

Forschung im Bereich der Zwischenlagerung: Das Forschungsprogramm der BGZ

Maik Stuke

BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung
Dammstraße 32, 84051 Essenbach
maik.stuke@bgz.de

Jörn Becker, Ralf Schneider-Eickhoff

BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung
Frohnhauser Str. 67, 45127 Essen
joern.becker@bgz.de, ralf.schneider@bgz.de

KURZFASSUNG

Im vorliegenden Artikel wird das im April 2022 veröffentlichte Forschungsprogramm der BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung vorgestellt. Einem gesamtheitlichen und schutzzielorientierten Ansatz folgend, wurde der relevante Forschungsbedarf für das Forschungsprogramm herausgearbeitet. Dazu wurden bestehende Sicherheitsnachweise, die den Aufbewahrungsgenehmigungen und verkehrsrechtlichen Zulassungen zugrunde liegen, ebenso berücksichtigt wie die Betriebserfahrungen zu den Lagergebäuden, Behältern und Inventaren. Bereits bestehende und von der BGZ beauftragte nationale sowie internationale Gap-Analysen zum Stand von Wissenschaft und Technik bezogen auf die verlängerte Zwischenlagerung wurden analysiert und bei der Identifizierung des Forschungsbedarfs berücksichtigt. Das Forschungsprogramm zeigt die nach aktuellem Stand für die verlängerte Zwischenlagerung notwendige Forschung im Bereich der Gebäude, Behälter und Inventare auf, erläutert die Forschungsstrategie und stellt den aktuellen Bearbeitungsstand der einzelnen Projekte dar. Als Beispiel für eines der initiierten Projekte wird im vorliegenden Artikel das Forschungsprojekt LEDA näher beschrieben.

EINLEITUNG

Die BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH ist eine in privater Rechtsform organisierte Gesellschaft mit beschränkter Haftung, dessen alleiniger Gesellschafter die Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, ist. Ihrem Auftrag aus dem Gesetz zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung [1] folgend, gewährleistet die BGZ den sicheren und zuverlässigen Betrieb von Zwischenlagern für schwach-, mittel- und hochradioaktive Abfälle. Zu den von der BGZ betriebenen Zwischenlagern für hochradioaktive Abfälle zählen neben den Brennelemente-Zwischenlagern Ahaus und Gorleben auch die Standortzwischenlager Biblis, Brokdorf, Grafenrheinfeld, Grohnde, Gundremmingen, Isar, Krümmel, Lingen, Neckarwestheim, Philippsburg und Unterweser¹. In diesen Zwischenlagern werden die hochradioaktiven Abfälle bis zur Verbringung in ein Endlager aufbewahrt.

Auf Grund der im Standortauswahlgesetz [2] vorgegebenen Verfahrenszeiträume zur Suche und Auswahl eines Endlagerstandortes für hochradioaktive Abfälle ist davon auszugehen, dass die bisher unterstellten und genehmigten Zwischenlagerzeiträume von bis zu 40 Jahren, den Zeitraum bis zur Inbetriebnahme eines Endlagers und den für eine vollständige Räumung der Zwischenlager notwendigen Zeiträumen nicht abdecken. Die Befristungen der bestehenden

¹ Das Standortzwischenlager Brunsbüttel wird derzeit noch von der Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG betrieben, die Übertragung an die BGZ erfolgt, sobald das laufende Verfahren zur Neuerteilung der Aufbewahrungsgenehmigung abgeschlossen und die Genehmigung ausnutzbar ist.

Aufbewahrungsgenehmigungen der Zwischenlager enden zwischen 2034² und 2047. 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 für die Dauer der Zwischenlagerung nachzuweisen.

DAS FORSCHUNGSPROGRAMM

Für die Evaluierung des nötigen Forschungsbedarfs im Hinblick auf die verlängerte Zwischenlagerung wurden die aktuellen Sicherheitsnachweise, die den Aufbewahrungsgenehmigungen und verkehrsrechtlichen Zulassungen zugrunde liegen, systematisch und kritisch auf ihre Gültigkeit für die verlängerte Zwischenlagerung hinterfragt und bewertet. Die gewonnenen Erkenntnisse sind ebenso wie die eigenen Betriebserfahrungen zu den Lagergebäuden, Behältern und Inventaren in die Evaluierung eingeflossen. Ein weiterer wichtiger Bestandteil bei der Ableitung des Forschungsbedarfs ergibt sich aus dem nationalen und internationalen fachlichen Austausch sowie der Auswertung aktueller Forschungsergebnisse. Maßgeblich für die Einordnung und Bewertung eines Forschungsbedarfes sind die Auswirkungen beziehungsweise die Konsequenzen eines möglichen Defizites in Bezug auf die sichere Zwischenlagerung unter Beachtung möglicher Gegenmaßnahmen. Dabei wurden das zugrundeliegende Konzept der trockenen Zwischenlagerung und die damit verbundenen Funktionen des Gebäudes, der Behälter und des Inventars einbezogen. Das Schaubild in Abbildung 1 skizziert das Vorgehen bei der Erstellung des Forschungsprogramms. Die Evaluation des Forschungsprogramms ist vorgesehen. Ein Ziel der ist es dabei, eventuell vorhandenen Handlungsbedarf frühzeitig zu identifizieren, um die verbleibende Zeit bis zur Neubeartragung der Zwischenlagergenehmigungen für

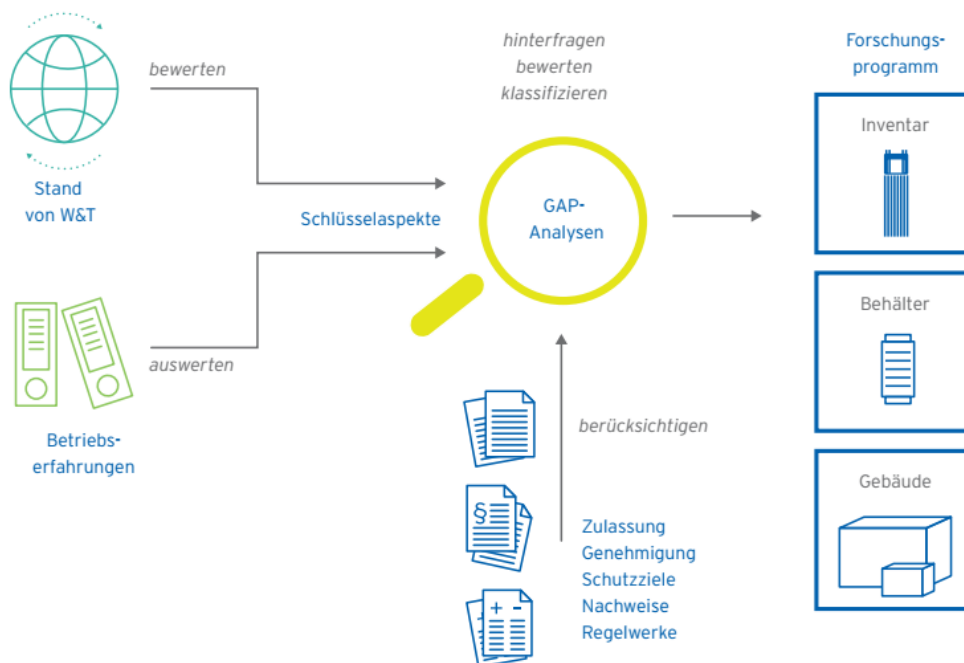


Abbildung 1: Vorgehen bei der Erstellung des Forschungsprogramms

entsprechende Forschungsprogramme nutzen zu können und so gegebenenfalls zusätzliche Handlungsoptionen zu eröffnen. Die Ableitung des BGZ Forschungsprogramms aus dem Forschungsbedarf basiert auf einem gesamtheitlichen und schutzzielorientierten Ansatz.

Das aktuelle Forschungsprogramm der BGZ wurde im April 2022 veröffentlicht [3]. Es zeigt den aktuell notwendigen Forschungsbedarf auf und gibt einen Überblick über Forschungsstrategie und -aktivitäten

² Die in den Aufbewahrungsgenehmigungen festgelegte Frist für einen Zeitraum von 40 Jahren beginnt mit dem Verschließen des Behälters bei der Beladung. Für die ersten Transport- und Lagerbehälter läuft diese Frist bereits 2032 aus.

der BGZ. Mit der Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik wird auch das Forschungsprogramm fortlaufend angepasst und weiterentwickelt.

Zur Bearbeitung der im Forschungsprogramm definierten Fragestellungen und Forschungsaufgaben betreibt die BGZ einen weitreichenden fachlichen Austausch auf nationaler und internationaler Ebene. Im Rahmen von konkreten Forschungsvorhaben finden Kooperationen mit Partnern aus der Behälter- und Brennelementherstellung sowie aus Forschungsinstituten, Universitäten sowie weiteren relevanten Unternehmen statt. Die BGZ ist bestrebt, alle wichtigen und relevanten Partner aus dem Bereich der nuklearen Entsorgung in ihre Forschung transparent einzubeziehen.

Das Forschungsprogramm stellt den aktuellen Forschungsbedarf für die Gebäude, Behälter und die von der BGZ verwahrten Inventare dar. Im Folgenden wird exemplarisch das Forschungsprojekt LEDA (Longterm Experimental Dry Storage Analysis) zur Untersuchung des Langzeitverhaltens von Brennstäben unter Bedingungen der trockenen Zwischenlagerung vorgestellt.

Longterm Experimental Dry Storage Analysis - LEDA

Die Forschungsstrategie der BGZ zum Inventarverhalten leitet sich aus dem realen, bei der BGZ verwahrten Inventar ab. Auf Basis existierender (inter-)nationaler [4 - 9] sowie zusätzlicher eigener Gap-Analysen zum Forschungsbedarf, welche in Zusammenarbeit mit Brennelement- und Behälterherstellern erstellt wurden, konnte eine Forschungspriorisierung vorgenommen werden. Für die BGZ wurde als ein Forschungsschwerpunkt die Untersuchung des Langzeitverhaltens der eingelagerten Leichtwasser Reaktor Brennelemente identifiziert.

Das Projekt LEDA (Longterm Experimental Dry Storage Analysis) hat zum Ziel, die experimentelle Datenbasis zum Brennstabhüllrohrverhalten unter Bedingungen der verlängerten Zwischenlagerung zu vervollständigen und aus den gewonnen generierten Daten verlässliche Vorhersagemodelle abzuleiten. Die dazu nötigen experimentellen Untersuchungen werden an repräsentativen Brennstabsegmenten mit für die Trockenlagerung in Deutschland prototypischen Randbedingungen durchgeführt (Integral-Effekt-Tests). Die ausgewählten Brennstabsegmente weisen axiale Wasserstoffprofile entsprechend der Bestrahlungshistorien auf. Letztere bestimmen auch die für die Versuche einzustellenden Hüllrohrinnendrucke (entsprechend 70 bis 120 MPa Umfangsspannung). Für die Untersuchungen werden typische axiale Temperaturprofile mit Gradienten von ca. 50° bis 100°C eingestellt und im Verlauf des Experiments werden repräsentative Temperatur-Zeit-Kurven nachgestellt. Dabei werden maximale Hüllrohrtemperaturen von 370°C und niedrigen Abkühlraten von ca. 0.05 K/h berücksichtigt. Dies führt je nach Starttemperatur und Brennstofftemperatur zu mehrmonatigen Versuchsdauern. Bei der Durchführung wird auf unnötige Konservativitäten oder unphysikalische Bedingungen verzichtet.

Die Versuche werden in den Heißen Zellen von Studsvik Nuclear AB in Nyköping (Schweden) in einem dafür geeigneten Teststand durchgeführt. Letzterer wurde ursprünglich entwickelt und hergestellt im Rahmen des Halden Reactor Project (HRP)³, um das Brennstabverhalten unter Bedingungen der trockenen Zwischenlagerung zu untersuchen. BGZ hat den Teststand erworben und das Testequipment nach Nyköping in die Laboratorien von Studsvik transportiert. Ein Bild des Teststandes ist in Abbildung 2 zu sehen. In dem Teststand können bis zu acht Brennstabsegmente gleichzeitig einer typischen, sowohl axial als auch zeitlich veränderbaren Temperaturtransiente ausgesetzt werden.

Die im Projekt LEDA zu untersuchenden Brennstabsegmente repräsentieren bestmöglich die in Deutschland eingesetzten Brennstäbe bezüglich der eingesetzten Hüllrohrmaterialien, Brennstoffe und Bestrahlungshistorien. Eine vereinfachte Übersicht der Hüllrohrmaterialien der bei der BGZ verwahrten bestrahlten Brennelemente mit den zugehörigen Abbrandklassen ist in Abbildung 3 gezeigt.

Im Verlauf von LEDA sind mehrere Experimentkampagnen mit jeweils acht Brennstabsegmenten geplant, so dass die Gesamtlaufzeit des Projekts bis zu 10 Jahre betragen kann. Die Zielsetzung von

³ Das Halden Projekt ist ein gemeinsames, von 19 Nationen gesponsertes, wissenschaftliches Programm unter der Aufsicht der OECD – Nuclear Energy Agency. Das Programm hat zum Ziel, wichtige Fragen zur Sicherheit von kommerziellen Brennstoffen und Reaktormaterialien experimentell zu untersuchen.

LEDA erfordert die Durchführung einer adäquaten Prä- und Postcharakterisierung der Brennstabsegmente. Neben Querschnittsanalysen, Bestimmung von Oxidschicht- und Wasserstoffprofilen sowie Bestimmung von Hydridverteilungen und -orientierungen umfasst das Testprogramm auch hüllrohrmechanische Tests zur Untersuchung der Duktilität. Mit den so gewonnenen experimentellen Daten wird die aktuell existierende Datenlücke zur Beurteilung der Hüllrohrintegrität für die verlängerte Zwischenlagerung weiter geschlossen und es können notwendige theoretische Modelle zur Beschreibung und Vorhersage des Hüllrohrverhaltens in der verlängerten Zwischenlagerung (wie zum Beispiel das Wasserstoffverhalten im Hüllrohrmaterial) weiterentwickelt beziehungsweise validiert werden.

Aktuell finden Kalttests und Vorarbeiten zum Einbau des Teststandes in die Heißen Zellen bei Studsvik statt. Nachdem der Teststand in die Heißen Zellen integriert und die anschließenden heißen Tests durchgeführt wurden, können die experimentellen Untersuchungskampagnen starten. Der Start der ersten Kampagne mit acht Brennstabsegmenten ist für den Anfang des kommenden Jahres geplant.



Abbildung 2: Blick auf den geöffneten Teststand. In der Mitte des Bildes sind drei der insgesamt acht im Quadrat angeordneten Teststäbe zu sehen.

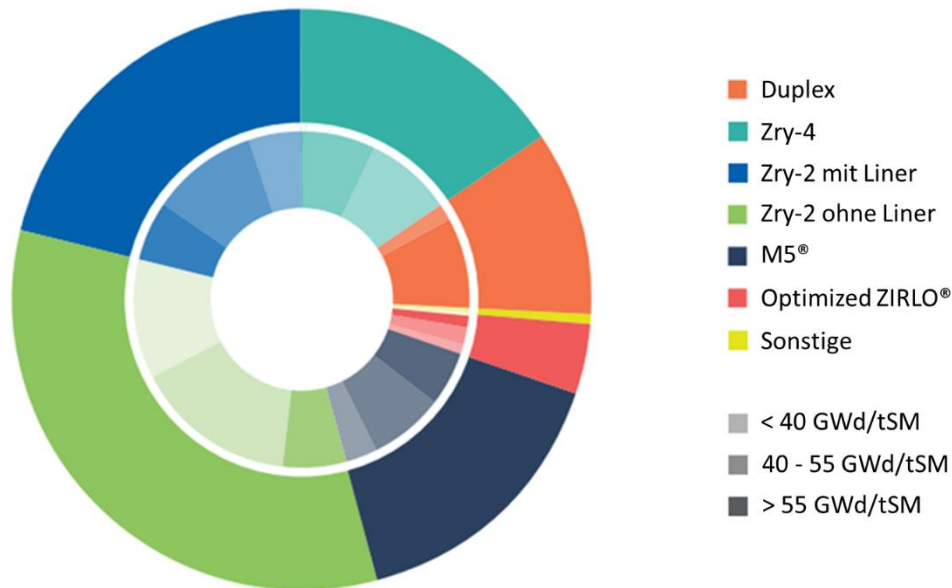


Abbildung 3: Verteilung der Hüllrohrmaterialien mit zugehörigem Abbrand für das gesamte bis voraussichtlich 2027 bei der BGZ eingelagerte LWR Inventar. Die unterschiedlichen Farben repräsentieren die verschiedenen Hüllrohrmaterialien und die Kreissegmente deren relative Häufigkeit. Die Schattierungen im Innenkreis zeigen drei Abbrandklassen bis 40 (hellste Schattierung), zwischen 40 und 55 (leichte Schattierung) und größer 55 GWd/tSM (Volltonfarbe).

Zusammenfassung

Das von der BGZ erstellte Forschungsprogramm stellt das zentrale Instrument der BGZ dar, um den für die Nachweise zur Einhaltung der Schutzziele im Rahmen der verlängerten Zwischenlagerung erforderlichen Forschungsbedarf zu bearbeiten. Es zeigt den notwendigen Forschungsbedarf auf und gibt einen Überblick über die Forschungsstrategie und -aktivitäten der BGZ.

Das Forschungsprogramm wird fortlaufend aktualisiert und an den sich weiterentwickelnden Stand von Wissenschaft und Technik angepasst. Dabei baut die BGZ auf eine breit angelegte nationale und internationale Zusammenarbeit mit Partnern aus Forschung und Industrie.

Zur Vervollständigung von experimentellen Daten zum Hüllrohrverhalten unter Bedingungen der verlängerten Zwischenlagerung, hat die BGZ das Vorhaben LEDA initiiert. Das mehrjährige Großforschungsprogramm wird prototypische Daten zur Bewertung der Hüllrohrintegrität von LWR-Brennelementen generieren und ist inventarspezifische Forschungsschwerpunkt der BGZ dar.

Das Forschungsprogramm umfasst weitere Forschungsvorhaben auf allen für die verlängerte Zwischenlagerung relevanten Gebieten. Details zu konkreten Vorhaben und deren Durchführung sowie zu den allgemeinen Forschungsstrategien findet sich in [3].

REFERENZEN

- [1] Gesetz zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung, Gesetzesbeschluss des deutschen Bundestages, Drucksache 768/16 vom 16.12.2016.
- [2] Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz, StandAG) vom 05.05.2017 (BGBl. I, S. 1074), das zu-letzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 07.12.2020 (BGBl. I, S. 2760) geändert worden ist.

- [3] Zwischenlagerung weitergedacht – Das Forschungsprogramm der BGZ, <https://bgz.de/wp-content/uploads/2022/04/Das-Forschungsprogramm-der-BGZ.pdf>
- [4] S. Geupel, K. Hummelsheim, S. Keßen, R. Kilger, F. Rowold, J. Neles, G. Schmidt, A. Spieth-Achtnich, H. Völzke, D. Wolf, Sicherheitstechnische Fragen der längerfristigen Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und verglaster hochradioaktiver Abfälle, Abschlussbericht des BMUB-Vorhabens 3612R03300, GRS-A-3824, 2015.
- [5] K. Hummelsheim et al., Neue Entwicklungen bei der längerfristigen trockenen Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen und verglasten hochradioaktiven Abfällen, GRS-A-3942, Abschlussbericht des Vorhabens 4715E03310, September 2018.
- [6] D. Kook, J. Choi, J. Kim, Y. Kim, Review of spent fuel integrity evaluation for dry storage, Nuc. Eng. Tech., Vol. 45, No. 1, 2013, ISSN 1738-5733, <https://doi.org/10.5516/NET.06.2012.016>.
- [7] J. Kessler et al., Extended Storage Collaboration Program (ESCP) Progress Report and Review of Gap Analyses, Technical Report 1022914, 2011.
- [8] M. Teague, S. Saltzstein, B. Hanson, K. Sorenson, G. Freeze: Gap Analysis to Guide DOE R&D in Supporting Extended Storage and Transportation of Spent Nuclear Fuel: An FY2019 Assessment, SAND2019-15479R, Dezember 2019.
- [9] Empfehlung der Entsorgungskommission, Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Behältern, revidierte Fassung vom 10.06.2013.