

Melanie Wallisch

Wohin mit unseren radioaktiven Abfällen?

„Wohin mit unseren radioaktiven Abfällen?“ Das ist eine Frage, die uns als Gesellschaft wohl noch sehr lange beschäftigen wird. In der Vergangenheit gab es dazu verschiedene Lösungsansätze. Von 1946 bis 1993 wurden Behälter auch mit deutschen radioaktiven Abfällen in den Weltmeeren entsorgt, was 1993 aufgrund der dadurch entstehenden Umwelteinflüsse international verboten wurde [1]. Auch die Entsorgung radioaktiver Abfälle im Weltraum ist aufgrund der großen Abfallmenge und der hohen Unfallgefahr keine Option [2]. Die seit den 1960er Jahren diskutierte Transmutation, also die Umwandlung langlebiger Radionuklide in solche mit kürzeren Halbwertszeiten durch Neutronenbestrahlung, soll in Deutschland ebenfalls nicht zur Anwendung kommen. Gründe dafür sind der prognostizierte Zeitraum bis zur Marktreife der Technologie, die hohen Kosten und der Umstand, dass auch aus dieser Umwandlung radioaktive Abfälle entstehen, die dann, wenn auch für einen kürzeren Zeitraum, endgelagert werden müssen [2]. Heute besteht internationaler Konsens darüber, dass wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle nur in tiefen geologischen Formationen eingelagert werden können, um eine langfristige Isolation ionisierender Strahlung von den Stoffströmen der Biosphäre zu gewährleisten [3]. In Deutschland wird diese Art der Endlagerung auch für Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung angestrebt.

Für wärmeentwickelnde Abfälle wurde in Deutschland die im Jahr 2017 gegründete Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) mit der Standortsuche für ein sicheres Endlager betraut. Bei wärmeentwickelnden Abfällen handelt es sich um abgebrannte Brennelemente eines Kraftwerks und verglaste Abfälle aus der Wiederaufarbeitung, die überwiegend in dickwandigen Gussbehältern (z. B. vom Typ CASTOR) verpackt werden. Die Standortsuche hierfür befindet sich im laufenden Prozess, die Festlegung des Standortes wird bis 2031 angestrebt [4]. Um eine Langzeitsicherheit von einer Million Jahren für das geplante Endlager zu gewährleisten, werden für mögliche Standorte umfangreiche Studien und Langzeitprognosen unter geowissenschaftlichen und klimatischen Gesichtspunkten durchgeführt. Doch auch planungswissenschaftliche und sozioökonomische Kriterien spielen eine zentrale Rolle. Durch das Einbinden der Öffentlichkeit auf allen Stufen des Verfahrens soll außerdem maximale Transparenz geschaffen werden. Ziel des Verfahrens ist es, unter allen möglichen Standorten denjenigen auszuwählen, der die bestmögliche Sicherheit für

eine Anlage zur Endlagerung von wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen bietet [5].

Doch abgebrannte Brennelemente sind, auch wenn sie ca. 99 % der Radioaktivität eines Kernkraftwerks beinhalten, nicht die einzigen radioaktiven Abfälle, die in einem Kernkraftwerk entstehen. Tatsächlich machen sie nur ca. 10 % der Gesamtmasse radioaktiver Abfälle aus [6]. Obwohl etwa 97 % der Masse eines Kernkraftwerks keine radioaktiven Abfälle sind, da die Stoffe entweder niemals kontaminiert oder aktiviert wurden oder vollständig dekontaminiert (gereinigt) werden können, fallen bei Betrieb und Abbau eines Kernkraftwerks große Mengen radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung an [7]. Dabei handelt es sich um verschiedenste Abfallarten, von flüssigen Reaktorbetriebsabfällen über Ionenaustauscherharze und andere Filtermaterialien bis hin zu Werkzeugen und den Schutzanzügen des Personals. Typische Beispiele für radioaktive Abfälle aus dem Abbau von Kernkraftwerken sind kontaminierter oder aktivierter Beton und Stahl (z. B. Beton des Biologischen Schildes, Bauschutt aus der Gebäudedekontamination sowie der Reaktordruckbehälter mit seinen Einbauten). Mit der Prüfung von Verfahren zur Behandlung dieser radioaktiven Abfälle und der daraus entstandenen Abfallgebände, also der verarbeiteten Abfälle inklusive ihrer Verpackung, bietet TÜV NORD EnSys der BGE als Sachverständigenorganisation eine fundierte Grundlage für abschließende Entscheidungen über den Umgang mit diesen Abfällen. Damit trägt TÜV NORD EnSys zentral zur sicheren Endlagerung bei.

Ein Endlager für ca. 300.000 m³ radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung befindet sich mit der Schachanlage Konrad bereits im Bau und soll 2027 fertiggestellt werden (Abb. 1) [9]. Der Einlagerungsbetrieb soll dann für ca. 30 Jahre andauern, bevor das Endlager stillgelegt wird. Das Endlager wird dafür mit Beton verfüllt und verschlossen. Um einen reibungslosen Einlagerungsbetrieb nach Eröffnung des Endlagers sicherstellen zu können, ist es notwendig bereits heute umfangreiche Vorbereitungen zu treffen. Abfallgebände müssen, um im Endlager Konrad eingelagert werden zu dürfen, die Vorgaben für eine sichere Endlagerung erfüllen. Zu diesem Zweck wurden von der BGE die Endlagerungsbedingungen des Endlagers Konrad herausgegeben [10]. Diese definieren zusammen mit ergänzenden Dokumenten alle Anforderungen, die von Abfallgebänden eingehalten werden müssen, um deren technisch sichere Endlagerung zu gewährleisten. Dazu gehören Anforderungen an die Kritikalitätssicherheit, z. B. den Gehalt und Anreicherungsgrad an spaltbaren Stoffen, ebenso wie Grenzwerte für die, wenn auch im Vergleich zu den abgebrannten Brennelementen geringe, Wärmeentwicklung der Abfälle. Das Betriebspersonal wird während der Einlagerung u. a. durch Grenzwerte für die Direktstrahlung der Abfallgebände

Dr. Melanie Wallisch
Abteilung Stilllegung und Entsorgung
TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
Am TÜV 1, 30519 Hannover
mwallisch@tuev-nord.de
www.tuev-nord.de

DOI-Nr.: 10.26125/7aee-zf83



Abb. 1: Schachtanlage Konrad; links: Luftbild Schacht Konrad 1; rechts: Ausbau des ehemaligen Eisenerzbergwerks zum Endlager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. [8]

geschützt und die Abluft des Endlagers zum Schutz vor einer unzulässigen Belastung durch flüchtige Radionuklide überwacht. Störfallanalysen und die daraus abgeleiteten Aktivitätsbegrenzungen stellen sicher, dass das Betriebspersonal und die Bevölkerung auch dann nicht durch die Freisetzung der im Abfallgebände vorhandenen Aktivität gefährdet werden, wenn es zu einem Brand oder einem Absturz des Abfallgebändes während des Einlagerungsprozesses kommen sollte. Für die Langzeitsicherheit des Endlagers wurden maximal einlagerbare Aktivitäten relevanter Radionuklide und Radionuklidgruppen abgeleitet. Zusätzlich zu den Aktivitätsbegrenzungen schützen Grenzwerte für schädliche Stoffe in den Abfallgebänden das oberflächennahe Grundwasser vor einer Belastung durch chemotoxische Verbindungen.

Um diesen Anforderungen zu genügen, müssen alle radioaktiven Abfälle vor der Anlieferung an das Endlager mithilfe qualifizierter Verfahren in einen chemisch stabilen, in Wasser nicht oder nur schwer löslichen Zustand überführt und verpackt werden. Bei dieser Erzeugung von transport- und lagerfähigen Abfallgebänden spricht man von der Konditionierung radioaktiver Abfälle. Alle hierfür durchgeführten Arbeitsschritte müssen dokumentiert werden. Die Kontrolle erfolgt durch die zuständigen Behörden mithilfe des Verfahrens der Produktkontrolle radioaktiver Abfälle, wobei es sich um einen mehrstufigen Prozess handelt, den alle endzulagernden Abfälle durchlaufen müssen (Abb. 2).

Die erste Stufe dieses Prozesses ist die Anmeldung einer Kampagne zur Konditionierung einer festgelegten Abfallart

und -menge mithilfe eines behördlich festgelegten Verfahrens durch den Abfalleigentümer bei der BGE. Darauf folgt die Qualifizierung des Konditionierungsverfahrens nach den Vorgaben der Atomrechtlichen Entsorgungsverordnung [12]. Daran ist u. a. TÜV NORD EnSys maßgeblich beteiligt. Als Sachverständige der BGE prüfen wir das geplante Verfahren im Vorfeld nach strengen Richtlinien, wobei die Sicherheit von Mensch und Umwelt stets an erster Stelle steht. Wird das Personal vor Ort während der Verarbeitung der Abfälle ausreichend geschützt? Ist eine technisch sichere Handhabung der entstehenden Abfallgebände beim Transport zum und bei der Einlagerung in das Endlager möglich? Werden die Aktivitätsbegrenzungen des Endlagers eingehalten und auch die Anforderungen zum Schutz des oberflächennahen Grundwassers beachtet? All dies sind Fragen, die bereits vor der Freigabe des Verfahrens durch die BGE und dem Beginn der Arbeiten geklärt werden müssen.

Ist das Konditionierungsverfahren qualifiziert und von der BGE freigegeben, kann die Verarbeitung der radioaktiven Abfälle beginnen. Dabei können, je nach Art der Abfälle unterschiedliche Verfahren zur Anwendung kommen. Feste, nicht brennbare Materialien wie z. B. Werkzeuge, Kunststoffe, Maskenfilter und sonstige Mischabfälle, werden in der Regel hochdruckverpresst und anschließend getrocknet. Auf diese Weise kann das Volumen, welches diese Abfälle im Endlager benötigen, auf ca. 20 % reduziert werden (Abb. 3). Flüssige und nasse Abfälle, wie z. B. Ionenaustauscherharze oder Verdampferkonzentrate, werden in der Regel entwässert oder ebenfalls getrocknet.

Durch die Trocknung kann gewährleistet werden, dass sich die Abfälle in einem langfristig physikalisch und chemisch stabilen Zustand befinden. Häufig wird dies durch die Analyse von Gasproben aus der Behälterinnenatmosphäre der verpackten Abfälle zusätzlich bestätigt. Brennbare Materialien, wie beispielsweise Schutzanzüge, werden

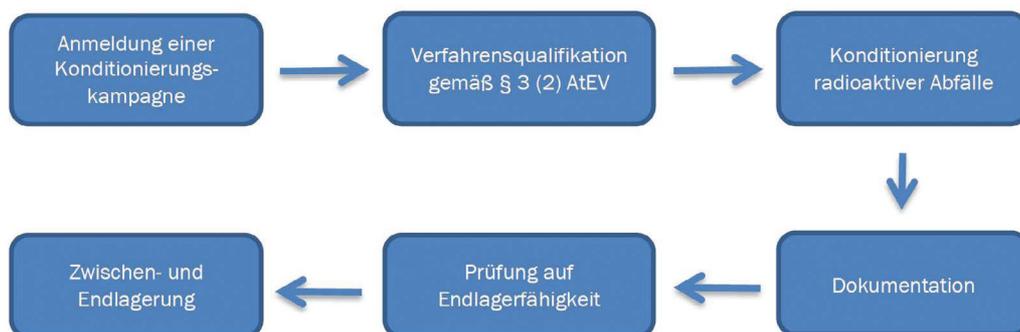


Abb. 2: Verfahren der Produktkontrolle radioaktiver Abfälle.

verbrannt und die entstehende Asche hochdruckverpresst. Dadurch ist eine Reduzierung auf unter 5 % des ursprünglichen Volumens erreichbar. Die Abfälle werden dafür in eine atomrechtlich genehmigte Verbrennungsanlage speziell für radioaktive Abfälle transportiert. Große Anlagenteile und Bauschutt aus dem Abbau von Kernkraftwerken werden in kleinere, handhabbare Teile zerlegt. Hierfür kommen mechanische und thermische Schneidverfahren sowie andere konventionelle Abbautechniken zum Einsatz. Oftmals ist auch eine Dekontamination von Materialien, wie beispielsweise Metallteilen, ausreichend. In diesem Fall müssen ausschließlich die zur Dekontamination genutzten Medien sowie geringe Mengen des dekontaminierten Stoffes („Dekontabtrag“) als radioaktive Abfälle weiterbehandelt werden. Die dekontaminierten Bauteile können dann nach einem strengen separaten Kontroll- und Freigabeverfahren auf konventionellem Wege entsorgt werden. Nach abgeschlossener Konditionierung werden alle Abfälle in von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) auf ihre Sicherheit geprüfte und von der BGE für das Endlager zugelassene Behälter verpackt. Je nach Aktivität der Abfälle können hier auch dickwandige Behälter mit einer zusätzlichen Abschirmwirkung zum Einsatz kommen. All diese Arbeiten nimmt der Betreiber einer kerntechnischen Anlage jedoch nicht nach eigenem Ermessen vor. Um sicherzustellen, dass alle sicherheitsrelevanten, behördlichen Anforderungen umgesetzt sowie alle in der Verfahrensqualifikation festgelegten Maßnahmen erfüllt werden, begleiten unabhängige Sachverständige im Auftrag der zuständigen Aufsichtsbehörde die Konditionierung vor Ort.



Abb. 3: Hochdruckpresse zur Verpressung radioaktiver Abfälle im Kernkraftwerk Würgassen. [11]

Nach Abschluss der Arbeiten müssen die entstandenen, bis zu 20 t schweren, runden oder quaderförmigen Abfallgebände noch von der BGE für die Endlagerung freigegeben werden. Dazu muss der Abfalleigentümer eine Dokumentation der erfolgten Konditionierung vorlegen. Diese beinhaltet neben verschiedenen Protokollen zu den durchgeführten Arbeiten auch Angaben zur Aktivität der Abfälle, so dass eindeutig nachgewiesen werden kann, dass das Abfallgebände alle Aktivitätsbegrenzungen des Endlagers Konrad einhält. Zusätzlich sind Messprotokolle

für die Dosisleistung und die Kontaminationsfreiheit des Abfallgebändes enthalten. Dadurch wird sichergestellt, dass alle diesbezüglichen Grenzwerte eingehalten werden, und durch den Transport des Gebändes keine radioaktive Kontamination in die Umwelt gelangt. Auch Informationen zur chemischen Beschaffenheit der Abfälle sind in einer solchen Dokumentation vorhanden, sodass die Einhaltung wasserrechtlicher Grenzwerte ebenfalls sichergestellt wird. Diese Dokumentation wird von den beauftragten Sachverständigen hinsichtlich ihrer Plausibilität und Richtigkeit umfassend geprüft. Auf Grundlage dieser Prüfung trifft die BGE dann eine Entscheidung über die Freigabe des Abfallgebändes.

Erst nachdem ein Gebände mit radioaktiven Abfällen dieses streng kontrollierte Verfahren durchlaufen hat, kann es im Endlager Konrad eingelagert werden. Als beauftragte Prüforganisation kommt u. a. TÜV NORD EnSys dabei eine zentrale Rolle zu. Die Sachverständigen stehen den zuständigen Behörden zur Seite, um die Einhaltung der relevanten Grenzwerte sicherzustellen, Abweichungen frühzeitig zu erkennen und die Konditionierung und Endlagerung radioaktiver Abfälle so sicher wie technisch möglich zu gestalten.

Referenzen

- [1] International Atomic Energy Agency: Inventory of radioactive waste disposals at sea, IAEA-TECDOC-1105, 1999.
- [2] Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH, Öko-Institut e.V.: Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland, 2008.
- [3] Amtsblatt der Europäischen Union: RICHTLINIE 2011/70/EUR-ATOM DES RATES vom 19. Juli 2011 über einen Gemeinschaftsrahmen für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle.
- [4] Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 7. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2760) geändert worden ist.
- [5] Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfälle: Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe, 2016.
- [6] Deutsches Atomforum e.V.: Kernenergie und Kerntechnik in Deutschland und weltweit, 2014.
- [7] Entsorgungskommission: Vergleich der Massenströme bei der Stilllegung von Kernkraftwerken in Deutschland und Frankreich, 2014.
- [8] Foto: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH.
- [9] Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH: Erläuterungsbericht zum Gutachten zur Ermittlung der Terminlage für das laufende Projekt Endlager Konrad durch den TÜV Rheinland, 2018.
- [10] Brennecke P.: Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Endlagerungsbedingungen, Stand: Dezember 2014) – Endlager Konrad –, SE-IB-29/08-REV-2.
- [11] Foto: PreussenElektra GmbH.
- [12] Verordnung über Anforderungen und Verfahren zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (Atomrechtliche Entsorgungsverordnung – AtEV) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2172).

Dr. Melanie Wallisch

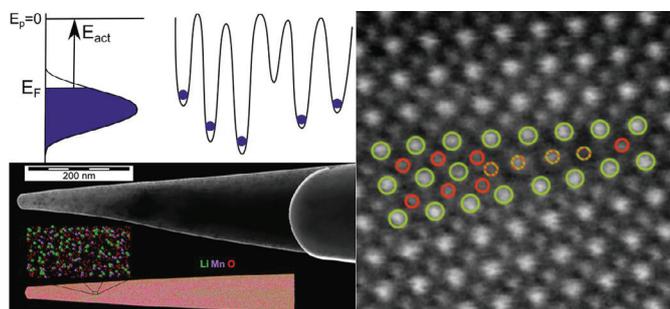
Melanie Wallisch erwarb im Jahr 2013 den Masterabschluss in Molecular Life Science, einem Hybrid-Studiengang aus Chemie, Biologie und Pharmazie, an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Im Anschluss verließ sie ihren Geburtsort Nürnberg, um an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg eine Promotion in der Organischen Chemie abzulegen. Dabei beschäftigte sich Frau Wallisch mit der Synthese organischer Fluoreszenzfarbstoffe, die im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs „Molecular Basis of Sensory Biology“ in verschiedenen Forschungsbereichen eingesetzt wurden.



Nach Beendigung der Promotion blieb sie dem Themengebiet Synthese zunächst treu und trat eine Stelle als Organische Chemikerin bei der ASM Research Chemicals GmbH in Hannover an. Ihre Aufgaben bestanden dort aus Auftrags-synthesen und der Prozessentwicklung für die Synthese pharmazeutischer Wirkstoffe.

Im Jahr 2019 kehrte Melanie Wallisch dann der Organischen Chemie den Rücken, um sich bei der TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG der Produktkontrolle radioaktiver Abfälle zu widmen. Ein Schritt hinaus aus dem Labor und hinein in eine verantwortungsvolle Sachverständigentätigkeit mit vielseitigen Aufgaben: In Verfahrensqualifikationen bewertet die Expertin geplante Konditionierungskampagnen, während sie sich bei der Prüfung von Abfallgebindedokumentationen mit der Sicherheit fertiger Abfallgebinde befasst. Auch gelegentliche Besuche in Kernkraftwerken und Konditionierungsstätten zur Durchführung von begleitenden Kontrollen stehen auf dem Programm.

2nd workshop on Energy Landscapes and Structure in Ion Conducting Solids (ELSICS)



The second workshop of the DFG research unit FOR 5065 (Energy Landscapes and Structure in Ion Conducting Solids (ELSICS)) will be held in Göttingen from September 26th to 28th 2022.

The DFG Research Unit ELSICS (FOR 5065) has been founded in December 2020 with the goal to quantify the energy distribution of ionic sites in solids on the basis of atomically resolved structures and in conjunction with ionic transport properties with a truly concerted effort of experimental and theoretical research groups. This joint effort involves state-of-the-art expertise from diverse experiments [charge attachment induced transport (CAIT), time-of-flight secondary ion mass spectrometry (ToF-SIMS), solid-state nuclear magnetic resonance (NMR), atom probe tomography (APT) and analytical and high-resolution transmission electron microscopy (HR-TEM)], as well as dedicated solid-state matter theory for crystalline and amorphous materials.

The 1st ELSICS workshop was held in Marburg (DE) in September 2021.

The 2nd workshop will take place in Göttingen (DE) in September 2022. This 2nd workshop will collect presentations

from invited speakers as well as contributed presentations (both oral and posters).

Key topics for progress reports are

- Ion transport in amorphous, crystalline and poly-crystalline solids
- Short range versus long-range transport as seen by NMR, CAIT and IS
- Energy landscapes in ion conducting solids: site energy distribution, populated vs. unpopulated sites
- Interrelation between atomically resolved structure and energy landscapes
- Predictive methods for correlating energy landscapes to material structure and function

At the point of this announcement, the workshop is planned as a meeting in presence. We expect being able to host up to 80 participants. For those with travel restrictions we will consider offering participation via a Video platform. Conditions are subject to Corona regulations being operative. There will be a small fee to cover costs incurring for catering (lunch and coffee breaks) and conference material.

Call for Abstracts

The program will include 12 invited speakers from experts in the field. There is the possibility to present contributed talks subject to the number of slots available (approximately 24). We also intend to hold a Poster-Session and a Round Table discussion.

For further details contact the chairperson (weitzel@chemie.uni-marburg.de) or the www page at <https://www.uni-marburg.de/en/fb15/for5065/meetings/second-elscis-meeting>.