



Ergebnisbericht zum  
Fachworkshop Zwischenlagerung  
22. & 23. Oktober 2019 in Berlin

## **1 Einleitung**

Am 22. und 23. Oktober 2019 fand in Berlin der erste Fachworkshop Zwischenlagerung der BGZ statt. Der Einladung zu dieser geplant zweijährlichen Veranstaltungsreihe folgten 101 Teilnehmer\*innen aus Deutschland, sowie weitere Gäste aus dem Ausland. Der Teilnehmerkreis setzte sich aus Mitarbeiter\*innen von Bundesministerien, Aufsichts- und Genehmigungsbehörden, Betreibern von Zwischenlagern, Energieversorgungsunternehmen, Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie Vertreter\*innen weiterer Verbände und Bürgerinitiativen zusammen. Im Rahmen von zehn Fachvorträgen wurden Forschungsthemen der verlängerten Zwischenlagerung dargestellt und fachlich diskutiert. Der Fachworkshop hatte das Ziel, offene Forschungsfragen zu identifizieren und zukünftige Aktionsfelder, die im Zusammenhang mit der Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und wärmeentwickelnder Abfälle stehen, einzugrenzen und sie in die Belange der BGZ einzuordnen. Die vielschichtigen Aspekte der verlängerten Zwischenlagerung wurden im Nachgang bewertet und in die eigenen Überlegungen zum Forschungsprogramm der BGZ einbezogen. Mit diesem Beitrag möchte die BGZ ihrem Versprechen nachkommen und über den Fortgang der Aktivitäten auf dem Gebiet der Forschung berichten und das weitere Vorgehen im Dialog mit der Fachöffentlichkeit erörtern. Es ist ein grundlegendes Anliegen der BGZ, einen transparenten Wissensaustausch mit der Fachwelt und Öffentlichkeit zu pflegen, in dem Ergebnisse veröffentlicht und Diskussionen fortgeführt werden, welche für die kommenden Schritte handlungsleitend sind.

## **2 Zusammenfassung der Kernergebnisse des 1. Fachworkshops Zwischenlagerung**

### **2.1 Themenfeld Transport- und Lagerbehälter**

Die wesentlichen Sicherheitsfunktionen zur Einhaltung der Schutzziele werden von den Transport- und Lagerbehältern übernommen. Damit stellten sie ein wesentliches Themenfeld im Veranstaltungsprogramm dar. Aus den verschiedenen Fachvorträgen und Diskussionen innerhalb des zweitägigen Fachworkshops ging hervor, dass einheitliche bzw. im Grundsatz ähnliche Baumerkmale der verschiedenen Behälterbauarten die Bewertung der Eignung für eine verlängerte Zwischenlagerung vereinfachen. Da sich durch die verlängerte Zwischenlagerung keine neuen Schutzziele ergeben und sich die bisherigen sicherheitstechnischen Bewertungen dadurch auch nicht grundlegend ändern, konzentrieren sich die sicherheitstechnischen Fragestellungen auf das Langzeit- und Degradationsverhalten der einzelnen Komponenten. Dabei

sind die realen Beladungen der Behälter wie auch die abnehmende Aktivität des Inventars und die damit einhergehende sinkende Neutronen- und Gammadosisleistung, sowie die abnehmende Wärmeleistung zu berücksichtigen. Bei der Bewertung der Alterungseinflüsse auf den Behälter und seine Komponenten reicht die Betrachtung einzelner Teilaspekte nicht aus. Die Gesamtheit aller Alterungseinflüsse sowie deren Zusammenwirken sind entscheidend. Aus den Fachvorträgen und Diskussionen wurde deutlich, dass die Überschreitung der bisher sicherheitstechnisch bewerteten Zeitspanne von 40 Jahren, die sich aus dem damaligen Ziel einer zeitnahen Endlagerverfügbarkeit abgeleitet hatte, nicht bedeutet, dass die technische Lebensdauer der Behälter nach Ablauf der 40 Jahre überschritten ist. Nach derzeitigem Erkenntnisstand und mehr als drei Jahrzehnten Betriebserfahrung (Erste CASTOR<sup>®</sup>-Beladung 1983 in der Schweiz) sind bei den Behältern hinsichtlich einer verlängerten Zwischenlagerung keine sog. „Cliff-Edge-Effekte“ (d.h. plötzliches Versagen der Behälter, einer Komponente oder einer Sollbruchstelle) zu erwarten, die die Einhaltung der Schutzziele gefährden würden.

Aus den Fachvorträgen und Diskussionen ist deutlich hervorgegangen, dass jedoch ein Forschungsbedarf in Hinblick auf die Behälter vorwiegend bei den Metalldichtungen gesehen wird. Die meisten Veränderungen an den Dichtungen ereignen sich innerhalb der ersten zehn Jahre der Zwischenlagerung aufgrund der dann noch höheren Temperaturen, sodass von einer grundsätzlichen Eignung der Metalldichtungen auch für den Zeitraum der verlängerten Zwischenlagerung auszugehen ist. Um dies zu untermauern wurde die Notwendigkeit für weitere Versuche von allen Seiten betont. Laufende Versuche zum Langzeitverhalten der Metalldichtungen auf Seiten des Behälterherstellers, wie auch auf Seiten der Behörden, sollen fortgeführt werden, um die Datenbasis für Prognosemodelle erweitern zu können. Internationale Programme wie das Extended Storage Collaboration Program (ESCP) stützen diese Position.

Ein weiterer Punkt, der ausführlich diskutiert wurde, ist, dass internationale GAP-Analysen und Forschungsergebnisse häufig nur begrenzt auf die Situation in Deutschland übertragbar sind und damit eigene GAP-Analysen, sowie daraus abgeleitete Forschungsvorhaben, erforderlich sind.

## **2.2 Themenfeld Brennelemente**

Im Themenfeld Brennelemente wurde vorrangig das Langzeitverhalten von Brennelementen aus Leichtwasserreaktoren thematisiert. Aus den Fachvorträgen und Diskussionen ging hervor, dass hier Forschungsbedarf besteht. Zudem unterscheiden sich die spezifischen Fragestellungen

gen zum Inventarverhalten bei einer verlängerten Zwischenlagerung nicht grundlegend von den gegenwärtigen Anforderungen, da die Schutzziele – auch über 40 Jahre hinaus – einzuhalten sind. Auch für das Langzeitverhalten der Brennelemente gilt, dass die Überschreitung der bisher sicherheitstechnisch bewerteten Zeitspanne von 40 Jahren nicht bedeutet, dass die Eignung der Inventare für Zeiträume über 40 Jahre hinaus nicht mehr gegeben ist. Die verlängerte Zwischenlagerung erfordert jedoch die erneute Betrachtung sowie angepasste Analyse- und Bewertungsansätze, das schließt auch die Erneuerung von Regelwerken ein.

Die gesamtheitliche Betrachtung der vielfältigen Brennstoff- und Hüllrohrmaterialien, der unterschiedlichen Betriebshistorien sowie der verschiedenen Alterungsphänomene hat verdeutlicht, dass die Forschungsfragen im Hinblick auf ihre Relevanz für die Zwischenlagerung, den Transport oder die Handhabung zu adressieren und priorisieren sind. Die übergeordnet zu beantwortende Frage ist, welche Inventare einer besonderen Betrachtung zu unterziehen sind – bislang wird unterstellt dies sei bei MOX- und Hochabbrand-Brennelementen der Fall.

Im Hinblick auf den rechnerischen Nachweis zum Ausschluss eines systematischen Hüllrohrversagens wurde eine kritische Auseinandersetzung mit den bisher verwendeten Kriterien gefordert. Die verschiedenen Alterungsphänomene sind auf ihren Einfluss auf die sicherheitstechnischen Nachweise zu bewerten. Daraus generiert sich ein entsprechender Forschungsbedarf. In dem Fachworkshop wurde hierzu von manchen Teilnehmenden das Öffnen eines bereits beladenen Behälters in Deutschland angesprochen und diskutiert. Aus BGZ-Sicht ist jedoch zunächst einmal mit ausreichender Tiefe zu bewerten, welche Fragestellungen genau zu beantworten sind und dann zu prüfen, wie diese ausreichend beantwortet werden können. Dies wird Teil zukünftiger Diskussionen. Ergebnisse von bspw. dem Dry Cask Storage Characterization Project aus dem Jahr 1999 mit einem CASTOR V/21 sind öffentlich zugänglich und über den aktuellen Stand beim High-Burnup Dry Storage Research Project (DEMO) wird bspw. im Rahmen des ESCP berichtet. Die verschiedenen Fachvorträge und Diskussionen zeigten auch auf, dass viele Fragestellungen durch Versuche bspw. an Abschnitten von bestrahlten Brennstäben beantwortet werden können.

Ebenso sind bereits heute Rechencodes verfügbar, mit denen sich nach aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik die Integrität für Brennelemente während der verlängerten Zwischenlagerung vorhersagen lässt. Die Analyse umfasst dabei Bestrahlungshistorie, Nasslagerung, Trocknungsprozess und anschließende trockene Zwischenlagerung im Behälter. In Hinblick auf

die Belastbarkeit der Aussagen wurde in den Fachvorträgen und Diskussionen auf fehlende Hersteller- und Betriebsdaten hingewiesen. Derzeit ist eine direkte Validierung mit aktuell frei verfügbaren Daten sowie die Heranziehung internationaler Erkenntnisse nur bedingt möglich. Diesbezüglich geht es methodisch um die Frage, wie die numerischen Ergebnisse validiert werden können.

In diesem Kontext wurden auch experimentelle und numerische Untersuchungen zur Bewertung der Integrität abgebrannter Brennelemente unter Transportbedingungen diskutiert, mit dem Ergebnis, dass für ein besseres Verständnis des Brennelementeverhaltens die Datenbasis von Brennstabversuchen in der heißen Zelle hinsichtlich Transportbeanspruchungen (quasistatische Biegetests oder dynamische Fallgewichtstests) noch zu gering ist.

### **2.3 Themenfeld: Alterungsmanagement**

Im Themenfeld Alterungsmanagement wurden in den Fachvorträgen und Diskussionen vorrangig die Erfahrungen in der Schweiz zu dieser Thematik sowie mögliche nicht-invasive Methoden zur Zustandsüberwachung von Transport- und Lagerbehältern diskutiert.

In der Schweiz ähnelt die Entsorgungssituation (Verschiebungen im Projekt „Geologische Tiefenlagerung“, keine Wiederaufarbeitung, Brennelemente mit hohen Abbränden und hohen Anreicherungen, die über das internationale Niveau hinausgehen) der deutschen Situation. Ebenso wird eine Auslegungsbasis von 40 Jahren zugrunde gelegt. Das ENSI als Behörde in der Schweiz stimmt derzeit mit den Betreibern einen Alterungsleitfaden mit empfehlendem Charakter ab. Das Alterungsüberwachungsprogramm des Leitfadens ist modular aufgebaut nach Komponente, Alterungseffekt/Schadensbild und Alterungsüberwachungsprogramm. Die Betrachtung der Module in Summe ermöglicht dann eine ganzheitliche Bewertung. In diesem Kontext wurde auf die Verfügbarkeit von Heißen Zellen im ZWILAG in der Schweiz hingewiesen.

Im Rahmen dieses Themenfeldes wurde ebenfalls die potenzielle Möglichkeit zur nicht-invasiven Untersuchung des Innenraums beladener Behälter thematisiert. Es wurden strahlungsbasierte, thermographische und akustische Messverfahren vorgestellt. Im Ergebnis haben thermographische und akustische Methoden nach aktuellem Stand kaum Aussagekraft und sind aus heutiger Sicht für ein Monitoring ungeeignet. Strahlungsbasierte Methoden und die Myonentransmissionsmessung eignen sich im Grundsatz für eine derartige Zustandsüberwachung. Im Hinblick auf das Abklingverhalten der bestrahlten Brennelemente und dem damit einhergehenden zeitlichen Abfall der Gamma- und Neutronendosisleistung weist die Myonentransmissi-

onsmessung Vorteile auf. Hier sind noch weitere Betrachtungen zu der Aussagekraft der einzelnen Methoden erforderlich.

### **3 Ausblick für das Forschungsprogramm der BGZ**

Das Ziel des ersten Fachworkshops – die Identifizierung offener Forschungsfragen und Eingrenzung zukünftige Aktionsfelder, die im Zusammenhang mit der Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und wärmeentwickelnder Abfälle stehen, sowie deren Einordnung in die Belange der BGZ – wurde vollumfänglich erreicht und hat wesentlich zu der Konzipierung des Forschungsprogramms beigetragen. Durch den Fachworkshop wurde die Sichtweise, dass dem Zwischenlagerbauwerk im Vergleich zu den Transport- und Lagerbehältern und den Inventaren im Rahmen des Forschungsprogramms zunächst eine nachrangige Priorität zugeordnet werden kann, bestätigt. Mit dem Fokus auf die Transport- und Lagerbehälter sowie die Leichtwasserreaktor-Brennelemente wurde mit der Bedarfsanalyse für notwendige Forschungsarbeiten begonnen. Die Bedarfsanalyse stützt sich dabei auf drei wesentliche Säulen: Die Auswertung internationaler Erkenntnisse, die Auswertung der Betriebserfahrung und die sogenannten GAP-Analysen.

In Hinblick auf eine verbesserte internationale Kooperation und insbesondere auf die Nutzung internationaler Forschungsergebnisse hat sich die BGZ in der Zwischenzeit am Extended Storage Collaboration Program beteiligt und ist dem „Zirconium Alloy and Technology“-Programm des Wissenschaftsverlags A.N.T. International beigetreten. Sie hat damit Zugang zu den weltweit veröffentlichten Forschungsschriften und -ergebnissen zum Thema Zirkoniumlegierungen und deren Einsatz in der kerntechnischen Anwendung (inkl. Zwischenlagerung).

In Hinblick auf den diskutierten Forschungsbedarf bei den Leichtwasserreaktor-Brennelementen nimmt die BGZ an dem OECD/NEA Studsvik Cladding Integrity Project (SCIP IV) teil, dem vierten Forschungsprogramm einer Kooperation zwischen OECD/NEA und verschiedenen Organisationen aus 15 Ländern, welches eine Laufzeit von 5 Jahren hat. Das vierte Forschungsprogramm setzt dabei inhaltlich auf den vorherigen Programmen auf. So werden nun zu einem großen Teil zwischenlagerspezifische Fragestellungen, wie sie auch im dem zweitägigen Fachworkshop diskutiert wurden, adressiert.

Einen wesentlichen Schwerpunkt der Forschungstätigkeit der BGZ bilden aktuell die behälter- und inventarspezifischen GAP-Analysen. Grundlage der GAP-Analysen sind die der Aufbewah-



rungsgenehmigungen und den verkehrsrechtlichen Zulassungen zugrundeliegenden Sicherheitsnachweise, die aktuell gültigen Regelwerke sowie der Stand von Wissenschaft und Technik (basierend auf den internationalen Erkenntnissen). Der Forderung nach einer kritischen Auseinandersetzung mit den bisher verwendeten Kriterien wird die BGZ mit diesem Ansatz gezielt nachkommen. Der in dem Fachworkshop thematisierte Forschungsbedarf bei Metalldichtungen wurde ebenfalls von BGZ direkt aufgenommen. Hier befindet sich die BGZ mit geeigneten Partnern bereits in der Konzipierung eines Forschungsvorhabens, dass die Fragestellungen adressiert.

Die inventarspezifischen GAP-Analysen sind noch nicht abgeschlossen und entsprechend liegt der BGZ noch kein vollständiges Bild zum Forschungsbedarf bezüglich der Leichtwasserreaktor-Brennelemente vor. Daher eruiert die BGZ aktuell intensiv weitere Möglichkeiten für zielgerichtete Forschungsvorhaben zum Brennelementverhalten.

Die Diskussionen über nicht-invasive Methoden zur Zustandsüberwachung der Behälter hat die BGZ in dem Ansatz bestärkt, das Thema Myonentomographie weiter zu verfolgen. Aktuell wird auch hier an der Konzipierung eines möglichen Forschungsvorhabens gearbeitet.

Im Verlauf dieses Jahres wird sich das Forschungsprogramm insbesondere durch die fortschreitenden GAP-Analysen noch wesentlich weiterentwickeln. Über den Fortgang der Aktivitäten zum Forschungsprogramm wird die BGZ weiter berichten. An dieser Stelle sei noch mal ausdrücklich der Dank an die Teilnehmenden und Vortragenden des Fachworkshops für die Fachvorträge und die angeregten Diskussionen gerichtet, die damit einen wesentlichen Beitrag zur Weiterentwicklung des Forschungsprogramms geleistet haben.