Frank Wille

CASTOR in Warteposition, aber bitte sicher.

1 Million Jahre sicherer Einschluss, 500 Jahre Bergbarkeit und 100 Jahre Zwischenlagerung. Diese Zahlen umreißen Zeiträume, die bei der Betrachtung der Post-Atomkraft-Ära in Deutschland eine wichtige Rolle spielen. Es geht hierbei um die Behandlung von radioaktiven Abfällen mit hohen Aktivitäten beispielsweise ausgediente Brennelemente aus dem Leistungsbetrieb von deutschen Kernkraftwerken mit dem Ziel der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen. Erst mit Erreichen dieses Ziels wäre die Geschichte der kommerziellen Nutzung der Kernkraft in der Bundesrepublik abgeschlossen. Allerdings ist es bis dahin noch ein langer Weg.

Befeuert durch die Debatte in der Europäischen Union um die Taxonomie und damit die Weichenstellung für zukünftige Investitionen und Förderungen rückte die Atomkraft jüngst wieder in den Fokus der Tagesnachrichten. Es geht um die Frage, ist Atomkraft eine nachhaltige Wirtschaftsaktivität? Neben den Sicherheitsaspekten beim Betrieb von Atomkraftwerken stehen das Hinterlassen von großen Mengen an radioaktiven Abfällen mit nicht immer klarem und planbarem Entsorgungspfad und Gefahren für Mensch und Umwelt und auch ungewisse real anfallende Gesamtkosten im Zentrum der Kritik. Zumindest hier bei uns im Land. Die Kritik erscheint durchaus berechtigt in Anbetracht der anfangs genannten Zeiträume beim Umgang mit den radioaktiven Abfällen. Auch die Tatsache, dass bislang unbekannt ist, wo die hochaktiven Abfälle hier bei uns im Land endgelagert werden.

Behälteraspekt der kerntechnischen Entsorgung

Wie gehen wir nun in Deutschland mit den abgebrannten Brennelementen um, wenn Ende dieses Jahres die letzten drei Kernkraftwerke vom Netz gehen und in die Nachbetriebsphase und später in den Rückbau eintreten? Sind die hochaktiven Abfälle sicher zwischengelagert und später zum Endlager transportierbar?

Der Ansatz und die rechtlichen Randbedingungen, bis die Endlagerung der Brennelemente beginnt, sind in Deutschland eindeutig. Es ist das Konzept der ‚Trockenen Zwischenlagerung' [1] von radioaktiven Abfällen in dickwandigen Metallbehältern, in den meisten Fällen nah am Kraftwerksstandort, in Kombination mit der Sicherstellung der Transportierbarkeit dieser Umschließungen. Gerade der letztgenannte Punkt sollte beruhigen, da hiermit zukünftige Generationen ein Problem weniger zu lösen haben. Darüber hinaus kann den Zwischenlager umgebenden Gemeinden verständlich gemacht werden, dass der Rückbau der Kernkraftwerke das Entfernen sämtlicher radioaktiver Altlasten einschließt und damit nicht unfreiwillig ein oberirdisches Endlager entsteht.

Die abgebrannten Brennelemente gingen bis vor circa 20 Jahren zur Wiederaufarbeitung nach Frankreich und Großbritannien. In den dortigen Anlagen wurde das spaltbare Plutonium-239 extrahiert und der Herstellung von Mischoxid-Brennelementen zugeführt. Die anderen hochaktiven Spaltprodukte aus der Wiederaufarbeitung wurden mit Glas verschmolzen und in Edelstahlkokillen gefüllt. Deutschland hat die Rücknahme dieser Abfälle bis dato noch nicht abgeschlossen. Daher stehen in naher Zukunft weitere Transporte mit CASTOR-Behältern in die Zwischenlager an den Standorten Philippsburg, Isar/Ohu und Brokdorf an.

Aus dem laufenden Betrieb von Kernkraftwerken resultieren pro Jahr und Anlage mehrere Dutzende dieser Brennelemente. Sie werden in den Abklingbecken des jeweiligen Kraftwerks unter Wasser in Behälter mit einer späteren Gesamtmasse von mehr als 100 t geladen. Es erfolgt das Aufsetzen eines massiven ‚Primärdeckels' mit eingebauten Metalldichtungen. Anschließend wird der Innenraum getrocknet und mit Helium gefüllt. Das ist insofern von Bedeutung, da es die Alterungsbeständigkeit von Inventar und des Behälterinnenraums gewährleistet, die Radiolyse begrenzt und zu einer genügenden Wärmeabfuhr beiträgt. Im Zwischenlager wird ein zweiter Deckel, der sogenannte ‚Sekundärdeckel', aufgesetzt, der wiederum mit einer Metalldichtung versehen ist und mit einem Druckschalter ausgerüstet ist. Alle Deckel werden mit massiven Schrauben verschlossen und dichtgeprüft zur Gewährleistung einer Leckagerate von mindestens 1 x E^{-08} Pa m^3/s. Der über die gesamte Zwischenlagerdauer im Einsatz befindliche Druckschalter überwacht den Druck zwischen den beiden Deckeln und damit die Dichtheit des jeweiligen Behälters. Diese Komponente ist damit ein zentraler Bestandteil des sicherheitstechnischen Konzepts der Langzeitaufbewahrung der hochaktiven Brennelemente.

Die Behälter sind landläufig unter dem Namen CASTOR - *C*ask for *S*torage and *T*ransport of *R*adioactive Material – bekannt, jedoch ist diese Bezeichnung nur ein Synonym für verschiedene Typen von Transport- und Lagerbehältern. In deutschen Zwischenlägern werden bis zur Inbetriebnahme eines Endlagers dann mehr als 1500 Behälter mit hochaktiven Abfällen aufbewahrt sein.

Dr.-Ing. Frank Wille
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Fachbereich Sicherheit von Transportbehältern
Unter den Eichen 87, 12205 Berlin
frank.wille@bam.de

DOI-Nr.: 10.26125/73hj-nz53

Alterung

Bislang ist die Aufbewahrung der Brennelemente in den Behältern für einen Zeitraum von 40 Jahren bewertet. Hierauf sind die Maßnahmen beispielsweise Inspektionen und Prüfungen ausgerichtet. Wie eingangs erwähnt, wird allerdings derzeit von einer notwendigen Zwischenlagerung über einen Gesamtzeitraum von 100 Jahren ausgegangen. Nur so passt es zum prognostizierten Zeitplan der Suche, des Genehmigens und des Errichtens eines Endlagers. Darüber hinaus sollte nicht vergessen werden, dass es dann noch mehrere Jahrzehnte bedarf, bis auch das letzte Brennelement in das Endlager verbracht wurde. Welche Behälter hierfür Anwendung finden werden, ist heute noch nicht bekannt, da diese abhängig sind vom ausgewählten Endlagerstandort respektive Wirtsgestein.

Neben der Endlagersuche mit all ihren Facetten wird die sichere zwischenzeitliche Aufbewahrung der Abfälle bis zum Ende dieses Jahrhunderts nachzuweisen sein. Hiermit verknüpft ist die Erweiterung der Langzeitbetrachtungen der Behältersicherheit um weitere 60 Jahre auf dann in Gänze 100 Jahre. Für technische Komponenten solche Gewährleistungszeiträume zu bestätigen, stellt eine große Herausforderung dar. Hierzu notwendige Untersuchungen sind allerdings bereits seit geraumer Zeit in den Fokus gerückt. Experimentelle Untersuchungsprogramme wurden gestartet und bilden die Basis für anstehende Sicherheitsbewertungen. Beispielsweise betreibt die BAM eigene Versuchsstände für Langzeituntersuchungen von Metalldichtungen [2]. Sowohl die Lagerung ist hier im Fokus als auch die Sicherheit beim zukünftigen Transport der dann gealterten Behälter und ihrer radioaktiven Inhalte.

Abb. 1: Vorbereitung Fallprüfung eines 120 t Behälters auf IAEO-Fundament.

Behältersicherheit

Schauen wir uns im Detail die Sicherheit der Behälter für den Transport zum Endlager respektive der Konditionierungsanlage als Vorbereitung für die Endlagerung an. Wie wird die Sicherheit gewährleistet und worauf basieren die technischen Prüfungen?

CASTOR-Behälter sollen den Auswirkungen schwerster Unfälle standhalten und müssen dabei ihre Sicherheitsfunktionen beibehalten. Dazu zählen der sichere Einschluss des radioaktiven Inventars mit nachgewiesener Behälterintegrität und -dichtheit, die ausreichende Abschirmung der radioaktiven Strahlung, die Ableitung der von den Brennelementen ausgehenden Wärme und der Ausschluss des Entstehens einer nuklearen Kettenreaktion, d.h. die Kritikalitätssicherheit sind zu gewährleisten.

Zum Nachweis dieser Fähigkeiten werden die Behälter gegen Stoß, Aufprall, Durchstoßen, Feuer sowie beim Eintauchen in Wasser geprüft. Durch diese Tests werden Beanspruchungen aus potentiellen schweren Unfällen abdeckend simuliert. Die hierfür erforderlichen experimentellen Tests, aber auch die Prüfung und Entwicklung komplexer rechnerischer Simulationen des Behälterverhaltens unter Anwendung der Finite-Elemente-Methode erfolgen bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) [3] [4].

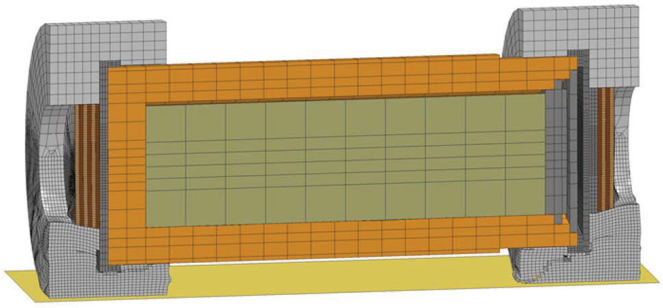

Abb. 2: Finite-Elemente-Modell für die Simulation einer Fallprüfung.

Die Basis bildet das Regelwerk der Internationalen Atom- und Energieorganisation (IAEO) zum sicheren Transport von radioaktiven Stoffen, welches international harmonisierte Schutzziele und Prüfanforderungen definiert [5]. Die seit 60 Jahren praktizierte stetige Weiterentwicklung der Sicherheitsanforderungen trägt aktuellen Erkenntnissen, Erfahrungen und Risikoanalysen Rechnung. Die Brennelementbehälter werden mechanischen Prüfungen sowie Brand- und Wasserdruckprüfungen unterzogen. Hierdurch wird nachgewiesen, dass sie den Auswirkungen eines schweren Unfalls standhalten können. Nur Behälter die zweifelsfrei die kumulativen mechanischen und thermischen Tests und auch die Wasserdruckprüfung mit Erfüllen aller Schutzziele bestehen, bekommen eine Zulassung, die es erlaubt die Behälter zu transportieren.

Wissensmanagement

Der Gesamtblick auf das Konzept der kerntechnischen Entsorgung in Deutschland zeigt, dass noch genügend Aufgaben vor uns liegen. Die Suche nach einem geeigneten Endlager und das Errichten wird uns mehrere Jahrzehnte beschäftigen. Der Nachweis der sicheren Verwahrung der Brennelemente in der Zwischenlagerung darf ebenso wenig aus dem Auge gelassen werden wie auch die Gewährleistung, dass die Behälter sicher zum Endlager transportiert werden können. Zukünftige Generationen sind mit ausreichend Informationen und sicherheitswissenschaftlichem Verständnis zu versorgen, damit die Kenntnisse um die Sicherheit der technischen Einrichtungen und Komponenten, wie beispielsweise die Transport- und Lagerbehälter, nicht verloren gehen und Anwendung finden können. Hierzu zählt auch, dass die Fachkompetenz im Zuge eines Sicherheitsmonitorings angewendet wird, damit der Wissenserhalt und -ausbau gelingt. Im Gesamtkonzept der Alterungsbewertung der Behälter ist das der Teil eines ‚intellektuellen' Alterungsmanagements. So bleibt zu hoffen, dass die Worte von George Santayana: *"Those who cannot remember the past are condemned to repeat it."* [6] motivierend für die Organisation des Wissensmanagements wirken.

Referenzen

[1] Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Behältern (Revidierte Fassung vom 10.06.2013), Entsorgungskommission (ESK), 2013.

[2] Matthias Jaunich et al.: Overview of metal seal tests performed at BAM and implications for extended interim storage. *Kerntechnik* **85** (2020) 6; page 440–443.

[3] Bernhard Droste: Packaging, transport, and storage of high-, intermediate-, and low-level radioactive wastes, In: Safe and Secure Transport and Storage of Radioactive Materials, *Woodhead Publishing Series in Energy*, 2018, UK, 231 – 270.

[4] Thomas Quercetti et al.: Safety Evaluation of a Package for Radioactive Waste by Full-Scale Drop Testing. Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference (ESREL2020 PSAM15), Venice, Italy, 2-5 November 2020.

[5] International Atomic Energy Agency (IAEA): Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2018 Edition. Specific Safety Requirements No. SSR-6 (Rev. 1), Vienna, 2018.

[6] George Santayana, The Life of Reason: Reason in Common Sense, Scribner 1905, S. 284.

Dr.-Ing. Frank Wille

Frank Wille, Jahrgang 1974, studierte Bauingenieurwesen und promovierte im Bereich des konstruktiven Ingenieurbaus.

Trotz spannender Themen beim innovativen Bauen und Planen, führte es mich vor nunmehr 18 Jahren zu neuen Ufern in das Gebiet der sicherheitswissenschaftlichen Bewertung von Behältern für radioaktive Stoffe. Die Kombination von experimentellen Untersuchungen, strukturmechanischen Finite-Elemente-Berechnungen und Betrachtungen zur Aktivitätsfreisetzung mit dem Ziel der Unfall- und Störfallbewertung von Behältern war damals und ist heute noch die Herausforderung.
Die Mitarbeit in Gremien der Internationalen Atom- und Energie Organisation (IAEO) führte mich in den vergangenen 15 Jahren regelmäßig nach Wien zu den Vereinten Nationen. Der hiermit verbundene Austausch mit Experten und Wissenschaftlern aus der ganzen Welt stellt seit vielen Jahren eine große persönliche Bereicherung dar. Die internationale Harmonisierung technischer Ansätze und Regeln durch die diversen Gremien der IAEO erlaubt sichere Transporte von radioaktiven Stoffen über Ländergrenzen hinweg.

Meine derzeitigen Aufgaben als Leiter des Fachbereichs für die Sicherheit von Transportbehältern an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) beinhalten unter anderem Prüfungen im Zuge von Zulassungsverfahren für die sichere Beförderung von Brennelementen und radioaktiven Abfällen aus der Entsorgung von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren. Die Analyse von Unfallszenarien bildet den zentralen Punkt bei der Bewertung des sicheren Einschlusses der radioaktiven Materialien. Das Spektrum der Prüfungen ist nicht begrenzt auf Behälter für Brennelemente, sondern umfasst ebenso die Umschließung von Quellen für die medizinische Diagnose oder Anwendungen in der Brachytherapie und geht bis zu Analysegeräten der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung mittels Gammaradiographie.

Die mit dem Aufgabengebiet verbundene Forschung an der BAM beschäftigt sich mit der Ableitung von geeigneten sicherheitswissenschaftlichen Beurteilungsmethoden und zunehmend intensiver mit den Fragen der Alterung der Behälter und deren hochaktive Inventare. Es werden das mechanische und thermische Verhalten von Dichtsystemen, Behälterwerkstoffen und Komponenten untersucht. Das Ziel ist es Simulationen zu entwickeln, die geeignete Prognosemodelle für die Alterung der Behälter beinhalten, die sichere Brennelementtransporte in ein zukünftiges Endlager erlauben.