Zwischenlager Philippsburg: Genehmigungen für die Nachrüstung liegen vor, 11. Dezember 2020, <https://bgz.de/2020/12/11/bzpgenehmigungen-fuer-die-nachruistung-liegen-vor/>

BGZ 2020b: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Krümmel: Brennelemente-Zwischenlager mit neuer Anlagensicherung, 21. Dezember 2020, <https://bgz.de/2020/12/21/kruemmel-brennelemente-zwischenlager-mit-neuer-anlagensicherung>

BGZ 2020c: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Biblis: CASTOR-Behälter aus Sellafeld am Standort eingetroffen, 4. November 2020; <https://bgz.de/2020/11/04/biblis-castor-behaelter-aus-sellafeld-am-standort-eingetroffen/>

BGZ 2020d: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Grafenrheinfeld: Einlagerung hochradioaktiver Abfälle abgeschlossen, 15. Dezember 2020, <https://bgz.de/2020/12/15/grafenrheinfeld-einlagerung-hochradioaktiver-abfaelle-abgeschlossen/>

BGZ 2020e: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Bürgermeister*innen der Zwischenlagerstandorte treffen sich in Gorleben, 29. September 2020 <https://bgz.de/2020/09/29/buergermeisterinnen-der-zwischenlagerstandorte-treffen-sich-in-gorleben/>

BGZ 2020f: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Geringfügige Toleranzabweichungen an mehreren CASTOR-Behältern – Dichtheit uneingeschränkt gegeben; 17. November 2020; <https://bgz.de/2020/11/17/geringfuegige-toleranzabweichungen-an-mehreren-castor-behaeltern-dichtheit-uneingeschraenkt-gegeben-2/>

BGZ 2020g: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): BGZ nimmt an der Anhörung von Sachverständigen zur verlängerten Zwischenlagerung im NRW-Landtag teil., 20. Mai 2020, <https://bgz.de/2020/05/20/bgz-nimmt-an-der-anhoerung-von-sachverstaendigen-zur-verlaengerten-zwischenlagerung-im-nrw-landtag-teil/>

BGZ 2020h: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Verlängerte Zwischenlagerung: BGZ beteiligt sich an internationalem Forschungsprogramm, 27. April 2020, <https://bgz.de/2020/04/27/verlaengerte-zwischenlagerung-bgz-beteiligt-sich-an-internationalem-forschungsprogramm/>

BGZ 2020i: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Philippsburg: Daten eines Brennelements weichen geringfügig ab – Keine Auswirkungen auf Sicherheit, 21. September 2022, <https://bgz.de/2022/09/21/philippsburg-daten-eines-brennelements-weichen-geringfuegig-ab-keine-auswirkungen-auf-sicherheit/>

BGZ 2020j: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Stellungnahme der BGZ zur Anhörung im Ausschuss für Wirtschaft, Energie und Landesplanung des Landtags Nordrhein-Westfalen am 19.05.2020, 14.00 Uhr, zum Antrag der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN „Atomausstieg: NRW unterstützt ergebnisoffene Endlagersuche und setzt sich für mehr Transparenz und Partizipation bei der Zwischenlagerung ein!“ (LT-Drs. 17/8576, 04.02.2020); Dr. Ewold Seeba, Vorsitzender Geschäftsführer der BGZ, Wilhelm Graf, Technischer Geschäftsführer der BGZ, Berlin / Essen, 14.05.2020; <https://bgz.de/wp-content/uploads/2020/05/BGZ-Stellungnahme-zum-Antrag-der-Fraktion-B%C3%9CNDNIS-90-die-GR%C3%9CNEN.pdf>

BGZ 2021a: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Zwischenlager Isar: Selbstüberwachung ausgelöst, 14. Dezember 2021 <https://bgz.de/2021/12/14/zwischenlager-isar-selbstueberwachung-ausgelost/>

BGZ 2021b: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Gorleben veröffentlicht Umgebungsüberwachungsbericht, 15. April 2021 <https://bgz.de/2021/04/15/bgz-gorleben-veroeffentlicht-umgebungsueberwachungsbericht/>

BGZ 2021c: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Gorleben: BGZ veröffentlicht jährlichen Bericht zur Umgebungsüberwachung, 19. April 2022 <https://bgz.de/2022/04/19/gorleben-bgz-veroeffentlicht-bericht-zur-umgebungsueberwachung/>

BGZ 2021d: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Zwischenlager Grafenrheinfeld: Öffentliche Feuerwehr übernimmt künftig Brandschutzaufgaben, 9. Februar 2021, <https://bgz.de/2021/02/09/zwischenlager-grafenrheinfeld-oeffentliche-feuerwehr-uebernimmt-kuenftig-brandschutzaufgaben/>

BGZ 2021e: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): BGZ stellt Forschungsprogramm vor, 17. November 2021; <https://bgz.de/2021/11/17/bgz-stellt-forschungsprogramm-vor/>

BGZ 2021f: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Geringfügige Toleranzabweichung an einem weiteren CASTOR-Behälter – Dichtheit uneingeschränkt gegeben; 18. Januar 2021; <https://bgz.de/2021/01/18/geringfuegige-toleranzabweichung-an-einem-weiteren-castor-behaelter-dichtheit-uneingeschraenkt-gegeben/>

BGZ 2022: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Zwischenlagerung weitergedacht, Das Forschungsprogramm der BGZ; 2022

BGZ 2022a: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Landtagsabgeordnete der Grünen besuchen Zwischenlager Ahaus, 1. April 2022, <https://bgz.de/2022/04/01/landtagsabgeordnete-der-gruenen-besuchen-zwischenlager-ahaus/>

BGZ 2022b: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Bürgermeister*innen der deutschen Zwischenlagerstandorte tagen in Ahaus, 26. September 2022, <https://bgz.de/2022/09/26/buergermeisterinnen-der-deutschen-zwischenlagerstandorte-tagen-in-ahaus/>

BGZ 2022c: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Zwischenlager Philippsburg: Abweichung in der Kransteuerung, 22. August 2022, <https://bgz.de/2022/08/22/zwischenlager-philippsburg-abweichung-in-der-kransteuerung/>

BGZ 2022d: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Ahaus: BGZ informiert zum Forschungsprogramm, 3. Mai 2022, <https://bgz.de/2022/05/03/ahaus-bgz-informiert-zum-forschungsprogramm/>

BGZ 2022e: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Kerntechnik 2022: BGZ stellt Forschungsprogramm und Projekte für unabhängigen Zwischenlager-Betrieb vor, 27. Juni 2022, <https://bgz.de/2022/06/27/kerntechnik-2022-bgz-stellt-forschungsprogramm-und-projekte-fuer-unabhaengigen-zwischenlager-betrieb-vor/>

BGZ 2022f: BGZ stellt Forschungsprogramm im Ausschuss Atomanlagen vor, 1. Juli 2022, <https://bgz.de/2022/07/01/bgz-stellt-forschungsprogramm-im-ausschuss-atomanlagen-vor/>

BGZ 2022g: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Forum Zwischenlagerung: Reger Austausch über verlängerte Zwischenlagerung, 13. September 2022, <https://bgz.de/2022/09/13/forum-zwischenlagerung-reger-austausch-ueber-verlangerte-zwischenlagerung/>

BGZ 2022h: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Brokdorf: BGZ im Austausch über verlängerte Zwischenlagerung, 28. Oktober 2022; <https://bgz.de/2022/10/28/brokdorf-bgz-im-austausch-ueber-verlaengerte-zwischenlagerung/>

BGZ 2022i: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ); BGZ veröffentlicht Forschungsprogramm, 5. April 2022, <https://bgz.de/2022/04/05/bgz-veroeffentlicht-forschungsprogramm/>

BGZ 2022j: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Umfrage im Auftrag der BGZ: Bürger*innen werden zur Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle befragt, 8. Dezember 2022; <https://bgz.de/2022/12/08/umfrage-buerger-zur-zwischenlagerung-befragt/>

BGZ 2022k: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): BGZ informiert Nationales Begleitgremium über sichere Zwischenlagerung, 14. September 2022, <https://bgz.de/2022/09/14/bgz-informiert-nbg-ueber-sichere-zwischenlagerung/>

BGZ 2023a: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): BGZ informiert in Dannenberg: Sichere Zwischenlagerung auch bei längerer Endlagersuche gewährleistet, 6. Februar 2023; <https://bgz.de/2023/02/06/bgz-informiert-in-dannenberg-ueber-verlangerte-zwischenlagerung/>

BGZ 2023b: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Verlängerte Zwischenlagerung: BGZ präsentiert Forschungsprogramm am Standort Unterweser; 29. März 2023; <https://bgz.de/2023/03/29/bgz-praesentiert-forschungsprogramm-in-unterweser/>

BGZ 2023c: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): BGZ informiert turnusmäßig im Ratssaal der Stadt Ahaus; 9. Mai 2023 <https://bgz.de/2023/05/09/bgz-informiert-turnusmaessig-im-ratssaal-der-stadt-ahaus/>

BGZ 2023d: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Verlängerte Zwischenlagerung: BGZ präsentiert Forschungsprogramm am Standort Biblis, 11. Mai 2023; <https://bgz.de/2023/05/11/bgz-praesentiert-forschungsprogramm-in-biblis/>

BGZ 2023e: Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung (BGZ): Replik der BGZ auf einen Kommentar von Wolfgang Ehmke (BI Lüchow-Dannenberg), 13. März 2023; <https://bgz.de/2023/03/13/stellungnahme-zum-kommentar-wird-das-zwischenlager-gorleben-zum-dauerlager/>

BLT 2022: Bayerischer Landtag, Drucksache 18/21713; Schriftliche Anfrage der Abgeordneten Dr. Markus Büchler, Claudia Köhler, Rosi Steinberger, Martin Stümpfig BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN vom 15.02.2022, 01.04.2022

BMU 2018a: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU): Zweiter Bericht zur Durchführung der Richtlinie 2011/70/EURATOM, (Bericht nach Artikel 14 (1) der Richtlinie 2011/70/EURATOM des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle), August 2018

BMU 2018a: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU): Zweiter Bericht zur Durchführung der Richtlinie 2011/70/EURATOM, (Bericht nach Artikel 14 (1) der Richtlinie 2011/70/EURATOM des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle), August 2018

BMU 2018b: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Verzeichnis radioaktiver Abfälle (Bestand zum 31. Dezember 2017 und Prognose), August 2018

BMU 2020a: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU): Bericht der Bundesregierung für die siebte Überprüfungs-konferenz im Mai 2021 zur Erfüllung des Gemeinsamen Übereinkommens über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle; August 2020

BMU 2021a: Dritter Bericht zur Durchführung der Richtlinie 2011/70/EURATOM (Bericht nach Artikel 14 (1) der Richtlinie 2011/70/EURATOM des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle), August 2021

BMUB 2012: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Sicherung der Zwischenlager und Hintergründe der erforderlichen Nachrüstung; 08.02.2012; <http://www.bmub.bund.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/nukleare-sicherheit/zwischenlagerung/sicherung-der-zwischenlager-und-hintergruende-der-erforderlichen-nachruetzung/>

BMUB 2014b: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Gemeinsames Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle. Bericht der Bundesrepublik Deutschland für die fünfte Überprüfungs-konferenz im Mai 2015. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Referat RS III (Sonstige Angelegenheiten der nuklearen Entsorgung, nuklearen Versorgung), August 2014.

BMUB 2015a: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Entsorgungskommission bemängelt unzureichende Umsetzung ihrer Leitlinien; 15.05.2015; <http://www.bmub.bund.de/pressemitteilung/entsorgungskommission-bemaengelt-unzureichende-umsetzung-ihrer-leitlinien/>

BMUB 2015b: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Gemeinsame Erklärung der Bayerischen Staatsregierung und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit als Grundlage für die weiteren Gespräche, 4. Dezember 2015.

BMUB 2015f: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Erster Bericht zur Durchführung der Richtlinie 2011/70/EURATOM. (Bericht nach Artikel 14 (1) der Richtlinie 2011/70/EURATOM des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle) August 2015.

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

BMUB 2016a: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Bewertung der eingegangenen Stellungnahmen zum Nationalen Entsorgungsprogramm und zum Umweltbericht aus dem Inland. www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/nationales_entsorgungsprogramm_stellungnahmen_inland_bf.pdf

BMUB 2016b: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Bekanntmachung der Beschlüsse des Länderausschusses für Atomenergie - Hauptausschuss - zum Thema „Rechtlicher Rahmen der Beurteilung des Szenarios ‚Terroristischer Flugzeugabsturz‘ durch die Exekutive“; 31.08.2016

BMUB 2017a: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Letzte Rückführung bestrahlter Brennelemente aus dem Berliner Forschungsreaktor BER II in die USA Berlin, BMUB-Pressedienst Nr. 228/17 Atom/Transporte 28. Juni 2017

BMUV 2021: Verändertes Vorgehen führt zu weniger Transporten und geringeren Kosten, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), 09.06.2021

<https://www.bmuv.de/meldung/neue-loesung-fuer-ruecknahme-radioaktiver-abfaelle-aus-frankreich/>

BUDELMANN 2017: Auf dem Weg in die Endlagerung – Die Notwendigkeit der langfristigen Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle; Harald Budelmann, Maria Rosaria Di Nucci, Ana María Isidoro Losada, Dennis Köhnke, Manuel Reichardt, GAIA 26/2 (2017) S. 110 –113

BUND 2017a: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND): Atommüll-Lagersuche startet neu – aber dem Verfahren fehlt (noch) das Vertrauen, 03. April 2017. <https://www.bund.net/aktuelles/detail-aktuelles/news/atommuell-lagersuche-startet-neu-aber-dem-verfahren-fehlt-noch-das-vertrauen/>

BUND 2020: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND): Aktuelle Probleme und Gefahren bei deutschen Zwischenlagern“; Oda Becker; März 2020

BW 2017: Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft: Manipulierte Zuverlässigkeitsüberprüfungen für kerntechnische Anlagen aus Jülich; 25.08.2017, <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/manipulierte-zuverlaessigkeitsueberpruefungen-fuer-kerntechnische-anlagen-aus-juelich/>

BW 2019a: Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft: Bericht über die Entsorgung von radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen aus Baden-Württemberg, Mai 2019

BW 2019b: Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft: Informationskommission Kernkraftwerk Philippsburg, 13. Sitzung der Info-Kommission am 18. November 2019.

DBT 2015a: Deutscher Bundestag: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Sylvia Kotting-Uhl, Annalena Baerbock, Bärbel Höhn, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (Drucksache 18/4741); Drucksache 18/4887; 12.05.2015

DBT 2016: Deutscher Bundestag: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Sylvia Kotting-Uhl, Oliver Krischer, Steffi Lemke, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN: Stand der Sicherungsmaßnahmen für das Zwischenlager Nord, Drucksache 18/9435; 19.08.2016

DBT 2018b: Deutscher Bundestag: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Hubertus Zdebel, Dr. Gesine Löttsch, Simone Barrientos, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. – Drucksache 19/2776 – Hochangereicherte abgebrannte Brennelemente des Forschungsreaktors München-Garching, Drucksache 19/3442, 19. Wahlperiode, 17.07.2018

- DBT 2018d: Deutscher Bundestag: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Hubertus Zdebel, Dr. Gesine Löttsch, Lorenz Gösta Beutin, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE – Atommüll-Export aus Jülich in die USA, Drucksache 19/1385 19. Wahlperiode 23.03.2018
- DBT 2018e: Deutscher Bundestag, Drucksache 19/5440, 19. Wahlperiode, Schriftliche Fragen mit den in der Woche vom 29. Oktober 2018 eingegangenen Antworten der Bundesregierung, 02.11.2018
- DBT 2019a: Deutscher Bundestag: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Hubertus Zdebel, Dr. Gesine Löttsch, Lorenz Gösta Beutin, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. Transporte mit atomwaffenfähigen abgebrannten Brennelementen des Forschungsreaktors München-Garching in das Zwischenlager Ahaus (NRW) Drucksache 19/9666 23.04.2019
- DBT 2020a: Deutscher Bundestag Drucksache 19/18881, 19. Wahlperiode; 30.04.2020
- DBT 2021a: Deutscher Bundestag, Drucksache 19/32373; 19. Wahlperiode 10.09.2021
- ENTRIA 2017: Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Vertikalprojekt 7: Oberflächenlagerung; <https://www.entria.de/vertikalprojekt7.html>
- ENTRIA 2019: Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen (ENTRIA, 2013-2018): Abschlussbericht; DOI: 10.21268/20190225-1
- ESK 2010: Entsorgungskommission (ESK) „Empfehlungen für Leitlinien zur Durchführung von periodischen Sicherheitsüberprüfungen für Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente und Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle (PÜ-ZL)“ Anlage zum Ergebnisprotokoll der 14. ESK-Sitzung am 04.11.2010
- ESK 2013: Entsorgungskommission: ESK-Leitlinien für die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Behältern, Empfehlung der Entsorgungskommission, Revidierte Fassung vom 10.06.2013.
- ESK 2014: Entsorgungskommission „Leitlinien zur Durchführung von periodischen Sicherheitsüberprüfungen und zum technischen Alterungsmanagement zur Zwischenlagerung für bestrahlte Brennelemente und Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle“, 2014
- ESK 2015: Entsorgungskommission: Diskussionspapier zur verlängerten Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und sonstiger Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle; Diskussionspapier der Entsorgungskommission vom 29.10.2015
- ESK 2022: Entsorgungskommission „Leitlinien zur Durchführung von periodischen Sicherheitsüberprüfungen und zum technischen Alterungsmanagement zur Zwischenlagerung für bestrahlte Brennelemente und Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle“, Empfehlung der Entsorgungskommission vom 03.03.2022
- ESK 2023: Verlängerte Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und sonstiger hochradioaktiver Abfälle in Abhängigkeit von der Auswahl des Endlagerstandorts; ESK-Positionspapier der Entsorgungskommission vom 23.03.2023
- EU KOM 2002: Nukleare Sicherheit im Rahmen der Europäischen Union. Europäische Kommission, Mitteilung an den Rat und das Europäische Parlament, KOM(2002)605 endgültig, vom 06.11.2002
- EU KOM 2017: Europäische Kommission: Staatliche Beihilfen: Kommission genehmigt Errichtung eines mit 24 Mrd. EUR ausgestatteten Fonds zur Finanzierung der kerntechnischen Entsorgung in Deutschland, Pressemitteilung. Brüssel, 16. Juni 2017. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-17-1669_de.htm
- EU KOM 2021: Vertragsverletzungsverfahren im September: wichtigste Beschlüsse, Entscheidungen in Vertragsverletzungsverfahren, Brüssel 23. September 2021, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/DE/INF_21_4681
- EU-RL 2011: Richtlinie 2011/70/EURATOM des Rates vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle. Abl Nr. L 199, S. 48-56.
- EWN 2021a: Atomrechtliches Genehmigungsverfahren gem. § 6 AtG Ersatztransportbehälterlager (ESTRAL) Lubmin/Rubenow; UVP-Bericht; Erstellt im Auftrag: EWN Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH; Stand: 23.11.2021

- FRM 2022a: Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) der Technischen Universität München: Informationen zu den geplanten CASTOR®-Transporten BE-Transporte, Aktuell, Pressemitteilung, 30.03.2022; <https://www.frm2.tum.de/frm2/news-single-view/article/informationen-zu-den-geplanten-castorr-transporten/>
- FRM 2022b: Betrieb des FRM II mit niedrig angereichertem Uran möglich, Umrüstung, Aktuell, Wissenschaft, Pressemitteilung | 25.11.2022, <https://www.frm2.tum.de/frm2/news-single-view/article/betrieb-des-frm-ii-mit-niedrig-angereichertem-uran-moeglich/>
- GNS 2019a: Gesellschaft für Nuklear-Service mbH: CASTOR® MTR3 erhält verkehrsrechtliche Zulassung, 24.01.2019; <https://www.gns.de/language=de/taps=30447/30451>
- GNS 2019b: Gesellschaft für Nuklear-Service mbH: Behälterspezifische Bewertung der verlängerten Zwischenlagerung und des Abtransports nach der verlängerten Zwischenlagerung aus Sicht der GNS; Roland Hüggenberg GNS; BGZ-Fachworkshop Zwischenlagerung, Berlin; 22.10.2019
- GÖK/UIM 2004: Gruppe Ökologie e.V. und Umweltinstitut München e.V.: Stellungnahme zu Flugzeugabsturz und Einwirkungen Dritter auf das Standort-Zwischenlager Gundremmingen und Berechnung der Strahlenbelastung nach Flugzeugabsturz und Einwirkungen Dritter auf das Standort-Zwischenlager Gundremmingen. Im Auftrag von Forum gemeinsam gegen das Zwischenlager und für eine verantwortungsvolle Energiepolitik e.V., Hannover/München, September 2004
- GRS 2003: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit: Pretzsch, G. und Maier, R.: German Approach to estimate potential radiological consequences following a sabotage attack against nuclear interim storage. Eurosafe 2003
- GRS 2019b: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH: Modellierung von Brennelementen Maik Stuke, Forschungszentrum Garching, BGZ-Fachworkshop Zwischenlagerung, Berlin; 22.10.2019
- GRS 2020a: Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit mbH: Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland, Ergebnisse der Länderumfrage zum Stichtag 31.12.2020, O. Bartos K. Hummelsheim, Auftrags-Nr.: 856422, Juli 2020
- HOLTEC 2017: Holtec International: HI-STORM UMAX – Holtec International Storage Module Underground MAXimum Capacity, 2017.
- IAEA 2012: International Atomic Energy Agency: Storage of Spent Nuclear Fuel IAEA Safety Standards Series SSG-15, Vienna.
- IAEA 2019: Report of the integrated review service for radioactive waste and spent fuel management, decommissioning and remediation (ARTEMIS) mission to Germany; 22 September to 4 October 2019, Cologne Germany, 2019.
- INTAC 1996: intac GmbH: Studie zu Gefahren beim Transport von HAW-Kokillen zur Zwischenlagerung in der BRD; Wolfgang Neumann, im Auftrag von Greenpeace e.V., Hannover, 1996
- ISR 2017: Gutachterliche Stellungnahme zum Forschungsreaktor München II (FRM-II), Institut für Sicherheits- und Risikowissenschaften der Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien, Projektnummer 94 110; Wolfgang Liebert, Friederike Friess, Klaus Gufler, Nikolaus Arnold, im Auftrag des Nationalen Begleitgremium; Dezember 2017
- JEN 2022: Weiterer Umgang mit den AVR-Brennelementen, Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen, Letzte Aktualisierung November 2022, <https://www.jen-juelich.de/projekte/avr-brennelemente/>
- KILGER 2015: Sicherheitsaspekte bei der längerfristigen Zwischenlagerung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle, Robert Kilger, GRS Fachgespräch 2015, 26.-27. Februar 2017, Berlin
- KOCH 2019: Alterungsmanagement in der Schweiz. Frank Koch ENSI; BGZ Fachworkshop Zwischenlagerung, 22.-23. Oktober 2019, Berlin
- KOMMISSION 2015a: Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe: Bericht des BMUB zur Entsorgung bestrahlter Brennelemente aus Forschungs-, Versuchs- und Demonstrationsreaktoren, Vorgelegt in der 9. Sitzung der Arbeitsgruppe 2 am 7. September 2015

KOMMISSION 2016a: Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe: Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe. Verantwortung für die Zukunft. Ein faires und transparentes Verfahren für die Auswahl eines nationalen Endlagerstandortes. Vorabfassung, K-Drs. 268. <https://www.bundestag.de/endlager/mediathek/dokumente>.

KOMMISSION 2016b: Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe: Zeitbedarf für das Standortauswahlverfahren und für die Errichtung eines Endlagers, K-Drs. 267. Verfasser: Prof. Dr. rer. nat. Bruno Thomauske und Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla, 22.06.2016

KOMMISSION 2016c: Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe: Entwurf des Berichtsteils zu Teil B – Kapitel 4 (Entsorgungsoptionen und ihre Bewertung); Entwurf der AG 3 für die 20./21. Sitzung der Kommission am 21./22. Januar 2016; Bearbeitungsstand 15.01.2016; K-Drs. 160. http://www.bundestag.de/blob/402344/fc0f2eb6980227a8ab42aa74e3b81ffb/drs_160-data.pdf

LT B 2015a: Bayerischer Landtag: Schriftliche Anfrage des Abgeordneten Benno Zierer FREIE WÄHLER, vom 12.05.2015; Abgebrannte Brennelemente des Forschungsreaktors, FRM II; 17/7172, 24.07.2015

LT BW 2015: Landtag von Baden-Württemberg: Kein Platz für Castoren? Weitere Entwicklungen im Zusammenhang mit der durch die Landesregierung angebotenen Zwischenlagerung zusätzlicher Castor-Behälter in Baden-Württemberg, Antrag der Abg. Ulrich Lusche u. a. CDU und Stellungnahme des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft; 15. Wahlperiode Drucksache 15 / 6443, 03. 02. 2015

LT NW 2017: Landtag Nordrhein-Westfalen: Stand der Dinge beim Zwischenlager Jülich, Antwort der Landesregierung auf die Kleine Anfrage vom 27. Januar 2017 des Abgeordneten Hanns-Jörg Rohwedder PIRATEN Drucksache 16/14112; 16. Wahlperiode Drucksache 16/14342 01.03.2017

LT SH 2016: Landtag Schleswig-Holstein: Standortzwischenlager Brokdorf; Kleine Anfrage der Abgeordneten Angelika Beer und Dr. Patrick Breyer (PIRATEN) und Antwort der Landesregierung; Drucksache 18/3806; 18. Wahlperiode 2016-02-11

MWEIMH 2015: Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen: Prüfung der Plausibilität des Detailkonzepts der Forschungszentrum Jülich GmbH zur Entfernung der Kernbrennstoffe aus dem AVR-Behälterlager – Zusammenfassung; http://www.mweimh.nrw.de/presse/_container_presse/Zusf-Plausibilitaetsgutachten.pdf

NEUMANN 2014: Wolfgang Neumann (intac GmbH): Zur Notwendigkeit von Heißen Zellen an Zwischenlagerstandorten; im Auftrag von Greenpeace e.V., Hannover, Mai 2014

NEUMANN 2020: Offener Brief an das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung zur 9. Änderungsgenehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen im Standort-Zwischenlager in Biblis der BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH; Berlin 13.02.2020

NLT 2019: Niedersächsischer Landtag: Kleine Anfrage zur schriftlichen Beantwortung gemäß § 46 Abs. 1 GO LT mit Antwort der Landesregierung; Antwort des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz namens der Landesregierung, Anfrage der Abgeordneten Miriam Staudte (GRÜNE) Castor-Lager Gorleben: Sicherheitsstandards ungenügend? 18. Wahlperiode; Drucksache 18/4211; 18.07.2019

NMU 2015a: Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz: Qualitätsfall Tragzapfenfertigung für CASTOR-Behälter: Bundesweit über 300 beladene Behälter betroffen, Pressemitteilung Nr. 86/2015; 10.04.2015.

ÖKO-INSTITUT & GRS 2015a: Strategische Umweltprüfung zum Nationalen Entsorgungsprogramm. Umweltbericht für die Öffentlichkeitsbeteiligung. Der Umweltbericht wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) erstellt. Darmstadt/Köln 27.3.2015.

OVG SH 2013: Obergerverwaltungsgericht Schleswig-Holstein; Urteil 4 KS 3/08, verkündet am 19. Juni 2013

SCHNEIDER-EICKHOFF 2021: Forschungsaktivitäten der BGZ auf dem Gebiet Transport- und Lagerbehälter, Ralf Schneider-Eickhoff, Abteilung Zentrale Fachfragen; 16.11.2021; BGZ Fachworkshop Zwischenlagerung, 17.11.2021, Berlin

SENTUC 2021: Florence-Nathalie Sentuc et al., GRS: KombiLyse: Kombinierte Betrachtung der Entwicklungen und möglicher Maßnahmen während der (verlängerten) Zwischenlagerung unter Berücksichtigung möglicher Auswirkungen auf die Endlagersicherheit im Hinblick auf die Radionuklidmobilität. BGZ Fachworkshop Zwischenlagerung, 17.11.2021, Berlin

STIMME 2017a: Kommunen mit AKWs fordern zentrales Castor-Eingangslager, 11. Juli 2017
<http://www.stimme.de/suedwesten/nachrichten/pl/Atom-Baden-Wuerttemberg-Deutschland-Kommunen-mit-AKWs-fordern-zentrales-Castor-Eingangslager;art19070,3879001>

STUKE 2021: Forschungsaktivitäten der BGZ auf dem Gebiet der Brennelemente; Dr. Maik Stuke, Referent für Zentrale Fachfragen, 16.11.2021; BGZ Fachworkshop Zwischenlagerung; 16./17.11.2021, Berlin

SWR 2017: SWR Aktuell: Atommüll in Neckarwestheim – Gemeinde will weitere Transporte stoppen, 30.6.2017, <https://www.swr.de/swraktuell/bw/heilbronn/atommuell-schiff-neckar/-/id=1562/did=19786668/nid=1562/14nqkli/index.html>

SZ 2022: Süddeutsche Zeitung: TU München: Forschungsreaktor Garching: Betrieb ohne hoch angereichertes Uran möglich; 25. November 2022; <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/landkreismuenchen/forschungsreaktor-garching-uran-tu-muenchen-betrieb-1.5703291>

UIM 2017: Umweltinstitut München: Forschungsreaktor, München FRM II; Positionspapier des Umweltinstituts München e. V. zum Forschungsreaktor Garching von Christina Hacker und Karin Wurzbacher, 01.06.2017, http://www.nationales-begleitgremium.de/SharedDocs/Downloads/DE/Positionspapier_Umweltinstitut_M%C3%BCnchen.html?nn=8556084

UMWELTBUNDESAMT 2002: Christian Baumgartner; Oda Becker, Andreas Frank; Helmut Hirsch; Jürgen Kreusch, Wolfgang Neumann, et al.: Grenzüberschreitende UVP gemäß Art. 7 UVP-RL zum Standortzwischenlager Biblis. Bericht an das österreichische Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft sowie an die Landesregierungen von Oberösterreich und Vorarlberg. Wien, Februar 2002. http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umwelthemen/umweltpolitische/ESPOOverfahren/Zwischenlager_Deutschland/Biblis/BerichtZwilagBiblis_oe.pdf

WAGNER 2019: Zustandsüberwachung von Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente und wärmeentwickelnde HAW bei verlängerter Zwischenlagerung – strahlungsbasierte, thermographische und akustische Messverfahren, Wagner, M. Rachamin R. et al., BGZ Fachworkshop Zwischenlagerung, 22.-23. Oktober 2019, Berlin

WILLE 2021: Transport nach Zwischenlagerung, Besonderheiten des letzten Transports; Dr. Frank Wille; BGZ Fachworkshop Zwischenlagerung; 16./17.11.2021, Berlin

WOLLENTEIT 2014: Rechtsgutachten zur Zulässigkeit der Verbringung von abgebrannten Kernbrennstoffen aus dem stillgelegten Kernkraftwerk AVR Jülich in die Wiederaufarbeitungsanlage Savannah River Site (USA), U. Wollenteit; erstellt im Auftrag von Greenpeace e.V., Hamburg, 3. September 2014

WOLLENTEIT 2017: Rechtsgutachten zur Unzulässigkeit der beabsichtigten Bereitstellungslagerung von abgebrannten Brennelementen in dem ungenehmigten Zwischenlager des AKW Brunsbüttel. U. Wollenteit; erstellt im Auftrag von Greenpeace e.V., Hamburg, 06.01.2017