

**Internationaler  
Erfahrungsaustausch  
und Weiterentwicklung  
des Standes von  
Wissenschaft und Technik  
zur Stilllegung  
kerntechnischer Anlagen**

## **Internationaler Erfahrungsaustausch und Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen**

Sebastian Schneider  
Gerd Bruhn  
Matthias Dewald  
Przemyslaw Imielski  
Florence-Nathalie Sentuc

März 2019

### **Anmerkung:**

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) unter dem Kennzeichen 4716R01324 durchgeführt.

Die Arbeiten wurden von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH ausgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Auftragnehmer.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

**GRS - 536**  
**ISBN 978-3-947685-21-9**

**Deskriptoren:**

Arbeitskreis Stilllegung, Hospitation, IAEA, Internationaler Erfahrungsaustausch, Nationaler Erfahrungsrückfluss, OECD/NEA

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung, Aufgabenstellung und Zielsetzung.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Kurzdarstellung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Sammlung und Bewertung von internationalen Erfahrungen und Aufbereitung der Ergebnisse für einen Erfahrungsrückfluss national.....</b>	<b>5</b>
3.1	Ergebnisse der Internetrecherche zu internationalen Erkenntnissen und Erfahrungen auf dem Gebiet der Stilllegung.....	5
3.1.1	Freigabe aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung .....	6
3.1.2	Abbau- und Zerlegetechniken.....	10
3.1.3	Strahlenschutz beruflich exponierter Personen im Stilllegungsbetrieb .....	11
3.1.4	Rückstellungen für die Stilllegung und den Abbau der Kernkraftwerke ....	12
3.1.5	Personal-organisatorische Maßnahmen – Change-Management .....	15
3.2	Teilnahme an Konferenzen und Workshops .....	17
3.2.1	IAEA-Konferenz „Advancing the Global Implementation of Decommissioning and Environmental Remediation Programmes” .....	17
3.2.2	IAEA-Konferenz „Third International Conference on Nuclear Knowledge Management - Challenges and Approaches.....	27
3.2.3	Workshop „Current and Emerging Methods for Optimizing Safety and Efficiency in Nuclear Decommissioning“ in Halden, Norwegen .....	30
3.2.4	DEM – International Conference on Dismantling Challenges: Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience.....	36
<b>4</b>	<b>Teilnahme am internationalen Erfahrungsaustausch in internationalen Netzwerken und Projekten zur Stilllegung.....</b>	<b>41</b>
4.1	Mitarbeit an Projekten der IAEA / des IDN .....	41
4.1.1	DAROD .....	42
4.1.2	COMDEC.....	46
4.2	Mitarbeit an Arbeitsgruppen der WPDD der OECD/NEA.....	51
4.2.1	TGOM.....	52

4.2.2	TGPFD .....	57
4.3	Erfahrungsaustausch und Hospitationen bei ausländischen Projekten ....	63
4.3.1	Erfahrungsaustausch zur Abbauplanung im schweizerischen Kernkraftwerk Mühleberg.....	63
4.3.2	Erfahrungsaustausch mit der japanischen Nuklearbehörde NRA.....	72
4.3.3	Hospitation im französischen Anlagenkomplex in La Hague (Orano).....	77
<b>5</b>	<b>Erstellung von Beiträgen zum nationalen Erfahrungsrückfluss .....</b>	<b>87</b>
5.1	Arbeitskreis Stilllegung (54) – September 2016 in Jülich.....	87
5.2	Arbeitskreis Stilllegung (57) – September 2017 in Lingen .....	88
5.3	Arbeitskreis Stilllegung (59) – September 2018 in Geesthacht.....	90
5.4	Arbeitskreis Stilllegung (60) – Februar 2019 in Berlin .....	92
5.5	Weitere Beiträge zum nationalen Erfahrungsrückfluss.....	93
5.6	Fazit zum nationalen Erfahrungsrückfluss.....	93
	<b>Gesamtfazit .....</b>	<b>95</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>99</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>101</b>

## Kurzfassung

Im Vorhaben „Internationaler Erfahrungsaustausch und Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen“ wurden Erfahrungen mit der Stilllegung im europäischen und außereuropäischen Ausland auf verschiedene Weise gesammelt und ausgewertet.

Durch die Teilnahme an und Auswertung von internationalen Konferenzen und die Analyse der präsentierten Inhalte konnten aktuelle Trends und Schwerpunkte festgemacht werden, die zurzeit in der Diskussion sind, beispielsweise die Digitalisierung als Hilfsmittel für den Abbau oder die Anpassung der Organisation beim Übergang vom Betrieb in die Stilllegung. Obwohl sich die politische Landschaft und die individuellen technischen Herausforderungen von Projekt zu Projekt unterscheiden, sind dennoch viele Parallelen festzustellen.

Der Erfahrungsaustausch fand ferner durch die aktive Mitarbeit in internationalen Netzwerken, Projekten und Arbeitsgruppen statt. Diese sind entweder unter dem Dach der Internationalen Atomenergie-Organisation (engl. IAEA) oder der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (engl. OECD) und ihrer Kernenergieagentur (engl. NEA) organisiert. Hierbei wurde in einem IAEA-Projekt zur Stilllegung und Sanierung von beschädigten Anlagen aktiv mitgearbeitet und dieses zum Abschluss gebracht.

In Untergruppen der „Working Party on Decommissioning and Dismantling“ (engl. WPDD) der OECD/NEA wurden in internationalen Teams Berichte zu den Themen „Vorbereitung der Stilllegung während des Betriebs und nach der endgültigen Abschaltung“ und „Optimierung des Managements schwach-radioaktiver Materialien und Abfälle aus der Stilllegung“ erarbeitet. Der zur Erstellung des Berichtes notwendige Erfahrungsaustausch erwies sich als sehr ergiebig und nutzbringend.

Besonders konkret und greifbar stellte sich der Erfahrungsaustausch bei Anlagen bzw. durch Hospitationen bei ausländischen Stilllegungsprojekten dar. Während im schweizerischen Kernkraftwerk Mühleberg noch die Planungen für die bevorstehende Stilllegung laufen, waren die Ergebnisse von Abbau- und Aufräumarbeiten in Fukushima (Japan) und La Hague (Frankreich) unmittelbar sichtbar.

Die Erkenntnisse, die durch Vorträge, Projektarbeiten, Besichtigungen und Hospitationen gewonnen wurden, können sich als Ressource auch für deutsche Abbauprojekte als nützlich erweisen bzw. die Planung für mit geringer Wahrscheinlichkeit zu erwartende Situationen (z. B. nach Unfällen) verkürzen.

## **Abstract**

In the project „International exchange of experiences and further development of the state of the art in science and technology for decommissioning of nuclear facilities“, experiences with decommissioning in foreign European and non-European countries were collected and evaluated in various ways.

By participating in and evaluating international conferences and by analyzing presented contents, latest trends and emphases could be identified that are currently discussed, e. g. digitalization as an aid for decommissioning or the adaptation of the organization during the transition from operation to decommissioning. Although the political landscape and the individual technical challenges differ from project to project, many parallels can be identified.

Furthermore, an exchange of experience took place by active collaboration within international networks, projects and working groups. These are organized under the umbrella of either the International Atomic Energy Agency (IAEA) or the Organization for Economic Collaboration and Development (OECD) and its Nuclear Energy Agency (NEA). In this connection there was active collaboration in an IAEA project about decommissioning and remediation of damaged facilities, which was completed.

In subgroups of the Working Party on Decommissioning and Dismantling (WPDD) of the OECD/NEA, international teams prepared reports about the topics ‘Preparing for Decommissioning during Operation and after Final Shutdown’ and ‘Optimising Management of Low-level Radioactive Materials and Waste from Decommissioning’. The necessary exchange of experience for the compilation of the report proved to be efficient and useful.

It turned out that exchanging experience at facilities and by job shadowing at foreign decommissioning projects were most concrete and tangible. While planning of the upcoming decommissioning is still ongoing at the Swiss Mühleberg NPP, the working results of cleanup and dismantling were directly visible at Fukushima (Japan) and La Hague (France).

The findings that could be gathered from presentations, project work, visits and job shadowing may be a resource for German decommissioning projects or shorten planning time for unlikely situations (e. g. after accidents).



# 1 Einleitung, Aufgabenstellung und Zielsetzung

Laut Informationen der IAEA befinden sich derzeit weltweit 174 Leistungsreaktoren im Nachbetrieb oder in der Stilllegung. Mit Blick auf das derzeitige Alter einer Vielzahl von Leistungsreaktoren weltweit ist in den kommenden Jahren mit einer deutlichen Steigerung an Stilllegungsprojekten zu rechnen. Einher geht der Bedarf auf internationaler Ebene, einen intensivierten Erfahrungsaustausch zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen zu etablieren und den Stand von Wissenschaft und Technik in der Stilllegung weiterzuentwickeln, um einen bestmöglichen Schutz von Menschen und Umwelt bei der Durchführung von Stilllegungsprojekten zu gewährleisten. Dies findet derzeit bereits durch die Etablierung einer nicht unerheblichen Anzahl an stilllegungsbezogenen Konferenzen und Symposien sowie internationalen Projekten, welche sich mit verschiedenen Aspekten der Stilllegung kerntechnischer Anlagen befassen, seinen Ausdruck. Mit einem weiteren Anstieg dieser Aktivitäten ist aufgrund der zu erwartenden zunehmenden Anzahl an Stilllegungsprojekten zu rechnen.

In Europa, aber auch weltweit kommt Deutschland in Bezug auf den Erfahrungsaustausch und die Weiterentwicklung von Empfehlungen zur sicheren Durchführung von Stilllegungsprojekten eine bedeutsame Rolle zu. Schließlich stehen nach dem Entzug der Berechtigung zum Leistungsbetrieb acht Anlagen 2011 und dem Entschluss des Ausstiegs aus der Nutzung der Kernenergie zur Erzeugung von Elektrizität bis Ende 2022 und der einhergehenden schrittweisen Beendigung des Leistungsbetriebs von weiteren neun Kernkraftwerken eine Vielzahl von neuen Stilllegungsprojekten an, welche aufgrund der installierten Nettoleistung der jeweiligen Anlagen auch international auf großes Interesse stoßen.

Schon jetzt werden vermehrt Anfragen an Deutschland aus dem europäischen und außereuropäischen Ausland registriert, welche einen Austausch von Erfahrungen aus der Stilllegung kerntechnischer Anlagen wünschen. Gleichzeitig hat die Weiterentwicklung des internationalen Standes von Wissenschaft und Technik in der Stilllegung kerntechnischer Anlagen Einfluss auf die nationale Durchführung von Stilllegungsprojekten. Um die Weiterentwicklung des internationalen Standes von Wissenschaft und Technik in der Stilllegung kerntechnischer Anlagen zu verfolgen und mitzugestalten, ist eine aktive Teilnahme am internationalen Erfahrungsaustausch in der Stilllegung notwendig.

Im Rahmen dieses Projektes wurde an der Weiterentwicklung des internationalen Standes von Wissenschaft und Technik in der Stilllegung mitgewirkt und Beiträge zum internationalen Erfahrungsaustausch sowie zum Erfahrungsrückfluss auf die nationale Ebene geleistet.

## **2 Kurzdarstellung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik**

Seit Beginn der friedlichen Nutzung der Kernenergie haben viele kerntechnische Anlagen das Ende ihrer technischen oder genehmigten Betriebszeit erreicht. Weltweit wurden bis zum 18. März 2019 174 Leistungs- und Prototypreaktoren sowie 579 Forschungsreaktoren endgültig außer Betrieb genommen und befinden sich in verschiedenen Phasen der Stilllegung /IAE 19, IAE 19a/. Sie müssen unter Berücksichtigung der Gewährleistung der Sicherheit und des Strahlenschutzes des Personals und der Bevölkerung stillgelegt werden.

In Deutschland wurden bisher 29 Leistungs- und Prototypreaktoren und 39 Forschungsreaktoren abgeschaltet bzw. befinden sich in verschiedenen Stadien der Stilllegung oder sind bereits vollständig abgebaut und aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen /BFE 18/. In den nächsten Jahren werden Genehmigungsverfahren zu neuen Stilllegungs- und Abbauprojekten für Leistungsreaktoren weitergeführt und es ist zu erwarten, dass weitere Genehmigungsverfahren zu laufenden Stilllegungs- und Abbauverfahren folgen werden.

Im Ergebnis der bisherigen Stilllegungsprojekte liegen langjährige und gute Erfahrungen vor, die bewertet, weiter verfeinert und auf die Spezifika der einzelnen Stilllegungsprojekte angepasst werden müssen. Dabei gilt besondere Aufmerksamkeit vor allen Dingen den sicherheitstechnischen Fragestellungen und dem Einsatz geeigneter Techniken, aber auch Aspekten des Strahlenschutzes des Personals, der Bevölkerung und der Umwelt sowie der Verringerung der Abfallaufkommen. Dies spiegelt sich beispielsweise in der „KONTEC“-Konferenzserie, zuletzt /KON 17/, und ICOND-Konferenzen, vgl. /ICO 17/, /ICO 18/, aber auch in aktuellen Dokumenten der GRS, z. B. /GRS 17/, /GRS 18/ wider.

Die bisherigen internationalen und nationalen Erfahrungen belegen, dass nahezu alle bekannten Anlagentypen in überschaubaren Zeiträumen zuverlässig und sicher abgebaut und die abgebauten Anlagenteile wiederverwendet bzw. konventionell entsorgt oder für eine spätere Entsorgung bereitgestellt werden können. Die Optimierung des Abbaus und der sicheren Entsorgung von Stilllegungsabfällen aller Reaktortypen ist weiterhin Gegenstand internationaler Forschung und Diskussionen. Der radiologische Schutz von Personal, Bevölkerung und Umwelt kann nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gewährleistet werden. Die Auswertung der aktuellen Praxis und ein

entsprechender Erfahrungsaustausch sowie Erfahrungsrückflüsse führen jedoch zu einer weiteren Optimierung in diesem Bereich.

Ein wesentlicher Beitrag zur Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik in der Stilllegung und zum Erfahrungsaustausch auf diesem Gebiet wird hierbei bereits im Rahmen verschiedener internationaler Initiativen geleistet, einen Überblick liefert z. B. /GRS 18a/, /GRS 14/. Hier sind u. a. die Arbeiten in Projekten der IAEA zu nennen, z. B.:

- DeSa (Evaluation and Demonstration of Safety of Decommissioning of Nuclear Facilities),
- FaSa (Use of Safety assessment Results in Planning and Implementation of Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material),
- CIDER (Constraints to Implementing Decommissioning and Environmental Remediation Programmes),
- DRiMa (International Project on Decommissioning Risk Management),
- DAROD (International Project on Decommissioning and Remediation of Damaged Nuclear Facilities) oder
- das IAEA Decommissioning WIKI.

### **3 Sammlung und Bewertung von internationalen Erfahrungen und Aufbereitung der Ergebnisse für einen Erfahrungsrückfluss national**

#### **3.1 Ergebnisse der Internetrecherche zu internationalen Erkenntnissen und Erfahrungen auf dem Gebiet der Stilllegung**

Deutschland steht in den nächsten Jahrzehnten vor erheblichen Stilllegungs- und Entsorgungsaufgaben, die in ihrer Komplexität und in ihrer zeitlichen Parallelität derzeit weltweit ohne Beispiel sind. Auch im internationalen Umfeld gewinnen die Themen Stilllegung kerntechnischer Anlagen und Entsorgung der dabei anfallenden radioaktiven Abfälle zunehmend an Bedeutung.

Dies wird auch mit Blick auf die Programmatik der zentralen internationalen Organisationen deutlich, die im nuklearen Umfeld tätig sind. So stellt der sichere Abbau kerntechnischer Anlagen einen wichtigen Bestandteil der Arbeitsprogramme sowohl der IAEA als auch der OECD/NEA dar. Im europäischen Raum hat die Europäische Kommission stilllegungsspezifische Programme zum Informationsaustausch aufgelegt und in den letzten Jahrzehnten eine Reihe von einschlägigen Forschungsvorhaben gefördert. Darunter waren auch einige Pilotprojekte für den Abbau, in denen großmaßstäbliche Technikerprobungen gefördert wurden.

Neben Deutschland stehen auch andere Länder vor großen Aufgaben bei der Stilllegung von Kernkraftwerken sowie der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Etliche Kernkraftwerke erreichen in der nächsten Zeit ihr vorgesehenes Laufzeitende oder werden aus anderen Gründen abgeschaltet, stillgelegt und abgebaut. Die dabei gewonnenen Erfahrungen können dazu genutzt werden, zukünftige Stilllegungsvorhaben effizienter zu gestalten und Lösungsstrategien zur Effizienzsteigerung zu entwickeln. Dies erfordert einen gezielten Erfahrungsrückfluss, der einerseits internationale Erkenntnisse und Fortschritte berücksichtigt und andererseits die spezifischen nationalen Erfahrungen und Anforderungen in die Bewertung mit einbezieht. Auf nationaler Ebene leistet die detaillierte und fortlaufende Darstellung des Standes einzelner Stilllegungsprojekte hierzu einen wichtigen Beitrag und ermöglicht Trends und Fortentwicklungen zu erkennen und diese bei der Planung zukünftiger stilllegungsbezogener Vorhaben zu berücksichtigen.

Insgesamt bildet der nationale und internationale Erfahrungsrückfluss aus der Stilllegung kerntechnischer Anlagen einen zentralen Bestandteil, um zielgerichtete Maßnahmen für die Bewältigung zukünftig anstehender Aufgaben und Fragestellungen zu ergreifen.

Stilllegung und Abbau jedes einzelnen Kernkraftwerks sind ein technisch und organisatorisch anspruchsvolles Großprojekt. Dies gilt auch für die sichere Entsorgung der bei Betrieb und Abbau anfallenden Abfälle. Hierfür sind spezialisiertes Fachwissen sowie ein Zeitraum von vielen Jahren erforderlich. In der Praxis wird für den Abbau zwar auch auf das ehemalige Betriebspersonal der Anlage zurückgegriffen. Zusätzlich müssen jedoch viele Aufgaben, die spezifische Fachkompetenzen erfordern, durch spezialisierte Fachunternehmen durchgeführt werden.

In Deutschland sind bereits einige dieser Fachunternehmen tätig. Sie bieten hoch spezialisierte Technologien, Dienstleistungen und Fachkräfte, die für die anstehenden Aufgaben dringend benötigt werden. Hierzu gehört eine Reihe von kleinen und mittleren Unternehmen, die bisher vor allem Dienstleistungen für den Kraftwerksbetrieb erbracht haben, über einschlägige Kompetenzen im Nuklearbereich verfügen und gleichzeitig eine neue unternehmerische Orientierung suchen.

Auf nationaler und internationaler Ebene existieren verschiedene Organisationen, Arbeitsgruppen, Gremien und Veranstaltungen, in denen die Erfahrungen aus der Stilllegung gebündelt werden und beispielsweise in Form von Berichten, durch Fachbeiträge auf Tagungen und Konferenzen oder durch Empfehlungen und Anforderungen dargestellt werden. Die verschiedenen Aktivitäten auf internationaler Ebene sowie die internationalen Erkenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der Stilllegung werden im Folgenden kurz beschrieben.

### **3.1.1 Freigabe aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung**

Genauso wie der Leistungsbetrieb ist der Abbau einer kerntechnischen Anlage unvermeidbar mit dem Umgang mit aktivierten und/oder kontaminierten Materialien verbunden. Hiervon können unterschiedliche Strahlenexpositionen ausgehen. Durch Dekontaminationsmaßnahmen kann erreicht werden, dass die nuklidspezifischen Freigabewerte der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) unterschritten werden. Die Materialien werden freigemessen und es erfolgt eine Freigabe aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung. Die Möglichkeiten der weiteren Verwendung oder Verwertung bzw. der Entsorgung sind jeweils abhängig vom gewählten Entsorgungsweg.

Die Freigabe von Materialien ist ein entscheidendes Werkzeug zur Reduktion des endzulagernden Abfallvolumens.

Unter Anwendung von Dekontaminationsmaßnahmen kann die Masse des endzulagernden radioaktiven Abfalls erheblich verringert werden. Das Clearance Manual (SKB 2011) der SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB; Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co) dient heute in Schweden als Grundlage für die Freigabe von Material, das während der Stilllegung der schwedischen Nuklearanlagen anfällt. Während des Abbaus kann die Freigabe von Materialien zu logistischen Herausforderungen führen, besonders wenn große Materialmengen in relativ kurzer Zeit freigegeben werden müssen. In einem der ersten Abbauschritte sollen nicht mehr benötigte Systeme demontiert werden, um Freiräume für die Installation der für den Abbau benötigten Infrastruktur und von Pufferflächen zu schaffen. Hierzu ist auch die vorrangige Bereitstellung von Raumbereichen, die als Bearbeitungs-, Behandlungs- und Bereitstellungsfläche benötigt werden, zu zählen. Weil große Mengen Reststoffe in kurzer Zeit anfallen, führt es dazu, dass die Pufferlager vor Ort recht schnell gefüllt sind, und dadurch werden die Stilllegungsarbeiten behindert und in die Länge gezogen.

Der Bericht der SKB „Clearance during dismantling and demolition of nuclear facilities“ /SKB 17/ beschreibt den Freigabeprozess und seine Aktivitäten sowie wie die Freigabe in den gesamten Stilllegungsprozess einbezogen werden sollte. Darüber hinaus werden in dem Bericht die Risikokategorien, die während des gesamten Freigabeverfahrens verwendet werden, um die Arbeit in jeder Phase effektiv anzupassen, dargestellt. Der Bericht enthält außerdem Empfehlungen für die regulatorischen Anforderungen, Kontrollprogramme sowie ein Modell zur Kostenberechnung für ein Freigabeprojekt.

Für die Freigabe müssen gewisse Bedingungen bezüglich Art, Menge und Aktivitätsgehalt der freizugebenden Materialien, Gebäude und Bodenflächen erfüllt werden. Aus praktischen Gründen werden die Freigabemessungen nach den eingesetzten Messsystemen gegliedert:

- Messungen von losem Abfall,
- Messungen von zerlegten Großkomponenten,
- Messungen von Abfall in Gitter oder Plastikboxen,
- Nachweis von umschlossenen Quellen
- Messung schwer nachweisbarer Isotope.

Jeder dieser Aspekte fordert eine speziell auf ihn zugeschnittene Lösung hinsichtlich der eingesetzten Geräte und Methoden. Messmethoden und Analysen unterscheiden sich jedoch nicht notwendigerweise von denen, die für die Freigabe von Materialien aus dem Betrieb verwendet werden.

Im Rahmen des Freigabeverfahrens ist insbesondere bei großen und komplexen kern-technischen Anlagen eine gründliche radiologische Charakterisierung des freizugeben- den Materials bzw. der freizugebenden Gebäude notwendig. Darauf basieren die späte- ren Entscheidungen, welche Messverfahren anzuwenden, wie deren Ergebnisse zu interpretieren und ob besondere Strahlenschutzmaßnahmen zu ergreifen sind.

Freigaben haben grundsätzlich derart zu erfolgen, dass die hieraus ggf. resultierenden radiologischen Folgen für Einzelpersonen der Bevölkerung vernachlässigbar gering sind, dass die Freigabe also schadlos ist.

Darüber hinaus sind Freimessungen immer ein Kompromiss zwischen messtechnischen Anforderungen (d. h. kleine Nachweisgrenzen, hohe Verlässlichkeit) und ökonomischen Randbedingungen (hoher Durchsatz, effiziente Messverfahren, niedrige Freimesskos- ten). Abhängig von Abfallmenge und Abfallart ergeben sich unterschiedliche Lösungs- ansätze. Für große Abfallmengen von mehr oder weniger homogenen Abfällen ist die Förderbandmethode der größte Favorit, welche zudem bereits in der Praxis ihre Taug- lichkeit nachgewiesen hat. Dies ist insofern von Wichtigkeit, als in den kommenden Jah- ren gerade in Deutschland zahlreiche Kernkraftwerke abgebaut werden und bei denen große Abfallmengen anfallen werden. Für einige Anwendungsfälle wie z. B. Tritium oder C-14 existieren zufriedenstellende Lösungen entweder noch nicht oder befinden sich momentan in der Entwicklungsphase. Für die Entwicklung von Freimessmethoden gibt es noch ein großes Potential und neue innovative Lösungen lassen sich hier keinesfalls für die Zukunft ausschließen. In letzter Zeit wurde versucht, das Problem der Selbstab- schirmung bei Metallen (Schrott) mittels Myonenstrahlung zu lösen, die aus der Höhen- strahlung stammt und aufgrund ihrer hohen Energie eine gute Durchdringung von Me- tallen zeigt. Für die Freimessung kleinerer Anteile von Abfall rechnet sich der Aufwand für eine Förderbandanlage nicht. Dies gilt auch für Abfälle, die aus unterschiedlichen Materialien bestehen und vor der Messung vorsortiert werden müssen. Hier bietet sich die Gitterbox Messanlage an. Diese besteht aus einer Station mit HPGe-Detektoren zur Vormessung sowie einer Tunnelmessanlage für Gesamt-Gamma-Messungen möglichst um die Box herum. Die zu messende Gitterbox wird auf das Rollenband gestellt und fährt zunächst an den HPGe-Detektoren vorbei. Hier werden aufgrund des gemessenen

Gammaspektrums die Isotopenvektoren bestimmt, welche aus der Gammaemission erkenntlich sind. Die Isotopenvektoren müssen sodann noch um Isotope erweitert werden, welche keine messbaren Gammalinien besitzen. Der Isotopenvektor ist unverzichtbare Voraussetzung für die folgende Gesamt-Gamma-Messung. Die Gesamt-Gamma-Messanlage besteht aus einer Vielzahl von großflächigen Plastik Szintillationspanels, welche möglichst allseitig um die Gitterbox angeordnet sind. Der Vorteil der Szintillationspanels gegenüber HPGe-Detektoren besteht darin, dass damit nicht nur Gammastrahlung, sondern auch Betastrahlung nachgewiesen, werden kann /NUK 16/.

In den Vorträgen „FiR 1 TRIGA Research Reactor Decommissioning Project“ von Antti Rätty, VTT Technical Research Centre of Finland Ltd sowie “Planning and Performing Decision Measurements with the Objective of the Clearance of a Nuclear Facility Building for later Demolition” von Dr. Dominik Winter, Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH und „Characterization and Remediation of Sites in the Course of the Decommissioning of Nuclear Facilities“ von Dr. Hagen Gunther Jung und Felix Langer, Nukem Technologies Engineering Services GmbH wird schwerpunktmäßig sowohl auf die Anwendung bestimmter Messmethoden als auch über ein optimiertes Vorgehen zur radiologischen Charakterisierung und zur Durchführung von Entscheidungsmessungen mit dem Ziel der Freigabe bzw. Sanierung von Gebäuden und Freiflächen eingegangen /ICO 17/. In dem Vortrag von Dr. Dominik Winter wurde unter anderem dargelegt, dass die Freigabe des Gebäudes einer kerntechnischen Anlage, für die ein späterer konventioneller Abriss geplant ist, eine detaillierte Planung sowie eine zielgerichtete Durchführung im Hinblick auf

- die Vorbereitung des Gebäudes,
- die rechtlichen und technischen Voraussetzungen,
- den Nuklidvektor sowie
- die Anwendung bestimmter Messmethoden

erfordert. Darüber hinaus berichtete Herr Winter in seinem Vortrag über Stichprobenverfahren. Die Abstandsmessung eines Gebäudes hat grundsätzlich an der stehenden Struktur zu erfolgen und die Messungen können mit einem geeigneten Stichprobenverfahren durchgeführt werden. Der Vorteil des stichprobenartigen Verfahrens besteht nach seiner Aussage in der Verringerung des Messaufwandes.

Andererseits gibt es auch Nachteile. Zum einen muss eine Nachanalyse der Messergebnisse erfolgen und es entsteht ein verstärkter Gesprächsbedarf mit den zuständigen Behörden und ihren Sachverständigen.

Herr Dr. Hagen Gunther Jung berichtete in seinem Beitrag über die Sanierung und die Freigabe des NUKEM-Standortes Hanau, der ehemaligen Kernbrennstofffabrik. Er wies darauf hin, dass die Freigabe bestimmte Maßnahmen erfordere, u. a.:

- den Aushub und eine automatisierte Trennung von kontaminierten und löslichen Böden
- die Sanierung des Standortes durch Bodenwasserentnahme und eine aktive chemische Behandlung

Darüber hinaus erörterte er das stufenweise Verfahren: getrennte Phasen mit miteinander verbundenen Sicherheitsbewertungen. Dank einer optimierten Probenahme konnten verdächtiger Bereiche im Vorfeld bestimmt werden.

Für die Charakterisierung und / oder Sanierung wurden von NUKEM entwickelte Technologien eingesetzt, u. a. NUKEMs Förderbandüberwachungstechnologie. Seitdem wird ein automatisiertes Bodentrennungssystem erfolgreich eingesetzt um verbleibendes radioaktiv kontaminiertes oder zumindest verdächtiges Bodenmaterial von nicht-kontaminiertem zu trennen.

### **3.1.2 Abbau- und Zerlegetechniken**

Abbau- und Zerlegetechniken benötigt man für viele Aufgaben und Einsatzgebiete beim Abbau kerntechnischer Anlagen. Das Spektrum der Aufgaben reicht vom einfachen Trennen einer dünnen Rohrleitung, die nie mit radioaktiven Stoffen in Kontakt war, über den Abbau und das Zerlegen großer Behälter und dickwandiger Rohre für radioaktive Flüssigkeiten, bis hin zur Zerlegung des Reaktordruckbehälters und dessen Einbauten.

Ein wesentlicher Bestandteil der Erarbeitung eines Abbaukonzeptes ist die Auswahl einer geeigneten Zerlegetechnik für die vorgesehene Abbaumaßnahme. Hierzu steht eine Vielzahl bereits bewährter thermischer und mechanischer Verfahren zur Verfügung. Die Auswahl der Zerlegetechnik geschieht ebenfalls unter Berücksichtigung der vorliegenden Randbedingungen, auf deren Grundlage sich die Verfahren nach ihrer technischen Eignung und unter strahlenschutztechnischen Gesichtspunkten bewerten lassen. Die

technischen Eigenschaften umfassen u. a. die trennbare Materialart und -stärke, die Schnittgeschwindigkeit, die Eignung zur fernhantierten Manipulation sowie zum Unterwassereinsatz und die Prozessrobustheit.

Der Abbau des RDB im Japan Power Demonstration Reactor (JPDR) fand unter Wasser in Einbaulage statt. Die besondere Herausforderung lag daher in der fernbedienten Zerlegung geometrisch komplexer Strukturen im Unterwassereinsatz und unter beengten räumlichen Verhältnissen. Der RDB wurde vollständig freigelegt und seine inneren Einbauten durch Plasmaschneiden im RDB fernbedient unter Wasser zerlegt, aus diesem entnommen und in Stahlbehälter verpackt. Um den RDB herum wurde für dessen Abbau ein Wasserbecken errichtet, das für die Zerlegearbeiten mit Wasser geflutet wurde. Das Wasser diente der Strahlenabschirmung und zugleich der Aufnahme der entstehenden Hydrossole.

Für die fernbediente Zerlegung des RDB und seines bis zu 270 mm dicken Flansches wurde die dafür entwickelte Technik „Arc Saw“ angewendet, die dem Kontakt-Lichtbogen-Metall-Trennschleifen (CAMG) entspricht. Bei diesem Verfahren werden Hydrossole freigesetzt, was für eine ausreichende Sichtfähigkeit zusätzliche Absaug- und Filteranlagen erforderlich machte.

### **3.1.3 Strahlenschutz beruflich exponierter Personen im Stilllegungsbetrieb**

Ein weiterer wesentlicher Aspekt beim Abbau eines KKW ist der Strahlenschutz. Ein Großteil der rechtlichen Vorschriften zum Strahlenschutz in kerntechnischen Anlagen war bisher in der StrlSchV enthalten, die sich an den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (International Commission on Radiological Protection, ICRP), der ICRP-Publikation 103 orientieren. Zu diesem Thema hielt Peter Hofvander während der ICOND-Konferenz 2017 einen Vortrag /ICO 17/. Die Präsentation befasste sich mit den IAEA-Empfehlungen zum Strahlenschutz beruflich exponierter Personen im Stilllegungsbetrieb. Die IAEA veröffentlicht hierzu einen TecDoc zu Occupational Radiation Protection. Um vermeidbare Expositionen durch den Abbau und den verstärkten Umgang mit Abfällen zu verhindern, bedürfe es einer guten Planung, eines entsprechenden Trainings der Arbeiter sowie eines ständigen Informationsaustausches zwischen dem Strahlenschutzpersonal und dem Abbaupersonal. Neben einer detaillierten radiologischen Charakterisierung der Anlage, sei auch die ständige Überwachung der Exposition unabdingbar.

### **3.1.4 Rückstellungen für die Stilllegung und den Abbau der Kernkraftwerke**

Zum Thema „Kostenschätzungen und Abbau-Rückstellungen der Kernkraftwerke“ wurden bereits unterschiedliche Studien und Untersuchungen durchgeführt.

Die OECD/NEA befasste sich mit Kostenschätzungen von Abbauprojekten und den damit einhergehenden Schwierigkeiten, die insbesondere der Individualität der verschiedenen Projekte, dem Fehlen einer international einheitlichen Vorgehensweise und den undurchsichtigen tatsächlichen Kosten geschuldet seien. Eine wichtige Voraussetzung für einen sinnvollen Kostenvergleich stellten vergleichbare Randbedingungen der einzelnen Projekte dar. Im Jahr 2016 veröffentlichte die OECD/NEA den Bericht “Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants” /OEC 16/. In diesem Bericht werden die Stilllegungskosten für Kernkraftwerke und die in den OECD/NEA-Mitgliedsländern angenommenen Finanzierungsmethoden auf der Grundlage einer Analyse der Umfragedaten, die im Rahmen eines NEA-Fragebogens gesammelt wurden, bewertet. Die Arbeiten wurden in Zusammenarbeit mit dem NEA Radioactive Waste Management Committee (RWMC) und seinen Expertengruppen – Working Party on Decommissioning and Dismantling (WPDD) und der Decommissioning Cost Estimation Group (DCEG) – sowie mit der Europäischen Kommission und der IAEA durchgeführt.

Nach dem Grundsatz, dass die Kosten der Entsorgung von den Verursachern zu zahlen sind, sind die Betreiber von Kernkraftwerken in Deutschland verpflichtet, die Kosten für die Stilllegung und den Abbau der Kernkraftwerke sowie für die Entsorgung des von ihnen erzeugten radioaktiven Abfalls einschließlich dessen Endlagerung zu tragen. Die Betreiber von Kernkraftwerken sind gesetzlich verpflichtet, dem Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) jährlich eine Übersicht zu den Rückstellungen für die Stilllegung und den Abbau der Kernkraftwerke sowie für die fachgerechte Verpackung der radioaktiven Abfälle zu übermitteln. Ziel ist es, Klarheit darüber zu schaffen, inwieweit die Finanzierung der künftig anfallenden Ausgaben für Abbauverpflichtungen durch die Unternehmen gesichert wird. Das BAFA prüft die von den Betreibern vorgelegten Informationen. Die Ergebnisse der Prüfung bilden die Grundlage für den jährlichen Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag (§ 7 des Transparenzgesetzes) /BAF 18/.

Auf der Basis der Informationen der Betreiber sowie der Erläuterungen des BAFA enthält dieser Bericht folgende Inhalte:

- die Grundlagen und Informationen zu den in Deutschland befindlichen KKW (Kapitel 2);
- eine Darstellung und Bewertung der vorgelegten Aufstellungen der Betreiber (Kapitel 3);
- eine Darstellung und Bewertung der jeweils verfügbaren liquiden Mittel der Konzerne zur Finanzierung der Abbaupflichtungen.

Thematisch anknüpfend trug Peter Hippauf in seinem Vortrag „Costs and Controlling for the Decommissioning of Nuclear Power Plants“ während der ICOND-Konferenz vor, wie die Abbaukosten von der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH abgeschätzt werden /NIS 15/. Als Grundlage für die Kostenschätzung dienen vier Stufen. Hierzu zählen die Erfassung der Anlagenteile und des radioaktiven Abfalls, die damit verbundenen Arbeiten für die einzelnen Abbaumaßnahmen, die zeitliche Ablaufplanung der Maßnahmen und die eigentliche Schätzung aller daraus resultierenden Kosten. Basis der von der Firma Siempelkamp, NIS Ingenieurgesellschaft mbH durchgeführten Kostenberechnung sind der Projektstrukturplan, die Ablauf- und Terminplanung sowie eine Massenanalyse. Für alle im Projektstrukturplan definierten Elemente werden der Personalaufwand, die Dauer, die Geräte- und Verbrauchsmittelkosten usw. ermittelt. Die Kosten für die Demontage und Entsorgung hängen unmittelbar von den vorhandenen Massen ab.

Im Rahmen des Themengebietes „Planning, Financing & Risk Management“ stellte Markus König von der Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (Munich Re) mit seinem Vortrag zum Thema „Decommissioning Cost Overrun Coverage for Nuclear“ vor. In dem Vortrag wurde darauf eingegangen, wie Kostenüberschreitungen während des Abbaus kerntechnischer Anlagen zu Stande kommen können und dass die Munich Re als etablierter Rückversicherer für diese Kosten aufkommen kann. Basierend darauf wurden sowohl Lösungsansätze als auch Dienstleistungen der Munich Re vorgestellt, um das Kostenüberschreitungsrisiko zu minimieren. Es wurde allerdings auch deutlich gemacht, dass bestimmte Faktoren, die zu einer Erhöhung der Kosten führen, aus versicherungstechnischen Gründen nicht abgedeckt werden. Hierzu zählen vor allem Kostenüberschreitungen aufgrund von politischen Entscheidungen, Kosten im Zusammenhang mit der Zwischen- und Endlagerung oder auch Kosten für die Haftung gegenüber Dritten.

Für die Sicherstellung, dass der Stilllegungsfonds und der Entsorgungsfonds in der Schweiz über ausreichende finanzielle Mittel verfügen, ist eine umfassende Schätzung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten nötig /SWI 16/. Auf Basis dieser Schätzung lassen sich die Beiträge bemessen, welche die Eigentümer der Kernanlagen für die Stilllegung und die nukleare Entsorgung zurückstellen sowie in die Fonds einzahlen müssen. Diese Kostenschätzung hat gemäß den Verordnungen über die Stilllegungs- und Entsorgungsfonds für Kernanlagen alle fünf Jahre zu erfolgen. Die Kosten des Nachbetriebs müssen die Eigentümer direkt bezahlen. Im Jahr 2014 beauftragten die Eigentümer der Schweizer Kernanlagen Swissnuclear, die neue Kostenstudie in Zusammenarbeit mit den für die Stilllegung und die Entsorgung in der Schweiz verantwortlichen Organisationen wie gesetzlich vorgeschrieben zu aktualisieren und bis Ende 2016 fertigzustellen. Als Teil der Vorgaben für die Kostenstudie 2016 definierte die Verwaltungskommission erstmals verbindliche Kostenstrukturen zur Darstellung der geschätzten Stilllegungs- und Entsorgungskosten. Das Ergebnis der im Jahr 2016 vorgenommenen Schätzung der Kosten des Nachbetriebs der Schweizer Kernkraftwerke wurde im Mantelbericht („Kostenstudie 2016“) und den Berichten zu den Entsorgungs- und den Stilllegungskosten („Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke – geologische Tiefenlagerung“, „Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke – Zwischenlagerung, Transporte, Behälter; Wiederaufarbeitung“, „Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen“) sowie im Bericht zu den Nachbetriebskosten dargestellt.

Die Kostenstudie 2016 weist im Vergleich zu den früheren Kostenstudien zwei wesentliche Neuerungen auf. Die Verwaltungskommission hat für die Kostenstudie 2016 neue Kostenstrukturen vorgegeben und verlangt, die Kostenschätzungen in Form einer Kostengliederung darzustellen. Die Kostengliederung soll die bei Kostenschätzungen unvermeidlichen Risiken und Ungewissheiten berücksichtigen. Während die Kostenstrukturen den Projektstrukturplan definieren, der den berechneten Nachbetriebs-, Stilllegungs- und Entsorgungskosten zugrunde liegt, bezieht sich die Kostengliederung auf die Zusammensetzung der Gesamtkosten und beinhaltet neben den berechneten Ausgangskosten auch die Kosten für risikomindernde Maßnahmen, die Kostenzuschläge für Prognoseungenauigkeiten, die Kostenzuschläge zur Berücksichtigung von Gefahren, die Kostenabzüge für Chancen sowie, falls erforderlich, einen Sicherheitszuschlag. Die Kostengliederung basiert auf den Empfehlungen der Plausibilisierung der Kostenstudie 2011 für den Bereich Entsorgung.

Ein Vergleich, der in der Kostenstudie 2016 geschätzten Nachbetriebskosten mit jenen der teuerungsbereinigten Kostenstudie 2011 zeigt, dass der Nachbetrieb unter Berücksichtigung sämtlicher Zuschläge für alle Werke weniger kostet, als im Jahr 2011 geschätzt wurde. In der Summe betragen die Minderkosten rund 8 Prozent. Dies liegt daran, dass die geschätzten Kosten des Nachbetriebs der Kernkraftwerke Beznau, Gösgen und Leibstadt, aufgrund einer Verkürzung der Plandauer des Nachbetriebs von fünf auf vier Jahre für die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt sowie auf drei Jahre für das Kernkraftwerk Gösgen, niedriger ausfallen als in der Kostenstudie 2011. Für das Kernkraftwerk Mühleberg führen neu erkannte Möglichkeiten zur Vereinfachung der Anlage und deren Betriebs trotz der unverändert fünf Jahre betragenden Nachbetriebszeit, ebenfalls zu niedrigeren Gesamtkosten für den Nachbetrieb. Aus der Einführung der Kostengliederung, die einige Kostenelemente einschließt, die bislang nicht oder nur teilweise in den Kostenschätzungen berücksichtigt wurden, resultieren jedoch kostenerhöhende Effekte. Die nächste Kostenschätzung ist für 2021 vorgesehen.

### **3.1.5 Personal-organisatorische Maßnahmen – Change-Management**

Die Abschaltung und der Abbau der Kernkraftwerke sind zwei der meistdiskutierten Themen in Politik und Öffentlichkeit der letzten Jahre. Nicht zuletzt deshalb stehen die Betreiber von Kernkraftwerken in der Pflicht, den aufwendigen Abbau, der teils unter schwierigen Randbedingungen wie dem öffentlichen Druck stattfindet, erfolgreich umzusetzen. Aber auch die intrinsische Komplexität des Abbaus, technisch anspruchsvolle Aufgaben durch eine intelligente Projektsteuerung erfolgreich zu gestalten, ist eine große Herausforderung für das Management. Die Entscheidung zur Abschaltung der Kernkraftwerke ist für die Mitarbeiter in den Anlagen zunächst ein Schock. Die Entscheidung für den sofortigen Abbau verstärkte aus Mitarbeitersicht die Konsequenz der Unwiderrufbarkeit. Für Kernenergieunternehmen, die sich strategisch für einen Abbau mit Eigenpersonal statt Fremdpersonal entscheiden, bedeutet dies, dass genau die Menschen, die seit Jahren und Jahrzehnten alles dafür getan haben, den sicheren Betrieb der kerntechnischen Anlagen zu gewährleisten, nun dessen sofortige Stilllegung und Abbau umsetzen sollen. Der Abbau wird daher von vielen Mitarbeitern als Abriss der über viele Jahre gehegten und gepflegten Anlage empfunden. Mit Blick auf das Change-Management bedeutet dies, dass dringende Veränderungen in der Betreibergesellschaft notwendig werden. Die Anforderungen an die Organisation und die in der Kernenergie tätigen Mitarbeiter verändern sich.

Die Fähigkeiten und das Wissen des Einzelnen aber bleiben und müssen mitgenommen werden. Mit dem Übergang vom Leistungsbetrieb in die Stilllegung eines Kernkraftwerks wandelt sich die Organisation von einer streng hierarchischen Struktur in eine Projektorganisation mit neuen Anforderungen /KLA 17/.

Change-Management beschreibt die aktive und zielgerichtete Begleitung einer Organisation in die Zukunft. Der Wechsel vom Leistungsbetrieb eines Kernkraftwerks in die Stilllegung und den Abbau ist ein Wandel, der alle Ebenen der Organisation (Aufbau, Ablauf, Funktionen, Aufgaben) und die gesamte Belegschaft (Führungs- und Mitarbeiterebene) gleichwohl betrifft. Change-Management lässt sich grob in drei Phasen unterteilen: Aufbrechen, Verändern, Verankern. All diese Phasen sind geprägt von sich verändernden Stimmungslagen. Nur Unternehmen, die sich vorbereitet haben, können in Stilllegung und Abbau erfolgreich sein. Es braucht eine neue Kultur und neue Kompetenzen der Mitarbeiter, Change-Verständnis der Führungskräfte, Bereitschaft zur Verantwortungsübernahme, eine Kultur, in der aktives Agieren statt routinierten Reagierens im Mittelpunkt des Handelns steht. Aus der Sicht des Change-Managements gibt es unterschiedliche strategische Ansätze zur Einordnung von Veränderungsprogrammen. Neben den klassischen Differenzierungen nach Unternehmensgröße, -branche und -komplexität betrachtet der Change-Manager vor allem die beiden Dimensionen Veränderungsnotwendigkeit und Veränderungsfähigkeit. Je nach Ausprägung ergeben sich unterschiedliche Ausgangssituationen und entsprechend andere Vorgehensweisen. Umfangreiche Studien zum Change-Management wurden von („Competent Employees for a Successful Decommissioning – Success with Preparation,“) /KLA 17/ bzw. der Beratungsfirma BG Neuwaldegg durchgeführt.

### **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Auf nationaler und internationaler Ebene existieren verschiedene Aktivitäten, anhand derer Ergebnisse, Fortentwicklungen und Herausforderungen im Bereich der Stilllegung kerntechnischer Anlagen ausgewertet und diskutiert werden. Die Beteiligung an diesen Aktivitäten bzw. deren Verfolgung bildet die Grundlage für einen umfangreichen Informationsgewinn in der Stilllegung und schafft damit eine Wissensbasis, die als Entscheidungsgrundlage in der Ausrichtung von stilllegungsbezogenen Projekten unentbehrlich sein kann. In den kommenden Jahren werden in Deutschland zahlreiche Kernkraftwerke rückgebaut, bei denen große Mengen der Materialien aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung freigegeben werden. Die Materialien werden auf verschiedene Weise freigemessen. Freigaben haben grundsätzlich derart zu erfolgen, dass die hieraus

ggf. resultierenden radiologischen Folgen für Einzelpersonen der Bevölkerung vernachlässigbar gering sind, dass die Freigabe also schadlos ist. Solche Freimessungen sind immer ein Kompromiss zwischen messtechnischen Anforderungen und ökonomischen Randbedingungen. Die aus den internationalen Projekten gesammelten Erfahrungen für den Freigabeprozess und seine Aktivitäten sowie die Empfehlungen für die regulatorischen Anforderungen bzw. Kontrollprogramme sollte man zukünftig in Deutschland berücksichtigen.

Innerhalb der OECD/NEA-Aktivitäten liegt der Schwerpunkt derzeit auf den Kostenschätzungen von Abbauprojekten. In einem OECD/NEA-Bericht werden die Stilllegungskosten für Kernkraftwerke und die in den OECD/NEA-Mitgliedsländern angenommenen Finanzierungsmethoden auf der Grundlage einer Analyse der Umfragedaten bewertet. Darüber hinaus wurde auch die Studie zur Schätzung der Kosten des Nachbetriebs der Schweizer Kernkraftwerke durchgeführt. Diese Studien ermöglichen einen Vergleich mit der aktuellen Situation der Kostenschätzung bzw. einer Übersicht zu den Rückstellungen für die Stilllegung und den Abbau der Kernkraftwerke in Deutschland.

Ein international wie national viel diskutiertes Thema ist die Umstrukturierung der Betriebsorganisation und des Personals vom Leistungsbetrieb bis zum Abbau der kerntechnischen Anlage. Mit Blick auf das sogenannte „Change-Management“ bedeutet dies, dass dringende Veränderung in der Organisationsstruktur des Kernkraftwerks notwendig werden. Aus der Sicht des Change-Managements gibt es unterschiedliche strategische Ansätze zur Einordnung von Veränderungsprogrammen. Insofern lassen sich verschiedene international angewendete Change-Management-Strategien nicht ohne Hintergrundwissen auf Deutschland übertragen.

## **3.2 Teilnahme an Konferenzen und Workshops**

### **3.2.1 IAEA-Konferenz „Advancing the Global Implementation of Decommissioning and Environmental Remediation Programmes“**

Die „International Conference on Advancing the Global Implementation of Decommissioning and Environmental Remediation Programmes“ wurde von der IAEA vom 23. bis 27. Mai 2016 im Palacio Municipal de Congresos y Exposiciones in Madrid, Spanien veranstaltet /IAE 16B/, /BRU 16/.

Das wissenschaftlich-technische Programm der Konferenz bestand aus vier Teilen: Plenarsitzungen mit Vorträgen zu grundlegenden Themen zu Stilllegung und Umweltsanierung, parallelen wissenschaftlich-technischen Sitzungen mit Einzelvorträgen zu neuesten Entwicklungen auf den betreffenden Gebieten, Podiumsdiskussionen, die in der Regel die Themen der vorangegangenen wissenschaftlich-technischen Sitzungen aufgriffen, sowie aus Posterbeiträgen zu den Themen der wissenschaftlich-technischen Sitzungen. Am Rande der Konferenz fand eine Industrieausstellung statt.

Während der Konferenz wurden folgende Themen behandelt:

1. Establishing National Policies and Strategies to Enable and Enhance Decommissioning and Environmental Remediation
2. Regulatory Framework and Standards for Decommissioning and Environmental Remediation
3. Decision-Making Process: Societal and Stakeholder Involvement during the Lifecycle of Programmes
4. A) Technical and Technological Aspects of Implementing Decommissioning Programmes  
B) Technical and Technological Aspects of Implementing Environmental Remediation Programmes
5. A) Optimizing Waste and Materials Management in Decommissioning  
B) Waste Management and Case Studies in Environmental Remediation
6. Project Management, Skills and Supply Chain Considerations
7. Future Needs and International Cooperation

Weiterhin gab es parallel zum Themengebiet 6 die „Young Professionals Session“. Im Folgenden werden einige der interessanten und projektrelevanten Vorträge und neue Erkenntnisse aufgeführt, die teilweise auch in den Podiumsdiskussionen eingebracht wurden. Bei parallelen Sitzungen wurden die dem Themengebiet „Decommissioning“ zugehörigen besucht.

V. Novak von der European Bank for Reconstruction and Development (EBRD) gab einen Überblick über die Arbeit der Bank im Themenfeld Stilllegung und Umweltsanierung (Decommissioning and Environmental Remediation, D&ER). Unter anderem führte er aus, dass das Tschernobyl- Projekt New Safe Confinement (NSC) der EBRD im nächsten Jahr erfolgreich beendet werde. Außerdem stellt die EBRD Fonds über 2,5 Mrd. EUR bereit, die u. a. der Beseitigung der Hinterlassenschaften (legacy) der russischen Flotte und der Stilllegung und dem Abbau der Kernkraftwerke in Litauen, Bulgarien und der Slowakei dienen sollen. Weiterhin wird ein neuer Fonds für die Umweltsanierung der Uranbergbauhinterlassenschaften in Zentralasien aufgesetzt.

J.M. Redondo, Ministerio de Industria, Energía y Turismo in Spanien, gab einen Überblick über das spanische Programm für D&ER. In Spanien existierten zum Zeitpunkt des Vortrags acht Kernkraftwerke (KKW), von denen eines den kommerziellen Betrieb eingestellt hat. Zwei weitere KKW werden momentan rückgebaut. Der Zeitplan beim Abbau in Spanien sehe nach Einstellung des Betriebes eine dreijährige Übergangsphase vor und nach etwa sieben bis zehn Jahren Abbautätigkeiten die Herstellung der „grünen Wiese“. In der Betriebsgenehmigung ist festgelegt, dass der Betreiber die endgültige Abschaltung (shutdown statement) vorab gegenüber der Behörde erklären muss. Anschließend gebe es eine Abbaugenehmigung, die nach Vollzug zur Beendigung der Lizenz führt. Derzeit werden abgebrannte Brennelemente in Standortzwischenlagern gelagert. Diese sollen in ein noch zu errichtendes Zentrallager für 60 Jahre verbracht werden.

Für das im Abbau befindliche Kraftwerk „José Cabrera“ werde für 2018 die „grüne Wiese“ erwartet.

L. Piketty, Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA DEN) aus Frankreich, gab einen Überblick über das französische D&ER Programm. So werden etwa 600 Mio. € pro Jahr für Abbautätigkeiten ausgegeben. Für die nächsten Jahrzehnte seien etwa 11 Mrd. € eingeplant. Die geplanten Endzustände der einzelnen Standorte seien die Entsorgung der gefährlichen Materialien, sofern dies möglich ist, und die Dekontamination des Geländes auf Dosisleistungswerte kleiner 300  $\mu\text{Sv/a}$ .

O. Kryukov, ROSATOM, Russische Föderation (RF), gab einen Überblick über D&ER in der Russischen Föderation und ging auf drei Schwerpunkte näher ein. Zunächst erörterte er Maßnahmen zur Behandlung flüssiger Abfälle zur Sanierung eines 36 ha umfassenden kontaminierten Gebietes um Mayak, wozu die bis 2015 erfolgte völlige Verschlüßung des Sees Karachai und die Errichtung eines Damms entlang des Tschernobyl-Flusses

gehörten. Danach widmete er sich dem Abbau der 16 Graphitreaktoren zur Plutoniumherzeugung. Dabei wurde aus derzeitiger Sicht das „Entombment“ der Reaktoren als deren Stilllegungsziel genannt. Als Zeithorizont für die Stilllegung des nuklear betriebenen Versorgungsschiffes „Lepse“, der Atom-U-Boot-Flotte im Gebiet Murmansk, wurde 2018 genannt.

In der anschließenden Podiumsdiskussion ging es um die Hauptthemen, die ein D&ER Programm beeinflussen. Dafür wurde von den Teilnehmern zuerst die Frage beantwortet, was für sie die wichtigsten Meilensteine/ Errungenschaften des letzten Jahrzehnts auf dem Gebiet D&ER gewesen sind. Die Vertreterin der USA, M. Regalbuto, gab die Verfügbarkeit von Endlagermöglichkeiten für sehr schwach bzw. schwach radioaktiven Abfall (VLLW/LLW) on-site an, während der spanische Vertreter, J.M. Redondo, die Vorausplanung, die besseren technischen Möglichkeiten und das Vorhandensein von Abfallmanagementlösungen als wichtigste Meilensteine nannte. Für den russischen Vertreter, O. Kryukov, waren es das Gesetz für das Management von radioaktivem Abfall und der Standort für ein Endlager für hochradioaktiven Abfall (HLW) in Felsgestein. Für den brasilianischen Vertreter, L. Guimaraes, waren es vor allem fundierte Gesetze und die geklärte Frage der Finanzierung von D&ER Projekten.

Im Vortrag von D. Jung aus Korea, ging es um den Abbau des ersten Kernkraftwerks in Korea, KOR I. Es werde erwartet, dass der Betreiber des 580-MWel-Kraftwerks 2017 den Antrag zur Stilllegung einreicht und dann im Jahr 2022 die Genehmigung dazu erhält. Die Stilllegung werde etwa mit geplanten 640 Mio. USD zu Buche schlagen. Der Betreiber hat Rückstellungen von 9,6 Mrd. USD gebildet.

G. Williams von der Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA) sprach in seinem Vortrag über das nationale Regelwerk für Umweltsanierung in Australien. Dabei betonte er, dass ein Plan vorhanden sein solle, wie nach einem Unfall mit radioaktivem Material weiter vorgegangen werden soll. Vor einem Unfall sollten die Sanierungsreferenzlevel festgelegt sowie definierte Endzustände und Strategien zum Abbau/Sanierung vorhanden sein. Weiterhin bedürfe es eines Abfallmanagements und Entsorgungsstrategien. Dafür sei es notwendig, vernünftige Referenzlevel mit ausreichender Sicherheit rational zu entwickeln. In Australien werden die IAEA Sicherheitsstandards als „vertrauenswürdige internationale Standards“ angesehen und dann in der Gesetzgebung der einzelnen Bundesstaaten umgesetzt. Es existiere ein nationaler Kodex für bestehende Exposition, basierend auf verschiedenen IAEA-Standards (BSS, DS468, etc.). Das generische nationale Referenzlevel in Australien betrage 10 mSv/a,

welches aber dann für jede Situation noch optimiert werde. Die Ziele bei der Umweltsanierung können in Australien uneingeschränkte Freigabe des Geländes, beschränkte Nutzung und eingeschränkter Zutritt sein.

B. Watson, Nuclear Regulatory Commission (NRC) der USA, gab einen Überblick über die Herausforderungen und die Erfahrungen beim D&ER in den USA. Momentan sind 19 Kernkraftwerke im Abbau und für 2017 wurden drei weitere Projekte erwartet. Es gebe landesweit vier Standorte zur Entsorgung von LLW. In den Jahren 2013/14 habe es fünf vorzeitige Beendigungen des Leistungsbetriebes an vier Standorten gegeben. Es wurden jeweils „Übergangs-Arbeitsgruppen zur Stilllegung“ („Decommissioning Transition Working Groups“) eingesetzt. Im Zusammenhang mit Uranverarbeitungsanlagen und militärischen Anlagen verwies er auf Lösungsansätze für den Fall, dass es keinen Betreiber mehr gibt oder dieser zahlungsunfähig ist.

In der abschließenden Podiumsdiskussion wurde der Frage nach den Schlüsselementen, die ein nationales Regelwerk benötigt, um D&ER Fortschritte zu ermöglichen, nachgegangen. Es wurden von J.L. Revilla (Spanien) einleitend die Elemente Rückbaupersonal, Dokumentenerhalt, definierter Endzustand, konstante Überwachung des D&ER Fortschritts genannt und die Frage „Wie sicher ist sicher?“ („How safe is safe?“) aufgeworfen. Weiterhin sehe er den Gesetzgeber in der Verantwortung der Definition des Zustandes des Geländes nach der Sanierung. Hierbei solle festgelegt werden, dass der Zustand des Geländes vor den Aktivitäten mit radioaktiven Stoffen, welche zu der notwendigen Sanierung führten, dem Endzustand gleicht. Es soll gewissermaßen ein Aufräumen für zukünftige Nutzungen erfolgen.

A. Gonzales (ANR) unterstrich mehrfach, dass es wichtig sei, dass die Sprache, die für die Beschreibung von Projekten genutzt wird, von der Öffentlichkeit verstanden wird. So seien Begriffe und Einheiten wie Dosis und Bq/g für Laien nicht einfach zu verstehen und zu bewerten. Er forderte vor dem Hintergrund der Ereignisse in Fukushima eine internationale Vereinbarung zu Grenzwerten für Lebensmittel.

G. Williams (ARPANSA) sah es als wichtig an, dass die Lücken, die es in internationalen Standards gebe, angegangen und geschlossen werden. Weiterhin sei für ihn ein adaptives Management/Regulierung bei einem D&ER Projekt sinnvoll, und er schlug vor, dass es einen IAEA-Sicherheitsbericht zu diesem Thema geben muss.

Dass der Strahlenschutz für „ungeplante“ Exposition näher betrachtet werden sollte, war Herrn Williams neben der Entwicklung von Voraussetzungen/Referenzlevel für die Sanierung ein weiteres Anliegen. Dies sollte auch für Vor-Unfall-Szenarien geschehen. Weiterhin sah er es als wichtig an, das Vertrauen der Stakeholder zu gewinnen.

S. Theis (ENSI) gab zu bedenken, dass der Betreiber nach dem Abschalten einer Anlage zuerst die Kosten senken, d. h. den Brennstoff aus der Anlage entfernen wolle. Für das folgende Materialmanagement und für die öffentliche Akzeptanz des Abbaus werde Endlagerraum benötigt. Weiterhin merkte er an, dass die Erfahrung für den Abbau meist nicht beim Betreiber, sondern bei Fremdfirmen liege, diese aber nicht der behördlichen Kontrolle unterlägen und so der Erhalt von Erfahrungen schwerer durchzusetzen sei.

M. Sneve von der norwegischen Aufsichtsbehörde sah vor allem kleine Länder als abhängig von internationaler Führung bei radioaktiven Müll-Hinterlassenschaften an. Leider geben ihrer Meinung nach die IAEA-Richtlinien nicht genug Empfehlungen dafür. Auf die Frage nach Anleitungen zur besseren Einbindung der Stakeholder gab A. Gonzales zu bedenken, dass es schwer vermittelbar sei, dass es unterschiedliche Grenzwerte für verschiedene Nuklide je nach betroffenem Gegenstand gibt. Die Grenzwerte seien zudem durch unterschiedliche Modellannahmen ermittelt, was dem Laien ebenfalls nur schwer zu vermitteln sei.

Im Fragen und Antwortenteil der Podiumsdiskussion wurde nach existierenden Werten für „ungeplante“ Exposition gefragt und wie diese Werte begründet werden. Des Weiteren, wie es dazu kommen kann, dass einige der „geplanten“ Grenzwerte höher seien. A. Clark, UK, fragte auch nach den Hürden, um Richtwerte zu erlassen. A. Gonzales antwortete darauf, dass häufig die rechtlichen Dokumente von anderen erlassen werden, als von denen, die sie durchsetzen müssen. So könne es sein, dass einige Werte ohne wissenschaftliche Basis angenommen werden. Somit stelle die Politik eine Hürde für „sinnvolle“ Grenzwerte dar. G. Williams fügte hinzu, dass die Behörden nicht einer Meinung seien. Es werden zwar Werte für die Notfallmaßnahmen nach einem Unfall erarbeitet, aber keine Werte für die Zeit der Sanierung nach Beendigung des Notfalls.

M. Martell, Merience (Spanien), berichtete in ihrem Vortrag über die sozialen Hürden, die eine Beteiligung der Stakeholder bei der Stilllegung und Umweltsanierung beeinflussen. Aus vergangenen internationalen Projekten sei ersichtlich, dass eine wohlgeplante Beteiligung von Stakeholdern Stilllegungs- und Sanierungsprojekte effizienter macht. Häufig wurde bei diesen Projekten die Öffentlichkeit durch die zu wissenschaftliche Sprache abgeschreckt und somit von der Beteiligung abgehalten. Im weiteren Verlauf des

Vortrags wurde das Constraints in the Implementation of Decommissioning and Environmental Remediation (CIDER)-Project vorgestellt. Dabei war vor dem Start 2013 ein Fragebogen an die Mitgliedsstaaten verteilt und anschließend ausgewertet worden. Im Projekt wurden dann drei verschiedene Themengebiete (Policy, Legislative, Regulatory and Financial Framework; Technology and Infrastructure; Social and Stakeholder Issues) von jeweils einer Arbeitsgruppe bearbeitet. Das CIDER-Projekt Phase I lief bis Ende 2015. Der Abschlussbericht ist veröffentlicht (NW-T-1.10).

S. Nishida, Bürgermeister von Date City, Japan, berichtete über die Erfahrungen mit der Umweltsanierung in seiner Stadt in der Fukushima Präfektur. Dabei gab er einen Überblick über die Ereignisse und Maßnahmen in Date City seit den Ereignissen in Fukushima Daiichi. Als einen Widerspruch sah er an, dass von der Regierung ein Grenzwert von 1 mSv/a bzw. 0,23  $\mu$ Sv/h für die Sanierung ausgegeben wurde. Die erreichten Werte von 0,5 bis 0,6  $\mu$ Sv/h nach der Sanierung von einigen Flächen ergeben für die jeweiligen Nutzungsszenarien hochgerechnet auch den Grenzwert von 1 mSv/a. Diese erreichten Werte werden von der Regierung jedoch nicht als ausreichend anerkannt.

In der Podiumsdiskussion wurde das Thema besprochen, wie man Interessen und Erwartungen von Stakeholdern bei den Entscheidungsfindungsprozessen von Stilllegungs- und Umweltsanierungsprojekten unterbringen kann. Ein französischer Vertreter, M. Pomadère, berichtete, dass die Einbeziehung der Öffentlichkeit/ Stakeholder in Frankreich die Norm sei und gab zu bedenken, dass üblicherweise die Stilllegung einer nuklearen Anlage (KKW) ein großer Verlust für die betroffene Gemeinde sei. L. Swarmi aus Kanada führte an, dass das Einbeziehen der Stakeholder zu einer optimalen Entscheidungsfindung führe. Es werde dadurch Vertrauen aufgebaut und schaffe ein Gefühl der Teilhabe an dem Projekt. Weiterhin sah sie es als vorteilhaft an, die Stakeholder proaktiv zu informieren. Auf die Frage, wie das Vertrauen aufzubauen sei, waren die Antworten recht ähnlich. Die kanadische Vertreterin meinte, dass es wichtig sei, Vertrauen aufzubauen solange noch Zeit ist, damit es zu einem späteren Zeitpunkt, wenn es benötigt wird, bereits vorhanden ist. P. Orr, UK, betonte die Notwendigkeit, der Gemeinde die Konzepte der Stilllegung nahe zu bringen und sie daran wachsen zu lassen. J. Muldoon, ebenfalls aus Kanada, bekräftigte die Aussage seiner Landsfrau, dass es besser sei Vertrauen aufzubauen solange die Dinge planmäßig laufen und dies nicht erst nach einem Unfall zu versuchen. M. Martell aus Spanien machte deutlich, dass Vertrauen durch Respekt gegenüber den Stakeholdern und durch Taten aufgebaut werde.

S.-B. Hong von Korea Atomic Energy Reserch (KAERI), Korea, sprach über die geplante Geländecharakterisierung bei der Stilllegung des Koreanischen Forschungsreaktors (KRR). Der Freigabewert für das Gelände zur uneingeschränkten Nutzung als Wohnungsbaugelände beträgt 100  $\mu\text{Sv/a}$ . Herr Hong betonte, dass das Nutzungsszenario bei der Wahl des Dekontaminations-/Freigabeziels stets betrachtet werden sollte. So sei die anfallende Abfallmenge zum Erreichen des Grenzwertes für Farm-/Wohnbebauung etwa fünfmal so hoch wie für eine industrielle Nachnutzung.

F. Dumortier, Électricité de France (EDF), sprach über die Erfahrungen und Herausforderungen bei der Charakterisierung von bestrahltem Graphit. In Frankreich lagerten etwa 23.000 Mg bestrahltes Graphit. Graphit ist langlebiger schwach-radioaktiver Abfall. Durch Aktivierungen von Verunreinigungen enthalte das Graphit  $\text{Cl-36}$  und  $\text{Co-60}$ . Für das geplante Endlager müssten dann je 2 Mg Graphit in einen 10  $\text{m}^3$  Betoncontainer eingebracht werden. Dabei bestünde noch das Problem, dass  $\text{Cl-36}$  (etwa 80 mg/Mg) zwar detektierbar ist, der Gesamt- $\text{Cl}$ -Gehalt (Einlagerungskriterium) aber nicht. Um somit das gesamte Graphit endlagern zu können, wären 240.000  $\text{m}^3$  Betoncontainervolumen notwendig.

T. LaGuardia, USA, gab einen Überblick über die Kostenschätzung der WPDD der OECD/NEA. Dabei unterschied er einmal die „known knowns“, sogenannte Zuwendungen die als Platzhalter für Kosten, die ausgegeben werden dienen, wie etwa das Schneiden des Reaktordruckgefäßes. Weiterhin gebe es die „known unknowns“, die Zuschläge für Eventualitäten enthielten, die üblicherweise einen bestimmten Prozentsatz für Aufgaben innerhalb des Projektumfangs ausmachen. Als Letztes gibt es die „unknown unknowns“, die Risiken, die außerhalb des Projektumfangs liegen und bei denen nicht sicher ist, ob sie eintreten. Die Höhe kann durch eine probabilistische Risikoanalyse abgeschätzt werden. Die von der OECD/NEA herausgegebene International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) werde als Nachfolger des „yellow book“ immer weiter eingesetzt. Es hat sich herausgestellt, dass zu den größten Kostenpunkten bei der Stilllegung die Demontage des Reaktordruckbehälters und die Dekontamination von Gebäuden und Komponenten zählen.

M. Dutzer, Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA), sprach in seinem Vortrag über die Optimierung des Abbaus und des radioaktiven Abfallmanagements in Frankreich. Dabei ging er darauf ein, dass der meiste anfallende Abfall beim Abbau eines Kernkraftwerks LLW/VLLW sei (Anmerkung des Autors: In Frankreich existieren keine Freigabewerte). Im Endlager „Centre L'Aube“ wird LLW/ILW eingelagert.

Dafür werden entweder Zementfässer genutzt, die mit Kies aufgefüllt werden oder Metallfässer, bei denen Zement zum Auffüllen genutzt wird. Momentan werde etwa ein Drittel der Kapazität genutzt und es werde bei der momentanen Kapazität mit der Einlagerung bis 2060 gerechnet. Das Endlager für VLLW "Morvilliers" besteht aus Gräben in Ton. Die Anfangskapazität läge bei 650.000 m<sup>3</sup>, welche durch eine Effizienzsteigerung bei der Gestaltung der Einlagerungsrinnen um 250.000 m<sup>3</sup> erhöht werden konnte. Die Vorhersagen für den Gesamt-VLLW-Anfall betragen 2,2 Mio. m<sup>3</sup>. Die Abfall-Akzeptanzbedingungen werden unter Betrachtung des im Betrieb erzeugten Abfalls entwickelt. Es gebe so genannte Akzeptanzindikatoren der Lager. Momentan vergehen vom Anmelden bis zur Anlieferung einer Abfallsendung max. 80 Tage. Die Endlagerung von VLLW kostet etwa 500 €/je m<sup>3</sup>. M. Dutzer warf die Frage auf, ob es nicht sinnvoll wäre, dass der VLLW vor Ort beim Abbau endgelagert wird. In der anschließenden Diskussion wurde die Frage gestellt, ob das Rückbaupersonal vor den Gefahren durch Asbest geschützt werde. Dies wurde bejaht und weiter ausgeführt, dass für das Personal auf Deponien ebenfalls eine Lösung diesbezüglich diskutiert werde. Bei der Frage nach dem Recycling von Metall wurde auf das Akzeptanzproblem in der Bevölkerung in Frankreich hingewiesen und darauf, dass Regelungen hierfür entwickelt werden müssten.

A. Wickham, UK, sprach über Entwicklungen und Herausforderungen beim Management von bestrahltem Graphit, wovon im Vereinigten Königreich mehr als 250.000 Mg lagern. Eine Möglichkeit sei es, einen Teil zu verbrennen und das mit C-14 angereicherte CO<sub>2</sub> mit dem an C-14 abgereicherte CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe zu mischen, um dann das momentane natürliche C-14 Level im CO<sub>2</sub> zu erhalten.

## **Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Insgesamt wurden bei der Konferenz der IAEA alle wichtigen Themenbereiche, die bei der Stilllegung und Umweltsanierung auftreten können, angesprochen. So wurden neben der Einführung einer nationalen Politik und Strategien zur Realisierung entsprechender Projekte auch über das Regelwerk und die Standards bei der Stilllegung und Umweltsanierung referiert und bei Podiumsdiskussionen diskutiert.

Ebenfalls kamen die gesellschaftliche Beteiligung und die Beteiligung der direkt Betroffenen an Entscheidungsprozessen während der Projektlaufzeit zur Sprache und standen zur Diskussion.

Die Themen der technischen und technologischen Aspekte bei der Umsetzung von Stilllegungs- und Umweltsanierungsprojekten, sowie die Optimierung des Abfallmanagements wurden jeweils speziell auf die Stilllegung und die Umweltsanierung fokussiert betrachtet. Weiterhin wurde das Themengebiet des Projektmanagements, der Fertigkeiten und der Herausforderungen mit der Zulieferkette und die zukünftigen Ansprüche und die internationale Kooperation bei den Projekten betrachtet und diskutiert.

Als wichtige Schlussfolgerungen wurden u. a. angeführt:

Das Einbeziehen der Betroffenen (Stakeholder Involvement) ist ein Schlüsselfaktor bei der Planung, Verwirklichung und beim Abschluss sowohl von Stilllegungs- als auch von Umweltsanierungsprojekten. Dafür ist Vertrauen sowohl auf der Behörden- und Betreiberseite als auch auf der Betroffenenenseite notwendig. Um dieses zu schaffen und zu erhalten ist es wichtig, eine gemeinsame Sprache und gemeinsame Begrifflichkeiten zu finden. Die Einbeziehung der an den Entscheidungen Beteiligten wurde dabei als wichtiges Instrument gesehen. Es wurde deutlich, dass die Wahrnehmung der Bedeutung des „Stakeholder Involvement“ in den vergangenen Jahren zugenommen hat.

Es wurde in mehreren Vorträgen und Podiumsdiskussionen verdeutlicht, dass sich Abbaufonds bewährt haben, bei denen während des Betriebes einer Anlage das Kapital für den späteren Abbau und die notwendigen Sanierungsmaßnahmen erwirtschaftet werden. Dieses Vorgehen entspricht für privatwirtschaftliche Anlagen auch der Praxis in Deutschland. Trotzdem ist eine Unterstützung von kleineren Ländern beim Abbau von (kleineren) Anlagen notwendig.

Mehrfach wurde angeregt, dass Referenzlevels bei der Umweltsanierung nicht nur für den Fall eines Notfalls entwickelt werden sollten, sondern auch für die Zeit, wenn der Notfall beendet wurde und mit den entstandenen Auswirkungen weiter umgegangen werden muss. Auch im Sinne der Vertrauensbildung sollten diese Werte bereits bevor der Notfall/Unfall eintritt, vorhanden sein. Dann wäre ein konsequentes Agieren in Krisensituationen einfacher und die Referenzlevels wären wissenschaftlich begründet. Dies würde in der notwendigen Kommunikation mit der Bevölkerung Klarheit schaffen und auch das Vertrauen der Behörden stärken.

Insgesamt wurde durch die große Beteiligung vieler Länder deutlich, welche Themen aktuell international besonderes Augenmerk verdienen. Zum einen ist dies die Öffentlichkeitsbeteiligung, der eine eigene Session gewidmet wurde. Des Weiteren wurden vielfach Angaben zu geplanten und tatsächlichen Kosten von laufenden Projekten der Stilllegung und Entsorgung gemacht.

Diese Praxis weicht in ihrer Ausprägung von der deutschen Praxis ab. Transparenz, auch mit Blick auf die Kosten, kann aber mit Blick auf eine erfolgreiche Öffentlichkeitsbeteiligung Vertrauen schaffen.

International wird der Umgang mit bestrahltem Graphit als Stilllegungsabfall diskutiert und daran geforscht. In Deutschland ist die Graphit-Entsorgung ein weniger wahrgenommenes Thema, aber dennoch für die Stilllegung der Prototypreaktoren THTR-300 und AVR von Bedeutung.

### **3.2.2 IAEA-Konferenz „Third International Conference on Nuclear Knowledge Management - Challenges and Approaches**

Die „Third International Conference on Nuclear Knowledge Management - Challenges and Approaches“ fand vom 07. bis 11. November 2016 bei der IAEA in Wien, Österreich statt. Ein GRS-Mitarbeiter hat im Rahmen dieses Vorhabens teilgenommen und hierzu einen Reisebericht verfasst /BRU 16a/. Auf diesen wird für detaillierte Informationen verwiesen. Im Folgenden werden einige interessante Erkenntnisse für das Vorhaben herausgestellt.

Der erste Tag, Montag, gestaltete sich in einer gemeinsamen Plenarsitzung, während die Tage Dienstag bis Donnerstag aus zwei Parallelsitzungsblöcken (bis zu vier Sitzungen parallel) und einem Plenarsitzungsblock bestanden. Am letzten Tag fanden eine Key-note-Plenarsitzung und die Abschlussitzung statt. Von Montag bis Donnerstag gab es abends mehrere parallele Satelliten-Events. Dabei wurde ein breites Spektrum, von Diskussionen in kleinen Gruppen über Podiumsdiskussionen bis zu Vorführungen, abgedeckt.

An den fünf Tagen wurden folgende Themenschwerpunkte mit einzelnen, meist vier parallelen Sitzungen gesetzt:

1. Strategic and cross-cutting knowledge-management issues in organizations
2. Managing knowledge for new build projects and programmes in newcomer and expanding countries
3. Managing knowledge for operating nuclear facilities
4. Managing knowledge for decommissioning and environmental remediation projects, including in countries with phase-out plans
5. KM for nuclear regulatory compliance
6. KM for non-power nuclear science and applications
7. KM in nuclear technology research, development and innovation
8. Issues and approaches for information and records management

Zum Thema Wissensmanagement – Herausforderungen und Herangehensweisen – gab es Plenarvorträge und eine Podiumsdiskussion. Im Rahmen der Diskussion kam unter anderem die Frage auf, was für einen effektiven Wissenstransfer wichtig ist. Geantwortet wurde, dass es für einen effektiven Wissenstransfer wichtig ist, dass Empfehlungen zur „Fragekultur“ den jeweiligen kulturellen Hintergrund mit zu berücksichtigen (etwa in Japan, Russland, etc.).

L. Prusak aus den USA berichtete in seinem Vortrag, warum Wissensmanagement-Projekte versagen und was die Einflussfaktoren sind. Unter anderem wird Wissen nicht hinreichend definiert, es gibt oft keine Kapazitäten bei den Nutzern und bei der Analyse des Wissens sind Größe bzw. Einheit nicht definiert. Weiterhin sollte das Wissen von langjährigen Mitarbeitern mit Verantwortung weitergegeben und prioritär behandelt werden. Die Frage der eingesetzten Technologie ist zwar wichtig für die Sicherung der Informationen, für die Wissensvermittlung sieht er sie aber als unwichtig an. Im Gegensatz dazu ist das Wissen des Personals wichtig.

Das Satelliten-Event zu Herangehensweisen an Langzeitwissensmanagement für stillgelegte nukleare Anlagen, Standorte und Abfallstätten wurde in Form einer Podiumsdiskussion veranstaltet. Eine der getätigten Aussagen war, dass Stilllegungs- und Sanierungsprojekte meist sehr langfristig sind. Deshalb muss das Wissen von einer

Generation zur nächsten transferiert werden. Dieser Wissenstransfer kann u. a. über internationale Datenbanken (etwa CONNECT → Decommissioning Wiki) geschehen. Von einem Vertreter aus Japan wurde die Frage aufgeworfen, ob nicht zukünftig künstliche Intelligenz als Wissens-„Experten“ auftreten sollten. Weiterhin wurde auf die Wissenssammlung des Department of Energy (DOE) der USA (dndkm.org) verwiesen.

T. Inoue aus Japan sprach darüber was man nach Fukushima im Wissensmanagement bei Stilllegung und Umweltsanierung gelernt hat. Es wurde sehr viel Wissen/Daten gleichzeitig produziert. Dabei ist es wichtig für die Kommunikation mit der Bevölkerung ein gutes Datenmanagement zu haben und diese Daten auch zu veröffentlichen.

Es fand eine Videokonferenz mit einem Forschungsreaktor (FR) via Internet (Internet Reactor Laboratory (IRL)) statt. Dies soll einen zusätzlichen Verwendungszweck für einige FR (Lehre, Weiterbildung, etc.) bringen. Dadurch kommt es zu einem/einer zusätzlichen Nutzung(szeit) für den FR. Dabei sind eine gleiche Zeitzone und Sprache von Vorteil. Bisher sind die Forschungsreaktoren ISIS (F), AR-6 (ARG), North Carolina University (USA) in diesem IRL vertreten. Für das Jahr 2017 wurde geplant einen FR aus Afrika und einen aus Asien dem IRL hinzuzufügen. Wichtig zu erwähnen ist, dass der FR nicht ferngesteuert wird, sondern dass die FR-Bediener vor Ort immer noch die Kontrolle haben. Der Erhalt des Wissens und die Weitergabe von Informationen ist besonders für die Stilllegung wichtig. Deshalb können die hier beschriebenen Lehrkonzepte auch auf die Stilllegung bezogen werden und nützlich sein.

## **Fazit**

Wissensmanagement wird von den Teilnehmern als wichtig angesehen um die Kompetenz und Fähigkeiten zu erhalten. Es sind ganz verschiedene Ansätze möglich und diese werden auch praktiziert. Sehr häufig ist ein Wissenstransfer von älteren auf jüngere Mitarbeiter notwendig. Wissensmanagement ist nicht nur reines Informationsmanagement, dies gehört aber auch unbedingt dazu.

Informationen müssen auch über Sprachbarrieren und bei Fehlen der genauen Suchbegriffe auffindbar sein. Dies soll durch stärkere Verwendung von Semantik möglich sein. Die Wissen- und Informationsübertragung muss in dem notwendigen Umfang geschehen (und nicht darüber hinaus), sonst ist man in der „Informationsflut“ verloren. Wichtig ist ferner, dass eine Wissensmanagement-Kultur gelebt werden sollte.

Besonders dann, wenn sich die Personalstruktur nach der endgültigen Abschaltung einer Anlage verändert, wird ein funktionierendes Wissensmanagement für den Abbau besonders wichtig. Die gewonnenen Erkenntnisse sind daher auch für deutsche Stilllegungsprojekte übertragbar.

### **3.2.3 Workshop „Current and Emerging Methods for Optimizing Safety and Efficiency in Nuclear Decommissioning“ in Halden, Norwegen**

Der Workshop diene in erster Linie dem Erfahrungsaustausch zwischen den einzelnen Mitgliedsstaaten des OECD Halden Reactor Projects (HRP) und der Präsentation der aktuellen Forschung und Ergebnisse des Instituts für Energietechnik (IFE) in Halden. Dieser Austausch von Erfahrungen und Schwierigkeiten in den verschiedenen Stilllegungs- und Sanierungsprojekten soll die zukünftige Richtung der Forschungsaktivitäten des Halden-Projekts beeinflussen. Zusätzlich sollten auch Nationen außerhalb des HRP die Möglichkeit haben, an der Diskussion um den Forschungsbedarf, der in Zukunft auf dem Gebiet der Stilllegung existieren wird oder bereits existiert, teilzunehmen.

Thematisch befasste sich der Workshop hauptsächlich mit den Schwierigkeiten verschiedener Stilllegungsprojekte und – dem gegenübergestellt – neuen Entwicklungen. Zwar stellten Abbautechniken und deren Fortentwicklung einen signifikanten thematischen Anteil dar, jedoch lag das Hauptaugenmerk vor allem bei den Diskussionen und Gesprächen auf der Entwicklung von Simulationssoftware und der Optimierung der Schnittstelle zwischen Mensch und Technik, sowie auf Erkenntnissen und Untersuchungen auf dem Gebiet der menschlichen Faktoren (Human Factors). Hier wurde insbesondere die Arbeit des IFE im Bereich der Mensch-Technik Organisation (MTO) vorgestellt. Auch der Anlagenbesuch, der eine Besichtigung der Labors der MTO-Abteilung des IFE enthielt, zielte auf diese Aspekte ab.

Die insgesamt fünf Sessions fassten die folgenden Themenfelder zusammen:

1. Workshop introductory presentations
2. Experience from starting, on-going and completed decommissioning projects
3. New Technologies for decommissioning
4. Advanced information technologies for decommissioning
5. Challenges and methods for improving decommissioning

Aufgrund der Vielzahl an Vorträgen sind im Folgenden die einzelnen Sessions mit Blick auf die Vorhabensziele zusammengefasst und nur einige ausgewählte Präsentationen explizit beschrieben.

Inge Weber, OECD/NEA, führte in die internationale Situation der Stilllegung im Hinblick auf die NEA-Mitgliedsstaaten ein. Sie machte deutlich, dass die Stilllegung schon seit vielen Jahren als technisch gelöste Aufgabe gesehen wird. Aus Sicht der OECD/NEA-Mitgliedsstaaten sei lediglich weitere Optimierungsarbeit möglich. Die tatsächliche Schwierigkeit sei zukünftig eher politischer Natur. Frau Weber demonstrierte anhand aktueller Zahlen, dass sich alle bisher stillgelegten Anlagen und ein Großteil der in Stilllegung befindlichen Anlagen in Mitgliedsstaaten befinden.

Es lässt sich ableiten, dass zukünftig ein Großteil der Anlagen, die stillgelegt werden müssen, in nicht-OECD/NEA-Mitgliedsstaaten liegen werden. Ferner ist der Scheitel der Anzahl abzubauenen Anlagen weltweit noch nicht erreicht, sodass nahezu unabhängig von Laufzeitverlängerungen eine große Herausforderung abzusehen ist, insbesondere in finanzieller Hinsicht. Eine Prognose der NEA für das Jahr 2030 geht von knapp vier Milliarden US-Dollar Stilllegungskosten pro Jahr aus. Frau Weber berichtete ferner über Schwierigkeiten bei Kostenschätzungen, vor allem das Benchmarking betreffend, und machte deutlich, dass die Voraussetzung für eine solide und langfristige Finanzierung von Abbauprojekten die wirtschaftliche Stabilität eines Landes sei (für Anlagen im Eigentum der öffentlichen Hand). Der Bedarf an Forschung und Entwicklung liege daher in der wirtschaftlichen Optimierung sicherer und umweltverträglicher Technologien sowie in der internationalen Zusammenarbeit.

István Szóke, OECD HRP, griff in seinem Vortrag ebenfalls die Vielzahl an bevorstehenden Stilllegungsprojekten auf und begründete damit den Forschungsbedarf zur Optimierung von Prozessen in der Stilllegung. Das größte Optimierungspotenzial lege in der Organisation der Projekte, insbesondere im Wissensmanagement. Herr Szóke stellte in diesem Zusammenhang Arbeitsbereiche des IFE vor, die sich mit Wissensmanagement, Human Factors und der Akzeptanz neuer Methoden oder Technologien befassen. Das Ergebnis aus Interviews mit internationalen Firmen, die Stilllegungsprojekte durchführen, mache deutlich, dass sowohl die Infrastruktur als auch das Regelwerk in den meisten Fällen nicht hinreichend flexibel für neue Entwicklungen ist, was besonders den umfangreichen Verfahren zur behördlichen Akzeptanz der Technologien liege. Die Entwicklung ferngesteuerter Verfahren sei zwar sehr nützlich und vielversprechend, jedoch werde das manuelle Arbeiten weiterhin sehr verbreitet sein. Um den Weg für ein innovatives

und effektives Arbeiten zu ebnet, müsse man das Wissensmanagement verbessern, um allen Beteiligten schneller und einfacher die Anforderungen und verfügbaren Möglichkeiten klar darstellen zu können. Die Vielzahl an Informationen, die bei der Planung eines Stilllegungsprojektes verarbeitet werden müssen, sei bei herkömmlicher Vorgehensweise kaum zu bewältigen und erfordere anwenderfreundliche Systeme. Hierfür sind am IFE derzeit einige Methoden in Entwicklung, die moderne Informationstechnologien nutzen, um anwenderfreundlich individualisierte und kontextbezogene Informationen zur Verfügung zu stellen.

Per Lidar, Studsvik, machte in seinem Vortrag auf die Wichtigkeit des geregelten Abflusses der Abbaufälle aufmerksam. Ein Abbauprojekt, das schrittweise – beginnend bei der ersten Planungsphase bis hin zur Freigabe des Standortes – durchgeführt wird, müsse zuvor vom Ende her geplant werden, also ausgehend vom definierten Endzustand bis hin zum Stilllegungsbeginn.

Diese Reihenfolge sei notwendig, da das Abfallmanagement die Abbaufolge, Dekontaminationsziele, die Charakterisierung sowie die Strategie- und Abbauplanung maßgeblich beeinflusst. Dieses Prinzip wurde am Beispiel des MAX-lab veranschaulicht, einer Laboreinrichtung der Universität von Lund.

Michele Laraia, ehemals IAEA, trug zum Thema Reife von Techniken und Forschung und Entwicklung in der Stilllegung vor. Zunächst stellte Herr Laraia heraus, dass Forschung im eigentlichen Sinne keine große Bedeutung für die Stilllegung hat. Es handele sich eher um eine angewandte und vor allem zielgerichtete Forschung, die über die Jahre eher in eine experimentelle Entwicklung übergegangen ist. Ferner sei die Reife einer Technik schwer zu bewerten und immer sehr subjektiv. Selbst wenn eine Technik als ausgereift gelte, seien noch Jahrzehnte der Entwicklung möglich, die wiederum die Vorstellung von Reife verändern. Irgendwann sei jedoch ein Performance-Limit erreicht, sodass mit großem Forschungsaufwand nur sehr geringe Verbesserungen möglich sind. In der Stilllegung seien, abgesehen von der Roboterentwicklung, keine bahnbrechenden Verbesserungen der Techniken mehr zu erwarten, insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Stilllegung oftmals auch mit einfachen Mitteln erfolgreich durchgeführt werden kann. Schließlich stellte Herr Laraia einige sehr erfolgreiche technische Entwicklungen vor, die für die Stilllegung von großer Bedeutung sind, wie z. B. Gamma-Kameras, Dekontaminationsgels, usw. Schließlich ging er auf die derzeit laufenden Entwicklungen im Bereich der Robotik beim Einsatz in den havarierten Reaktoren in Fukushima ein.

Konstantin Chizhov, SRC-FMBC, sprach über Methoden zur Rekonstruktion von Bodenkontaminationen aus einer gemessenen Ortsdosisleistung und stellte eine Methode vor, die auf der Lösung der Fredholm-Gleichung basiert und eine deutlich bessere Ortsauflösung der Bodenkontamination liefere als einfachere Verfahren. Veranschaulicht wurde der Erfolg dieser Methode an der Untersuchung der Bodenkontamination von Andreeva Bay, einer Lagereinrichtung für abgebrannte Kernbrennstoffe in Russland, sowie anhand der Kontamination der Dächer des havarierten Reaktors in Chernobyl.

Anschließend stellte Philip Harding, Brenk Systemplanung, einen Algorithmus zur Handhabungs- und Verpackungsoptimierung von Steuerstäben vor, der an verschiedene Randbedingungen angepasst werden kann. In einem Ausblick stellte Herr Harding auch die Möglichkeit vor, eine ähnliche Vorgehensweise zum Erstellen eines Beladungsplanes für ein Endlager zu verwenden.

Eiichiro Wantanabe, IAEA, gab einen Überblick über die aktuellen Untersuchungen der Blöcke 1 bis 3 des Kernkraftwerks in Fukushima bezüglich der Position des geschmolzenen Kernbrennstoffs. Die meisten der angewendeten Untersuchungsmethoden brachten keine hinreichend klaren Erkenntnisse, jedoch geht man davon aus, dass sich das Kernmaterial am Boden des Containments befindet. Die hohen Dosisleistungen von rund 100 Sv/h, die durch Roboter gemessen wurden, geben Aufschluss, dass sich in Block 2 Kernbrennstoff oberhalb der Wasserabdeckung befindet. Weiterhin wurden verschiedene Möglichkeiten der Bergung des Kernbrennstoffs vorgestellt, die entweder von oben, bei vollständiger Flutung des Containments, oder von der Seite bei teilweiser Wasserabdeckung erfolgen könnten.

Eine Vielzahl der Vorträge befasste sich mit Themen der modernen Informationstechnologie bzw. Digitalisierung und deren Anwendung in Stilllegungsprojekten.

Zum einen kann das Erstellen von dreidimensionalen Modellen der Anlagen oder von Anlagenteilen eine wichtige Hilfe im Planungsprozess von Stilllegungsarbeiten sein. So können beispielsweise große Mengen an Hintergrundinformationen aus Datenbanken direkt bestimmten Anlagenteilen zugeordnet werden. Technische Daten, Dosisdaten oder Abbaupläne werden dann dem Anwender direkt zugänglich gemacht, sobald er eines der modellierten Anlagenteile auswählt. Dies könne sehr effizient einen Überblick über die örtlichen Gegebenheiten und Möglichkeiten liefern, wofür sonst langwierige Analysen entsprechender Unterlagen erforderlich seien.

Zum anderen können Hintergrundinformationen mit einem realen Bild verknüpft werden. Befindet sich eine Person mit einer entsprechenden Brille in der Anlage, so kann das 3D-Bild aus der Simulation mit dem wirklichen Bild überlagert werden, sodass man beispielsweise die zuvor erfassten Dosisleistungen direkt vor Ort sichtbar machen kann. Dies habe den entscheidenden Vorteil, dass alle relevanten und verfügbaren Informationen für den Nutzer unmittelbar sichtbar werden, oder vor Ort direkt abgerufen werden können. Ferner dienen realitätsnahe Simulationen von Räumen, Personen und Geräten als Trainings- und Testfeld für sicherheitsrelevante Arbeiten. Die Exposition von Arbeitern kann auf diese Weise vorab getestet und optimiert und der Ablauf der Arbeit vom durchführenden Personal trainiert werden. Ein so einstudierter Vorgang kann mit einem deutlich geringeren Fehlerrisiko anschließend real durchgeführt werden.

In den aktuellen Softwareentwicklungen des IFE ist es mithilfe eines Virtual-Reality-Headsets möglich, sich in einem nachgebildeten Raum zu bewegen und mit allen Gegenständen zu interagieren, Informationen abzurufen und Tätigkeiten zu üben.

Eine weitere Anwendung zeigte die Planung eines Rohrpostsystems zur Beschickung von Heißen Zellen. Die Simulationssoftware ermögliche bereits viele Tests im Vorfeld, sodass Material, Rohrführung, mögliche Expositionen bei Störfällen und weitere Eigenschaften der Anlage ausprobiert werden können. Auf diese Weise lasse sich bereits ein hohes Maß an Grundwissen erlangen, ohne kostenintensive Pilotanlagen zu bauen.

In einer einstündigen Demo-Session konnten diese zuvor erwähnten Simulationsmethoden von den Workshop-Teilnehmern ausprobiert werden. Es stand die nötige Hardware für Virtual- und Augmented-Reality-Anwendungen zur Verfügung, sodass es möglich war, sich virtuell durch eine Beispielanlage zu bewegen, sowie geplante Tätigkeiten selbst virtuell durchzuführen. Das Weiter wurde verschiedene Simulationssoftware vorgestellt, um die Exposition bei Tätigkeiten zu simulieren. Darüber hinaus wurde ein Computerspiel vorgestellt, das auf Basis vieler Betreibererfahrungen den Umgang mit Human Factors in der Stilllegung simulieren soll. Man kann sich in die Position des Projektleiters begeben und auf verschiedene Situationen, die im Laufe des Übergangs vom Leistungsbetrieb zur Stilllegung auftreten werden, durch verschiedene Auswahlmöglichkeiten reagieren. Hierzu zählen beispielsweise Personalhandlungen, Planungen und Anweisungen, aber auch die Kommunikation mit Aufsichtsbehörden. Diese Reaktionen beeinflussen wiederum das Verhalten der Belegschaft, das Abfallmanagement, das Verhalten der Aufsichtsbehörde, den Abbaufortschritt und weiterer Aspekte, die für den weiteren Projektverlauf und die nächste Entscheidung des Projektleiters relevant

sind. So könne man spielerisch das strategische Vorgehen im Projektverlauf üben und die Konsequenzen verschiedener Handlungsweisen simulieren.

Das letzte Themenfeld richtete sich an die Herausforderungen, die weiterhin für Forschung und Entwicklung im Bereich der Stilllegung bestehen. Bernard Poncet, EDF, berichtete über Schwierigkeiten bei der Untersuchung von CI-36 in Graphit. Ebenfalls beschäftigte sich Anthony J. Wickham, Universität von Manchester, mit dem Thema der Graphitproblematik und stellte das GRAPA-Projekt der IAEA vor. Er nannte verschiedene Möglichkeiten, wie man mit dem Graphit umgehen könne, jedoch gebe es keine einheitliche Richtung, auf die man sich festlegen wolle.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Einbeziehung von Human Factors in den Stilllegungsprozess. Hierzu präsentierte Claire Taylor, IFE, verschiedene wichtige Einflussfaktoren von menschlicher und organisatorischer Natur. Besonders beim Übergang zur Stilllegungsphase sei ein gutes Personalmanagement und damit verbundenes Wissensmanagement sowie die frühzeitige Planung des gesamten Prozesses eine schwierige Herausforderung. Hier seien insbesondere eine gute Kommunikation zwischen Leitung und Angestellten, sowie der Erfahrungsaustausch mit anderen Anlagen entscheidend. Auch das Pflegen der Sicherheitskultur sei besonders nach der endgültigen Abschaltung der Anlagen eine Schwierigkeit. Menschliche Faktoren spielen besonders in diesen Bereichen eine wichtige Rolle, die es zu erkennen gelte.

Auf die Anlagenbesichtigung im Rahmen der Veranstaltung wird nicht näher eingegangen, da diese keinen Stilllegungsbezug hatte.

## **Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Der Schwerpunkt des Workshops lag auf dem Bedarf weiterer Entwicklungen, um den Abbau effizient und sicher abwickeln zu können. Es wurde schon zu Beginn sehr deutlich, dass aus technischer Sicht im Grunde alle Methoden zur Verfügung stehen. Optimierung ist nur bedingt möglich und wendet sich daher dem Bereich der Human Factors zu, da hier noch viele erkennbare Schwierigkeiten liegen und das Optimierungspotenzial groß erscheint. Die vorgestellten Methoden zeigen, dass besonders im Bereich des Wissensmanagements viele neue Möglichkeiten entstehen. Dass moderne Soft- und Hardware bei der Bereitstellung von Informationen und der Planung sowie dem Training von Abbauschritten sehr dienlich sein können, wurde eindrucksvoll gezeigt. In zahlreichen Gesprächen und Diskussionen wurde jedoch ebenfalls deutlich, dass diesem Level der

Optimierung derzeit nur eine geringe Relevanz für die meisten Stilllegungsprojekte zukommt, da auf günstige und erprobte Techniken zurückgegriffen wird. Wie schnell die innovativen Methoden in den Anlagen akzeptiert und angewendet werden, bleibt fraglich. Die eigentliche Herausforderung wurde bereits im ersten Vortrag von Frau Weber deutlich: Viele Projekte müssen in Zukunft in nicht-OECD-Mitgliedsstaaten mit geringerem kerntechnischen Wissen und einer weniger stabilen Wirtschaftslage erfolgreich durchgeführt werden. Hier besteht die Herausforderung, dass man Technologien und Wissen nicht immer wieder neu in jedem Land entwickelt, sondern ein solides internationales Netz aufbaut, um solche Projekte effektiv zu unterstützen.

Generell bleibt der Eindruck bestehen, dass derzeit menschliche Faktoren stärker in den Fokus rücken, da ein starker Zusammenhang zwischen sicherem und wirtschaftlichem Abbau und Einhaltung des ALARA-Prinzips und der Organisation besteht. Die Technik ist im Wesentlichen hinreichend entwickelt, sodass die Schnittstelle zwischen Mensch und Technik ein zunehmend wichtiges Forschungsfeld wird.

#### **3.2.4 DEM – International Conference on Dismantling Challenges: Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience**

Die internationale Konferenz zu Abbau-Herausforderungen fand vom 22. bis 24. Oktober 2018 in Avignon, Frankreich statt. Rund zwei Drittel der Teilnehmer kamen aus dem Gastgeberland Frankreich. Eine – gemessen an der Distanz – große Beteiligung war außerdem durch Japaner zu verzeichnen (20). Die Konferenz war in Plenarsitzungen und bis zu vier parallel verlaufende Sitzungen aufgeteilt.

Eine Besonderheit der Konferenz war, dass keine Papier-Unterlagen verteilt wurden, sondern dass stattdessen eine Smartphone/Tablet-App (Applikation, Anwendung) bereit gestellt wurde, über welche das Programm, Abstracts, Publikationen und Autoreninformationen abrufbar waren.

In einem Übersichtsvortrag wurde berichtet, dass weltweit 169 Anlagen in Stilllegung sind, aber bisher nur 15 vollständig abgebaut wurden. Die Vorträge der Plenarsitzungen waren stark von der französischen Perspektive auf die Stilllegung geprägt. In Frankreich liegen bis dato wenige Erfahrungen zum Abbau von leichtwassergekühlten und -moderierten Reaktoren vor. Dementsprechend waren die Vorträge von frühen Abbauplanungen geprägt bzw. vom Thema Abbau von graphitmoderierten Reaktoren.

Es wurde deutlich, dass in Frankreich bislang kaum praktische Erfahrungen mit dem Abbau von Leichtwasser-Reaktoren vorliegen.

Bei der Veranstaltung gab es Sessions mit den folgenden Themen:

- Dismantling Strategy, Program Development
- Stakeholders Involvements & Public Acceptance
- Regulation Evolution
- Digital Contribution to Dismantling Operations
- Development of New D&Ds' Technologies
- Fukushima: Feedback & Operation in Progress
- Initial Radiological State Characterization
- Project Feedback Experience
- Material & Radioactive Waste Management
- Buildings & Sites Rehabilitation
- Economic & Financial Aspects of Dismantling Operations
- (Virtual Technical Visits)

Eine größere Zahl an Vorträgen und Posterbeiträgen gab es hierbei zu den Themen „Dismantling Strategy, Program Development“, „Development of New D&Ds' Technologies“ und „Initial Radiological State Characterization“. Vergleichsweise gering vertreten waren dagegen die Themen zur Beteiligung von Interessengruppen, zur regulatorischen Entwicklung, zum Unfall in Fukushima und zu ökonomischen Aspekten der Stilllegung.

In einleitenden Vorträgen mit übergeordneter thematischer Ausrichtung wurde von Seiten der IAEA berichtet, dass im Oktober 2019 eine Konferenz zum Thema Klimawandel und die Rolle der Kernenergie stattfinden wird. Hier wird deutlich, dass die aktuelle Diskussion um die Folgen des Klimawandels auch in die Frage der künftigen Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung eingeht, beispielsweise mit Blick auf den längerfristigen Weiterbetrieb von bestehenden Anlagen und dafür nötige Umrüstungen aber auch hinsichtlich Neubau von Anlagen. Dies alles steht vor dem Hintergrund insgesamt deutlich älter werdender Flotten (außer Südostasien) und steigender Zahlen in Stilllegung befindlicher Kernkraftwerke.

Angesichts deutlicher Unterschiede von Regularien international, aber auch innerhalb der Europäischen Union, wird von einigen Seiten eine gewisse Standardisierung in der Stilllegung und Entsorgung angestrebt. So wurde berichtet, dass ein Projekt der Europäischen Kommission existiert, das die thermische Behandlung von Abfällen zum Inhalt hat (THERAMIN). Aus Wortbeiträgen wurde allerdings deutlich, dass Zweifel bestehen, dass eine tiefgehende Standardisierung möglich ist. Hier wurde auf die unterschiedlichen Reaktortypen und Bauweisen von Land zu Land hingewiesen.

Durch die zahlreichen Vorträge aus französischer Sicht wurden Gemeinsamkeiten und Unterschiede zur Situation in Deutschland klar. So gibt es in Frankreich heute fest vorgegebene Zeitlimits für die Einreichung und für die Erteilung einer Stilllegungsgenehmigung. Möglicherweise ist dies eine Konsequenz aus dem Verfahren um Chooz A. Dessein Betreiber hat 11 Jahre lang die Stilllegung geplant (1991 endgültig abgeschaltet).

Laut Berechnungen von Orano entfallen rund 53 % der Stilllegungskosten für französische Anlagen tatsächlich auf den Abbau. Der Rest entfällt auf Abfallbehandlung, -transport und -entsorgung sowie Nebenkosten. In Deutschland ist dieser Wert noch geringer, da laut weitgehend übereinstimmenden Betreiberangaben allein die Restbetriebskosten (inkl. Personal) etwa 60 % einnehmen, wie in Diskussionen während der iCOND-Konferenz berichtet wurde (Teilnahme im Rahmen des Vorhabens 4716R01310).

In einem Vortrag von Westinghouse wurde über die Zerlegung der Kerneinbauten im Kernkraftwerk Neckarwestheim I berichtet. Die vorhergehende Planung der Schnitte und der Verpackung der zerlegten Stücke erfolgte mittels eines 3D-Modells. Die Maßnahme erfolgte unter Stilllegungsgenehmigung bei noch vorhandenen Brennelementen im Abklingbecken der Anlage.

Ebenfalls von Westinghouse wurde über die Durchführung von Systemdekontaminationen (FSD) in Anlagen der sowjetischen Bauart WWER-440, z. B. in Bohunice (Slowakei) berichtet. Für diesen Anlagentyp wurde eine Kombination der Verfahren Nitrox-E sowie DfD (Decontamination for Dismantling) eingesetzt. Hierzu war es notwendig einen Überdruck herzustellen und eine zusätzliche Be-/Entlüftungsschiene („vent line“) zu installieren, da Probleme mit Luft im System bestanden. In WWER-Reaktoren sind die Dampferzeuger, im Gegensatz zu westlichen Anlagen, liegend um den RDB angeordnet. Nach eigenen Angaben hat Westinghouse ein Angebot an EWN gemacht um die noch im ganzen bestehenden Dampferzeuger des Kernkraftwerks Greifswald (KGR), welche im Zentrallager Nord (ZLN) eingelagert sind, zu dekontaminieren.

Der Autor dieses Berichts hat auf der Konferenz einen Posterbeitrag /SCH 18/ mit dem Titel „Simulation of the Occupational Radiation Dose Caused by Decommissioning Work in PWRs“ geleistet. Zusätzlich wurde vorab ein Konferenz-Paper /SCH 18a/ mit gleichem Titel erstellt und versandt. Die präsentierten Ergebnisse wurden im Rahmen des ausgearbeiteten Vorhabens 3616S72374 („Generische Studie DWR“) erarbeitet.



## **4 Teilnahme am internationalen Erfahrungsaustausch in internationalen Netzwerken und Projekten zur Stilllegung**

### **4.1 Mitarbeit an Projekten der IAEA / des IDN**

In den jährlichen Treffen des IDN (IDN Annual Meetings) wird über die aktuellen und zukünftigen IAEA-Aktivitäten im Bereich der Stilllegung berichtet. Des Weiteren berichten die Vertreter der Länder über ihre nationalen Stilllegungsaktivitäten. Mittels jährlicher Umfragen an die Ländervertreter wird ermittelt, welche Fortschritte in den Ländern in der Stilllegung gesehen werden, welche Herausforderungen bestehen und inwieweit die Erwartungen an das IDN erfüllt werden. Auf dieser Basis wird die Zielrichtung für künftige IDN-Projekte mitbestimmt.

Über die gesamte Projektlaufzeit waren GRS-Mitarbeiter an den jährlichen Treffen des Internationalen Stilllegungsnetzwerks der IAEA („International Decommissioning Network“, IDN) beteiligt. Bis Mitte 2017 war ein GRS-Mitarbeiter außerdem Mitglied des „Steering Committee“ (SC) des IDN, so dass eine gestalterische Rolle im IDN eingenommen werden konnte. Das SC hat unter anderem die Aufgabe, die thematische Ausrichtung des IDN festzulegen und die IDN-Jahrestreffen („IDN Annual Meetings“) vorzubereiten. Darüber hinaus wurde etwa auch die IAEA-Konferenz „International Conference on Advancing the Global Implementation of Decommissioning and Environmental Remediation Programmes“, die im Mai 2016 in Madrid stattfand, analysiert um die weitere inhaltliche Ausrichtung zu bestimmen. Über die o.g. Konferenz wurde ausführlich in Kap. 3.2.1 berichtet. Am Rande dieser Konferenz fand auch ein Treffen des IAEA-Projektes DAROD statt, an dem ein GRS-Mitarbeiter regelmäßig mitgearbeitet hat.

Aus dem IDN heraus werden – auch ausgehend von Vorschlägen der Repräsentanten der Mitgliedsländer – neue IAEA-Projekte initiiert. Hierzu zählen mit Stand Ende 2018:

- DRiMa
- CIDER (I und II)
- DAROD
- COMDEC
- HR Development
- MIRDEC.

Zusätzlich ist noch das IDN-Decommissioning-WIKI zu nennen. Hierzu fanden Workshops statt um WIKI-Moderatoren zu schulen, diese mit der Bedienung vertraut zu machen und einen Workflow zu etablieren. An zwei dieser Workshops nahmen GRS-Mitarbeiter teil. Das ständig wachsende IDN-WIKI stellt eine Informationsquelle dar, die auch zur Internet-Recherche für den nationalen Erfahrungsrückfluss genutzt werden kann. Hierzu sei auf Kapitel 3.1 verwiesen.

Beim IDN-Jahrestreffen 2017 wurden in Gruppenarbeit Artikel verfasst, die in das zu dem Zeitpunkt neue IDN-Wiki eingestellt wurden, so dass es zügig mit Inhalt belebt werden konnte. Das IDN wertet die Nutzung des WIKIs regelmäßig aus und versendet die Ergebnisse an die Vertreter der Länder. Die Zahl der Nutzer sowie die Nutzungsaktivität steigen im Mittel mit der Zeit an, weil bei zahlreichen IAEA-Treffen Ländervertreter ermuntert werden, Beiträge zu leisten oder das WIKI zu nutzen. Es ist jedoch klar erkennbar, dass überwiegend während entsprechender IAEA-Treffen darauf zugegriffen wird.

Im Rahmen anderer Vorhaben wurde an CIDER I und DRiMa von GRS-Seite mitgewirkt. Auf Grund der Ausrichtung auf Unterstützungsprogramme für einzelne Länder/Projekte wurde von einer weiteren Mitarbeit in CIDER II in diesem Vorhaben abgesehen.

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde bis zum Abschluss Ende 2017 am DAROD-Projekt mitgewirkt. In dessen indirektem Nachfolgeprojekt COMDEC („Completion of Decommissioning“) ist die GRS seit dem ersten Treffen im September 2018 ebenfalls involviert.

Auf die einzelnen, im Rahmen des Vorhabens bearbeiteten IDN-Projekte wird im Folgenden separat eingegangen.

#### **4.1.1      DAROD**

Das IAEA-Projekt mit dem Akronym DAROD trägt den vollen Titel „International Project on Managing the Decommissioning and Remediation of Damaged Nuclear Facilities“. Es wurde im Januar 2015 unter Beteiligung von 35 Experten aus 19 Ländern gestartet und befasst sich mit der Stilllegung von beschädigten aber auch von zurückgelassenen Anlagen. Beschädigten Anlagen umfassen Anlagen, die einen Unfall hatten oder die durch Kriegshandlungen zerstört wurden. Zu den zurückgelassenen Anlagen werden Anlagen gezählt, die ohne jegliche Stilllegungsplanung außer Betrieb genommen wurden und längere Zeit ungewartet verfallen konnten.

Ein Grund hierfür kann beispielsweise eine plötzliche politische Veränderung im Land sein, auf Grund welcher Verantwortlichkeiten und/oder Regularien entfallen, oder das technische Kompetenzen bzw. Finanzmittel fehlen (z. B. Zusammenbruch der UdSSR).

### **Zielsetzung**

Nach dem Unfall im KKW Fukushima Daiichi im März 2011 sowie früheren nuklearen und radiologischen Unfällen, insbesondere bei Kernkraftwerken und Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs in anderen Ländern, wurden wichtige Herausforderungen in Bezug auf die Stilllegung stark beschädigter kerntechnischer Anlagen auf verschiedenen Gebieten offensichtlich, die die Suche nach Lösungen für Altlasten aus der nuklearen Forschung und Industrie einschließen, um u. a. die Akzeptanz der Kerntechnik in der Bevölkerung weiterhin zu erhalten. Die IAEA verfolgte mit ihren Mitgliedsstaaten das Ziel, das Expertenwissen, die Erfahrungen und die bisherigen Lehren aus den o. g. Ereignissen auf diesem Gebiet weltweit zu bündeln und in einem Bericht im Rahmen des Internationalen Projekts DAROD (Decommissioning and Remediation of Damaged Nuclear Facilities - DNF) bis 2017 verfügbar und nutzbar zu machen.

### **Arbeiten während der Workshops**

Nach vorbereitenden Arbeiten wurde mit dem Technical Meeting (TM) im Januar 2015 der Start für das Projekt gesetzt, wobei in drei Arbeitsgruppen sowie im Plenum grundlegende Gedanken zu Inhalt und Struktur entsprechend den Terms of References (TOR) gesammelt wurden. Die allgemeinen Aussagen sollen anhand von Fallstudien (Case Studies - CS) dargestellt werden. Diese CS wurden in den verantwortlichen Ländern in einer jeweiligen Rohfassung erstellt und auf einem späteren Technical Meeting diskutiert. Des Weiteren wurden Kriterien zur inhaltlichen und formalen Vereinheitlichung der CS formuliert sowie die Grundstruktur des Endberichtes erstellt. Ein erster Entwurf des Endberichtes vom Januar 2016 wurde während des Consultancy Meetings Ende August 2016 weiter verfeinert und diente als Grundlage für die Endversion. Das abschließende Treffen fand im Oktober 2017 in Großbritannien (bei Sellafield) statt. Beim Abschluss-treffen wurde der finale Entwurf des Endberichts qualitativ verbessert und Kurzfassungen von Fallstudien vereinheitlicht, sowie deren Langfassungen überprüft.

Die Arbeiten wurden in drei Arbeitsgruppen abgehalten, die sich mit:

- Regulatorischen Angelegenheiten
- Technischen Angelegenheiten und
- Strategischer Planung

befassten. In Plenarsitzungen wurden die Ergebnisse zusammengetragen und ausgetauscht. Die GRS war in der Gruppe zu technischen Angelegenheiten vertreten.

Bisher wurde noch kein offizieller Bericht zu den DAROD-Ergebnissen durch die IAEA veröffentlicht. Der GRS liegt ein weitgehend fertiger Entwurf des DAROD-Abschlussberichts vor /IAE 17/, auf welchen für detaillierte Informationen verwiesen wird. Wichtiger Bestandteil des finalen Berichts (bzw. dessen Anlage) sollen Fallstudien sein, die der GRS separat im Entwurfsstadium vorliegen, nämlich zu folgenden Anlagen:

- Fukushima Daiichi NPS, Japan,
- Three Mile Island NPP, Unit 2, USA,
- Chernobyl NPP, Unit 4, Ukraine,
- A1 NPP, Slowakei
- First Generation Magnox Storage Pond, Sellafield, UK,
- Marcoule nuclear site, Frankreich,
- IUGR Reactors, Russland.
- Al Tuwaitha, Irak.

Die Fallstudien geben den Hergang der Ereignisse wieder, die zu der Beschädigung der jeweiligen Anlage geführt hat. Auch Länder wie Deutschland, die nicht von derartigen Situationen betroffen sind, können deshalb Schlussfolgerungen ziehen um in der Zukunft diese vermeiden zu können.

In den Arbeitsgruppen wurden folgende Schlussfolgerungen erarbeitet /IAE 17a/:

### **Regulatorische Arbeitsgruppe**

Schwere Unfälle können ein Anstoß für Veränderungen des regulatorischen Systems sein. Ein risikobasierter Ansatz, der aktuelle und Langzeit-Risiken gegeneinander aufwiegt, kann dem Betreiber ermöglichen, sich auf die höchsten Risiken zu konzentrieren. Unsicherheiten im Zusammenhang mit einer beschädigten oder vernachlässigten

Anlage verbunden sind, erfordern Änderungen an Stilllegungsplänen. Den notwendigen Schutz sicherzustellen kann nach einem Unfall herausfordernd sein, wenn es unmöglich ist, Menge, Ort und Form des Inventars zu inspizieren (z. B. bei einem geschmolzenen Reaktorkern). Wenn der Endzustand nicht klar definiert ist, können die endgültigen Stilllegungspläne schwer zu entwickeln sein. Unerreichbare Stilllegungsziele verzögern die Stilllegung und können unökonomisch sein. Die Freigabe von Abfällen ist bei beschädigten Anlagen mit besonderen Vorbehalten in Politik und Öffentlichkeit behaftet (erkennbar in Tschernobyl und Fukushima).

### **Technische Arbeitsgruppe**

Die grundsätzlichen Herangehensweisen zur Charakterisierung beschädigter und vernachlässigter Anlagen sind die gleichen wie für normale Anlagen, ihre Anwendung und die resultierenden Daten dürften sich jedoch signifikant unterscheiden. Die Fallstudien zeigen, dass die verfügbaren Charakterisierungs-Technologien nicht in jedem Fall mit den hohen Ortsdosisleistungen harmonieren, Anlagen nicht zugänglich sind und ggfs. neue Gefahren entstehen. Entsprechend ist die Entwicklung von Nicht-Standard-Technologie erforderlich. Techniken zur Beprobung von Luft, Wasser, Land und Grundwasser und Überwachung könnten unter Umständen nicht anwendbar sein. Wenn wichtige Sicherheitssysteme nicht mehr verfügbar sind, sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich, beispielsweise der Bau einer neuen Schutzhülle, um die Stilllegung zu unterstützen.

Bei Kontamination der Umwelt kann es nötig sein, Sperrzonen einzurichten.

Für ein erfolgreiches Abfallmanagement erfordert ein gutes Verständnis der Charakteristik und des Ursprungs der Abfälle. Möglicherweise entstehen auch neue Abfalltypen, die nicht mit den bisherigen Anforderungen oder den Annahmebedingungen kompatibel sind. Neue Abfallbehandlungsmethoden müssten ggfs. entwickelt werden. Beschädigter Kernbrennstoff muss mit Blick auf radiologische Gefahren gehandhabt bzw. entfernt werden können. Der Einsatz von Robotern bzw. fernhantierter Technologien kann notwendig sein um schwer erreichbare oder gefährliche Bereiche zu erreichen.

Dekontaminationstechniken dürften weithin identisch sein zu nicht beschädigten Anlagen, allerdings können ungewöhnliche Beiprodukte und Sekundärabfälle entstehen, die andere Eigenschaften aufweisen als normal.

### **Arbeitsgruppe strategische Planung**

Vor-Unfall-Strukturen und Beziehungen zwischen Regierung, Abfallproduzenten, Abfall-Management-Organisationen und Behörden sind möglicherweise für die neue Situation

nicht geeignet oder passend. Unter Umständen übernimmt die Regierung die Kontrolle über die Anlage vollständig, auch weil der Betreiber das Vertrauen von Bevölkerung und Behörden (und weiterer Interessengruppen) verloren hat. Eine Umorganisation wurde in vielen Fallstudien geschildert.

Um mit der neuen Situation umzugehen sind in der Regel zusätzliche finanzielle Mittel notwendig, die von Betreibern und Zulieferern, Kunden, dem Steuerzahler oder in einigen Fällen durch internationale Spenden beigebracht werden können.

Neue Abfallmanagement- und Stilllegungsstrategien und ggfs. neue Gesetze und politische Ausrichtung können vonnöten sein und neue Endlager müssten gefunden werden. Dieses fordert die bestehende Infrastruktur heraus.

Bereits vor einer Beschädigung sollten Pläne für einen möglichen Endzustand vorliegen, die die Möglichkeit für eine eingeschränkte Nachnutzung vorsehen. Eine uneingeschränkte Nachnutzung erreichen zu können, kann unrealistisch sein.

Entschädigungen für die betroffenen Bevölkerung sollten vorgesehen werden. Außerdem sollten sich Unternehmen wirtschaftlich erholen können und ihr Name langfristig nicht nur mit der beschädigten oder vernachlässigten Anlage assoziiert werden.

Im DAROD-Bericht wird insgesamt zusammengefasst:

Es existieren deutliche Unterschiede zwischen der normalen Stilllegung und der Stilllegung von Anlagen nach einem Unfall, auf die eingegangen wird. Erfahrungsberichte sind vielfach bereits verfügbar, so dass erweitertes Wissen über die Stilllegungsaktivitäten nach einem Unfall vorliegt. Nicht in allen Ländern liegen dagegen Regularien vor, die spezifisch sind für die Stilllegung nach Unfällen. Auf Grund der notwendigen angepassten Strategien und Planungen wird ein spezifisches Stilllegungs- und Sanierungsprogramm als notwendige Anforderung angesehen. Dazu sollte ein ganzheitlicher Plan entwickelt werden, der sowohl die Stilllegung als auch das Abfallmanagement umfasst.

#### **4.1.2 COMDEC**

##### **Überblick**

Derzeit wird eine Vielzahl von Stilllegungsprojekten in den IAEA-Mitgliedsstaaten durchgeführt, die sich ihrem Abschluss nähern. Die Erfahrungen in Bezug auf die Endphase der Stilllegung, einschließlich der Definition für die Begriffe Endzustand, Standortsanierung nach der Stilllegung und Demontagemaßnahmen, Strahlenüberwachung, Vorbereitung und Vorlage der abschließenden Stilllegungsdokumentation bei der

Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde, das Gutachten der Aufsichtsbehörde und die formale Entscheidung über die Standortabnahme sowie die Definition der behördlichen Kontrolle im Falle von Abnahmebeschränkungen sind immer noch sehr begrenzt. Benötigt wird eine Plattform für die Diskussion, den Wissens- und Erfahrungsaustausch sowie die Weitergabe von bewährter Praxiserfahrung.

Die IAEA hat eine solche internationale Plattform ("community of practice") durch die Initiierung des Internationalen Projektes zur Beendigung der Stilllegung (International Project on Completion of Decommissioning – COMDEC) geschaffen. Das Projekt COMDEC, das von zwei Abteilungen der IAEA für Strahlenschutz und Reaktorsicherheit (Departments of Nuclear Safety and Security – NSRW) gemeinsam mit der Abteilung für Kernenergie (Departments of Nuclear Energy – NEFW) ins Leben gerufen wurde, hat sein erstes Technisches Meeting vom 24.-28. September 2018 im Hauptsitz der IAEA durchgeführt. Hierzu wurde ein Reisebericht angefertigt, auf den für detailliertere Informationen verwiesen wird /IMI 19/.

Das Projekt ist auf den Endzustand nach dem Stilllegungsprozess von Strukturen, Systemen und Komponenten am Standort, die demontiert worden sind, ausgerichtet. Es zielt hauptsächlich ab auf die Gebäude und Standortgelände der Anlagen, deren Stilllegung unter normalen Bedingungen erfolgt ist. Das Sanierungsverfahren außerhalb des Geländes (off-site remediation) ist grundsätzlich nicht im Aufgabenspektrum des Projektes enthalten. Hierbei werden verschiedene Endzustände betrachtet, angefangen von der uneingeschränkten Freigabe des Standortes bis hin zu Standortzuständen, die unter behördliche Kontrolle gestellt werden müssen. Der Endzustand beschränkt sich nicht nur auf die Oberflächenkontamination, sondern kann auch unterhalb der Oberfläche bestehende Kontaminationen beinhalten. Das Projekt bezieht sich auch auf den Inhalt sowie die Dauer der behördlichen Tätigkeiten bis zur Entlassung einer Anlage oder von Anlagenteilen aus der atomrechtlichen Überwachung bzw. die verschiedenen Formen der behördlichen Kontrolle einer beschränkten Standortfreigabe.

Zielsetzung des COMDEC-Projektes ist es, einen systematischen Überblick über die weltweiten Erfahrungen zu geben. Das Projektziel ist es, die IAEA-Mitgliedsstaaten bei ihren Aktivitäten hinsichtlich der Beendigung des Stilllegungsprozesses, der Standortfreigabe und der Einführung der behördlichen Kontrolle zu unterstützen. Der Projektbericht wird auch Informationen für die bevorstehende Revision des IAEA Safety Guide WS-G-5.1 "Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices" liefern. Das neue IAEA-Projekt basiert unter anderem auf Arbeiten, die im Rahmen des

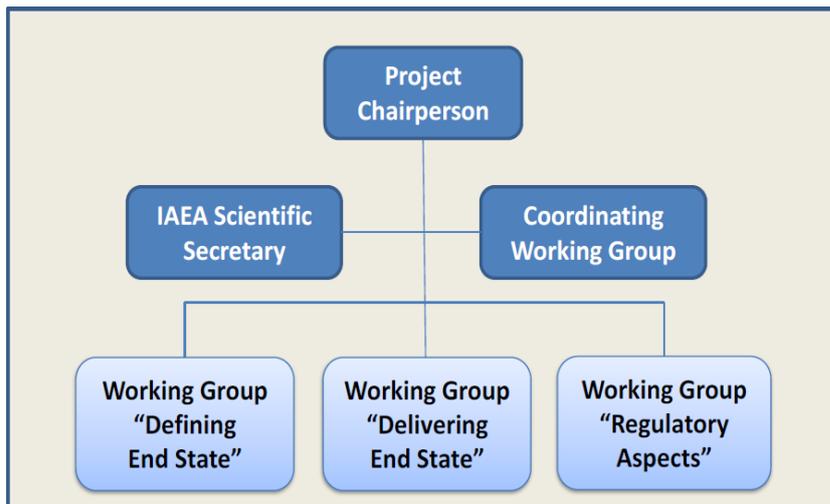
Internationalen Projektes DAROD (Decommissioning and Remediation of Damaged Nuclear Facilities) durchgeführt worden sind, bei dem ein breites Spektrum von Fragen zur Stilllegung von historischen und durch Unfälle beschädigten kerntechnischen Anlagen untersucht wurde. Das erste Meeting wurde eröffnet mit der Vermittlung von Hintergrundinformationen. Und auch der Kontext des COMDEC-Projektes wurde von Herrn Vladan Ljubenov erläutert. Erörtert und diskutiert wurden bereits vorhandene Informationen zum Thema Stilllegungsabschluss und dazu relevante Veröffentlichungen der IAEA. Umfang und Gegenstand des COMDEC-Projektes wurden ausführlich diskutiert und potentielle Querverweise und Überlappungen zu anderen Projekten herausgearbeitet (DERES-Project (Definition of Environmental Remediation End States) of NEFW on remediation end states).

Die an der Konsultation Beteiligten stellten Präsentationen ihrer nationalen Herangehensweisen, Strategien und Reglements sowie ihre praktischen Erfahrungen hinsichtlich der Standortsanierung (site cleanup) und Standortfreigabe seitens der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden vor. Dies bildete im Verlauf dieser Woche die Grundlage für eine detaillierte Diskussion hinsichtlich der technischen und regulatorischen Aspekte, die von diesem Projekt abgedeckt werden sollen.

Die Beratungsgruppe machte den Vorschlag, drei Arbeitsgruppen für eine detaillierte Diskussion der drei folgenden Schwerpunkte einzurichten:

- WG 1 – Definition des Endzustandes der Stilllegung (Definition of decommissioning end state);
- WG 2 – Fertigstellung des Endzustandes (Delivering the end state);
- WG 3 – Regulatorische Aspekte, einschließlich Standortfreigabe und behördliche Kontrolle (Regulatory aspects, including release of sites and institutional controls).

Es wurde eine Koordinations-Arbeitsgruppe (CWG) zur Abstimmung des Projektes eingerichtet. Zu dieser Gruppe gehören der Vorsitzende des Projektes, die Projektleiter und stellvertretenden Projektleiter der einzelnen Arbeitsgruppen und der wissenschaftliche Sekretär der IAEA. Die Projektstruktur ist in Abb. 4.1 illustriert.



**Abb. 4.1** COMDEC-Projektstruktur

Das Projekt wird begleitet durch jährlich stattfindende Meetings (einschließlich Plenartagungen und Sitzungen der Arbeitsgruppen). Als Erweiterung soll sich die CWG-Gruppe darüber hinaus separat von den Jahres- und Arbeitsgruppenmeetings zusammenfinden.

Die Arbeitsgruppen werden sich während der jährlichen Projekt-Meetings und im Verlauf der zwischengelagerten Veranstaltungen begegnen. Die Aktivitäten können dann die jeweils im eigenen Land durchgeführten Arbeiten beinhalten, die dann mit der Zielsetzung analysiert werden, Beiträge zu den einzelnen Ergebnissen der jeweiligen Arbeitsgruppe zu liefern. Aus den nationalen Erfahrungen der IAEA-Mitgliedsstaaten resultierende hilfreiche Informationen und praktische Beispiele werden über elektronische Medien verfügbar sein.

Das Projekt strebt einen Informationsaustausch mit der OECD Nuclear Energy Agency's Working Party on Decommissioning and Dismantling (WPDD) und dem Committee on Decommissioning and Legacy Management (CDLM), die sich ebenfalls mit Fragen der Standortfreigabe und Standortsanierung befassen, an.

Die Projekt-Meetings sind für die Laufzeit von drei Jahren beginnend mit dem Technischen Meeting vom September 2018 geplant. Die jährlichen Meetings aller Arbeitsgruppen werden organisiert, um die Koordination der Projektaktivitäten und die Entwicklung der Beiträge zum Projektbericht zu unterstützen.

Das Projekt wird ein wertvolles Forum für den Erfahrungsaustausch und Know-How-Transfer zwischen den Ländern mit laufenden Stilllegungsprogrammen und den Ländern, die erst in der Planungsphase für die Einführung von Stilllegungsprogrammen sind, darstellen. Von allen Beteiligten wird erwartet, ihren Beitrag zu leisten, indem sie ihre

Erfahrungen aus Projekten oder auch bei der Einführung ihrer nationalen Reglements teilen und Beispiele für die Freigabe kerntechnischer Standorte von der behördlichen Kontrolle präsentieren. Die bereits für das erste Technische Meeting nominierten Teilnehmer sind dazu aufgefordert, ihre Beteiligung am Projekt bis zu seinem Abschluss im Jahr 2021 fortzusetzen.

### **Erstes Technisches Meeting**

Ziel des ersten Technischen Meetings war es, die Teilnehmer aus den IAEA-Mitgliedsstaaten vorzustellen, die Terms of Reference des Projektes sowie Gegenstand und Aufbau des Projektes zur Schaffung von Arbeitsgruppen (WG) innerhalb des Projektes zu beschreiben und den weiteren Werdegang zu definieren. Insgesamt nahmen 42 Teilnehmer aus 29 Ländern an dem Meeting teil. Unter den Teilnehmern waren Repräsentanten von Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden, von Betreiberorganisationen, und von TSOs (technical support organisations), die in die Beendigung des Stilllegungsprozesses für eine Vielzahl von kerntechnischen Anlagen und radioaktivem Material innerhalb der IAEA-Mitgliedsstaaten involviert sind.

Das Meeting wurde mit einer Einführung in das COMDEC-Projekt und einigen einleitenden Präsentationen zum Arbeitsbereich, der Einführung, Struktur und Gegenständen des Projektes durch den Projektleiter Jack Parrott, eröffnet /PAR 18/. Anschließend wurden die einzelnen Arbeitsgruppen vorgestellt /FRA 18, KAU 18, MOR 18/. Der IAEA Scientific Secretary, Vladan Ljubenov, hat die jüngsten Entwicklungen der IAEA zum Thema Stilllegung zusammengefasst /LJU 18a/. Informationen bezüglich relevanter IAEA-Projekte und unterstützender Plattformen (wie z. B. das International Decommissioning Network (IDN) /OSU 18/ und das IAEA CONNECT System /MAT 18/) sowie Aktivitäten der OECD/NEA WPDD /CLA 18/ wurden ebenfalls gegeben.

Ein internetgestützter Projektraum unter der IDN/CONNECT-Plattform wurde zur Förderung der elektronischen Zusammenarbeit und für den Informationsaustausch eingerichtet.

Die meisten Teilnehmer hielten Präsentationen über die Endphase der Stilllegung und den Erfahrungsstand bezüglich ihres Staates. Dann teilten sich die Teilnehmer selbst in drei Arbeitsgruppen ein, die zuvor auf der Sitzung der Beratungsgruppe benannt wurden. Die Teilnehmer der einzelnen Arbeitsgruppen begannen dann parallel zueinander mit der Diskussion über ihre in den Staaten gesammelten Erfahrungen zu dem jeweiligen

Thema ihrer Arbeitsgruppe. Darüber hinaus formulierten die Teilnehmer der WGs Inhalt und Struktur des Beitrags ihrer Arbeitsgruppe zum Gesamtbericht zum COMDEC-Projekt. Das Resultat jeder WG stellte einen Input für das Gesamtprojekt des Arbeitsplans und den Zeitplan für die Zwischenmeetings der WGs sowie die Jahres-Meetings bis zur Fertigstellung des Projektes in drei Jahren dar. Das Projekt wird mit Vorlage des Abschlussberichtes zur Veröffentlichung abgeschlossen sein.

### **Schlussfolgerungen**

Es wurde geschlussfolgert, dass das COMDEC-Projekt eine notwendige Plattform ist, um mit der Sammlung von Erfahrungen, Erkenntnissen und Wissen in Bezug auf die Endphase der Stilllegung in den IAEA-Mitgliedsstaaten, sowohl derer, die bereits laufende Stilllegungsprogramme haben, als auch derer, die erst die Einführung von Stilllegungsprogrammen planen, zu beginnen.

Die Teilnehmer einigten sich auf Format und Struktur des Gesamtprojektes mit den jährlich stattfindenden Meetings aller Projektbeteiligten sowie den Zwischenmeetings der Projekt-Arbeitsgruppen. Das Projekt strebt auch einen Informationsaustausch mit der OECD Nuclear Energy Agency's Working Party on Decommissioning and Dismantling (WPDD) und dem Committee on Decommissioning and Legacy Management (CDLM) an, die ebenfalls Themen wie Standortfreigabe und Bereinigungsmaßnahmen behandeln, an.

Das nächste Zwischenmeeting der COMDEC-Arbeitsgruppen wird im Frühsommer 2019 (geplant für die zweite Juniwoche) und als nächstes die COMDEC-Gesamt-Plenarsitzung im September 2019 stattfinden.

Eine Mitarbeit seitens der GRS ist in dem geplanten Nachfolgevorhaben vorgesehen.

#### **4.2 Mitarbeit an Arbeitsgruppen der WPDD der OECD/NEA**

Im Laufe des Vorhabens wurde an Projekten der OECD/NEA aktiv mitgearbeitet. Die beiden Gruppen TGOM und TGPDF, in denen mitgearbeitet wurde, sind dabei der „Working Party on Decommissioning and Dismantling“ (WPDD) untergeordnet.

Sämtliche Taskgroups der WPDD, die von 2016 bis Ende 2018 existierten, sind:

- TGRCD (Task Group on Radiological Characterisation and Decommissioning)
- TGPFDD (Task Group on Preparing for Decommissioning during Operation and after Final Shutdown)
- DCEG (Decommissioning Cost Estimation Group)
- TGOM (Task Group on Optimising Management of Low-level Radioactive Materials and Waste from Decommissioning)
- Task Group on Regulation of Decommissioning or supporting the RWMC RF

Des Weiteren gibt es Gemeinschafts- und Kooperationsprojekte, beispielsweise mit der ISOE (International System on Occupational Exposure), IAEA und EC (Europäische Kommission) sowie anderen Gruppen der OECD/NEA, z. B. WGDECOM.

#### **4.2.1 TGOM**

Die OECD/NEA-Arbeitsgruppe der WPDD mit dem vollen Titel „Task Group on Optimising Management of Low Level Radioactive Materials and Waste from Decommissioning“ bestand von Anfang 2016 bis Ende 2018. Während der Laufzeit des Vorhabens war wechselnd ein GRS-Mitarbeiter Teilnehmer der Arbeitsgruppe. Es arbeiteten 28 Personen aus 10 Ländern sowie von der EC, der IAEA und NEA mit bzw. nahmen teil. Neben regelmäßigen Treffen der Mitglieder der Arbeitsgruppe fanden auch Telefonkonferenzen der Kapitelbeauftragten statt. Das Ziel des Berichts war es Entscheidungsträgern (Gesetzgebern, Behörden, Strategieentwicklern) ein übergeordnetes Dokument an die Hand zu geben, welches bei der Entwicklung und Anpassung von Strategien zur Optimierung des Managements von (V)LLW, der bei der Stilllegung anfällt, hilft. Dabei sollen verschiedene Faktoren der Optimierung während des radioaktiven Abfallmanagementkreislaufs betrachtet werden. Von der Erzeugung während des Abbaus bis zum Erreichen seines endgültigen Ziels (etwa Freigabe, Rezyklierung oder spezifische Freigabe zur Deponierung bzw. Endlagerung). Es sollte ein Fokus auf das Zusammenspiel von Schlüsselfaktoren und ihrer Abhängigkeiten gelegt werden. Dies wird erreicht indem das Thema von der Optimierung des Abfallmanagements betrachtet wird, während gleichzeitig Sicherheits- und Umweltziele ebenfalls optimiert werden.

Der TGOM-Abschlussbericht liegt der GRS in einer weitgehend fertigen Entwurfsversion vor /OEC 19/, auf den für detaillierte Informationen zu dem Projekt verwiesen wird.

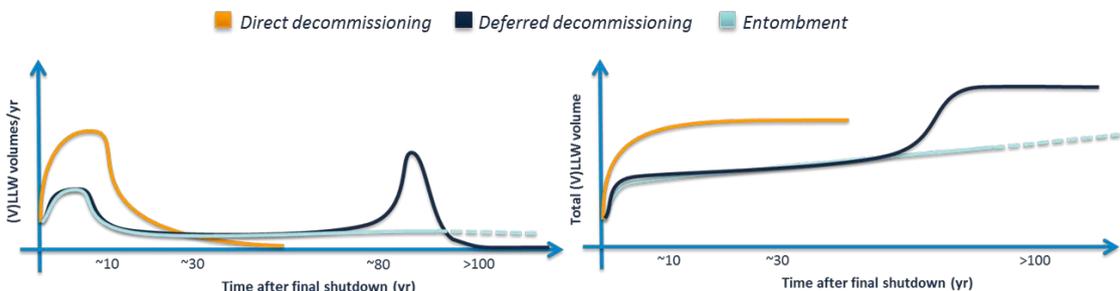
Im Folgenden werden die Grundzüge der Ergebnisse mit Blick auf die Vorhabensziele vorgestellt.

Der Bericht ist in fünf Kapitel untergliedert und enthält noch zwei umfangreiche Anhänge. Das erste Kapitel gibt eine kurze Einführung in die Thematik, die Zielsetzung der Arbeitsgruppe für den Bericht, den betrachteten Bereich und die Organisation des Berichtes.

Das zweite Kapitel gibt in umfangreichen Kapiteln den Hintergrund für den Bericht. So wird zuerst das Thema der (V)LLW Entstehung beim Abbau näher betrachtet. Dabei werden die international am meisten verbreiteten Abbaustrategien berücksichtigt und die dabei anfallenden relativen (V)LLW-Volumenverhältnisse verglichen.

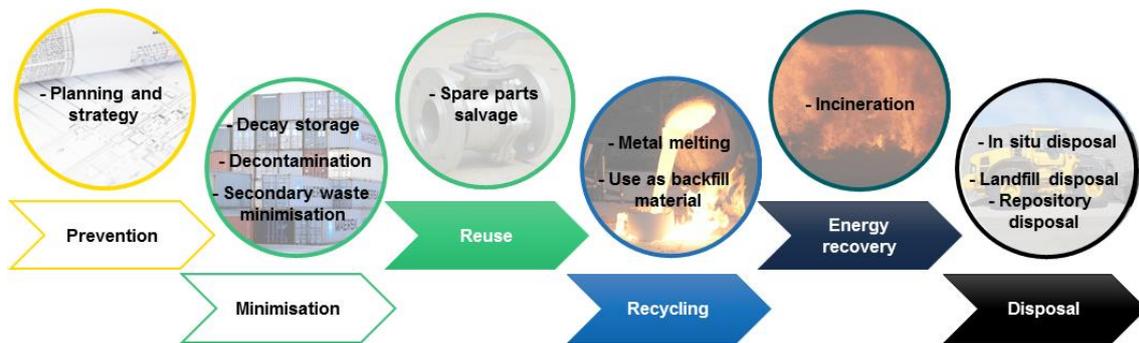


**Abb. 4.2** Graphen von verschiedenen Aspekten der Erzeugung von Stilllegungsabfällen während der verschiedenen Phasen eines Stilllegungsprojektes



**Abb. 4.3** Der Einfluss der Stilllegungsstrategie auf das (V)LLW Volumen

Anschließend wird das (V)LLW- Management näher betrachtet. Hier spielt die Abfallhierarchie von Vermeidung über Rezyklierung bis zur Endlagerung mit den entsprechenden Managementoptionen eine wichtige Rolle (siehe Abb. 4.4).



**Abb. 4.4** Die Abfallhierarchie von der am meisten zu der am wenigsten zu bevorzugenden Option (links nach rechts), zusammen mit verschiedenen Optionen für das (V)LLW Management bei jedem Schritt

Im Anschluss wird der Optimierungskontext angesehen. Hierbei werden verschiedene Faktoren und Einflüsse genannt, die das (V)LLW Management beeinflussen und für jeden Staat anders sind/ sein können.

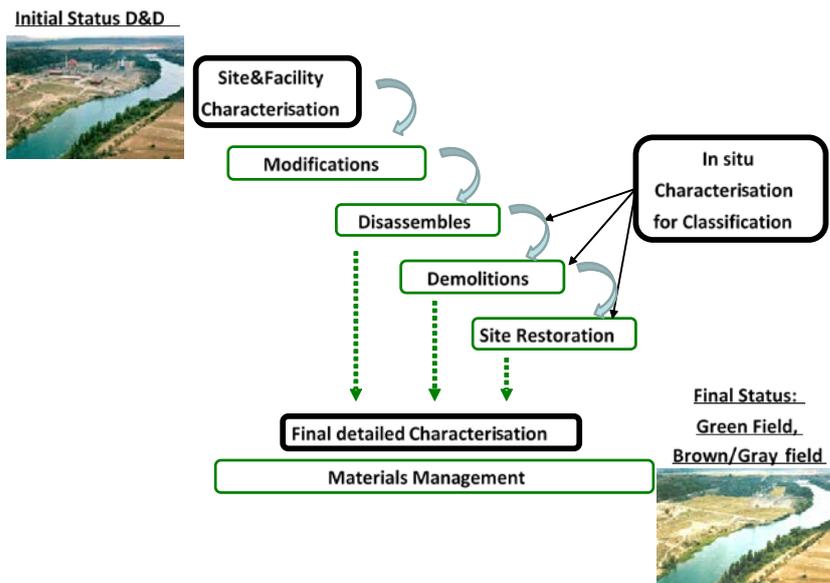
Abschließend zum zweiten Kapitel werden die „lessons learned“ und Erfolgs-/Misserfolgskriterien aufgeführt.

Das dritte Kapitel beschäftigt sich dann mit den Schlüsselfaktoren, die bei einem radioaktiven Abfallmanagement beachtet werden sollten, wenn man eine Optimierung bei der Stilllegung betrachten und durchführen möchte. Dies sind Sicherheit und Umweltaspekte, Charakterisierung, förderliche Infrastruktur, Stakeholder-Beteiligung und ökonomische und finanzielle Aspekte.

Jedes Unterkapitel ist in weitere Unterkapitel/-aspekte unterteilt und mit einigen Beispielaspekten unterfüttert.

So werden im Unterkapitel über Sicherheit und Umweltaspekte auch Themen wie Asbest-Management, unterirdische (Infra-)Strukturen, Reaktorgraphit und die spezifische Freigabe betrachtet.

Das Unterkapitel Charakterisierung betrachtet alle Schritte der Charakterisierung, die für das Abfallmanagement notwendig sind, von der Planung bis zur Nutzung/Entsorgung des (V)LLW (siehe Abb. 4.5).



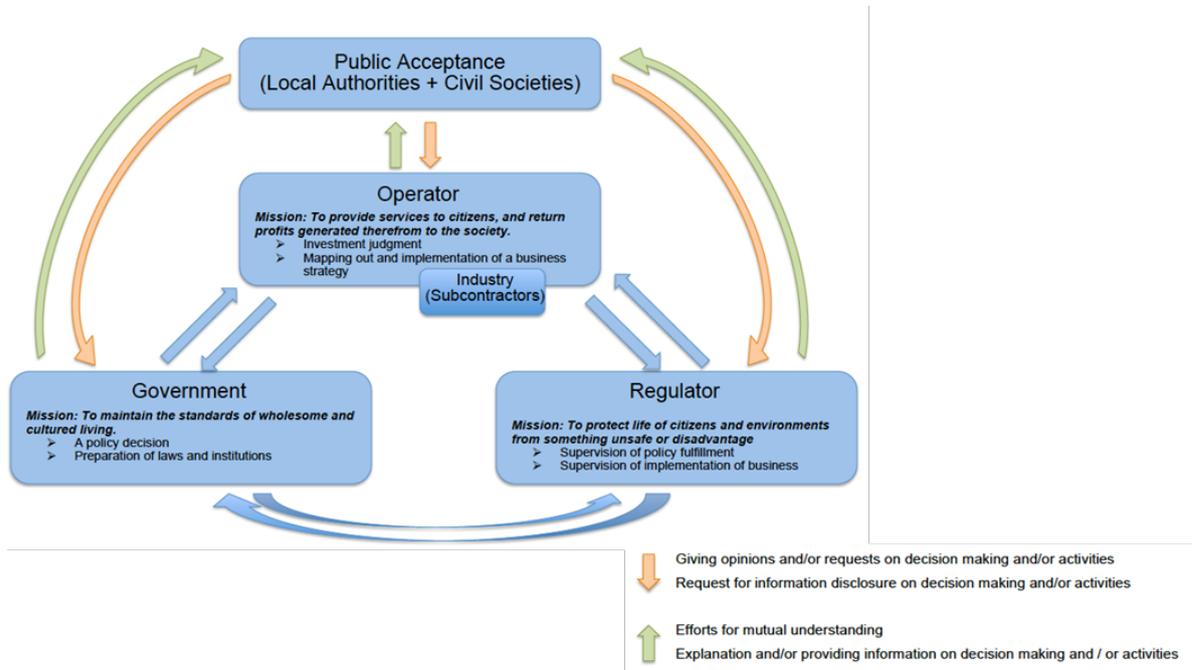
**Abb. 4.5** radiologische Charakterisierung Durchführung

Das Unterkapitel über die förderliche Infrastruktur betrachtet alle Phasen und Schritte eines (V)LLW Managements. Dies reicht von der Planung über die Behandlung und Verpackung zur Lagerung, Transport, Verantwortlichkeiten und Endlagerung (siehe Abb. 4.6).



**Abb. 4.6** Typischer (V)LLW Lebenszyklus

Im Unterkapitel zur Stakeholderbeteiligung werden die Themen der Identifikation von Beteiligten, verschiedene Methoden der Beteiligung und die Leitlinien zur Stakeholderbeteiligung besprochen. Es wird dabei auch auf verschiedene NEA-Publikationen verwiesen.



**Abb. 4.7** Identifikation von Stakeholder-Beteiligung

Im letzten Unterkapitel von Kapitel 3 werden die ökonomischen und finanziellen Aspekte die das (V)LLW Management beeinflussen näher betrachtet. Üblicherweise sind die Kosten für das (V)LLW Management pro m<sup>3</sup> nicht sehr hoch, aber durch den hohen Volumenstrom beim Abbau kommen doch große Summen zusammen und sind daher soweit möglich zu optimieren.

Im vierten Kapitel werden die Schlussfolgerungen aus den vorangegangenen Kapiteln zusammengefasst und in kontextübergreifenden Schlussfolgerungen dargestellt.

In Kapitel 5 werden mögliche zukünftige Arbeiten andiskutiert.

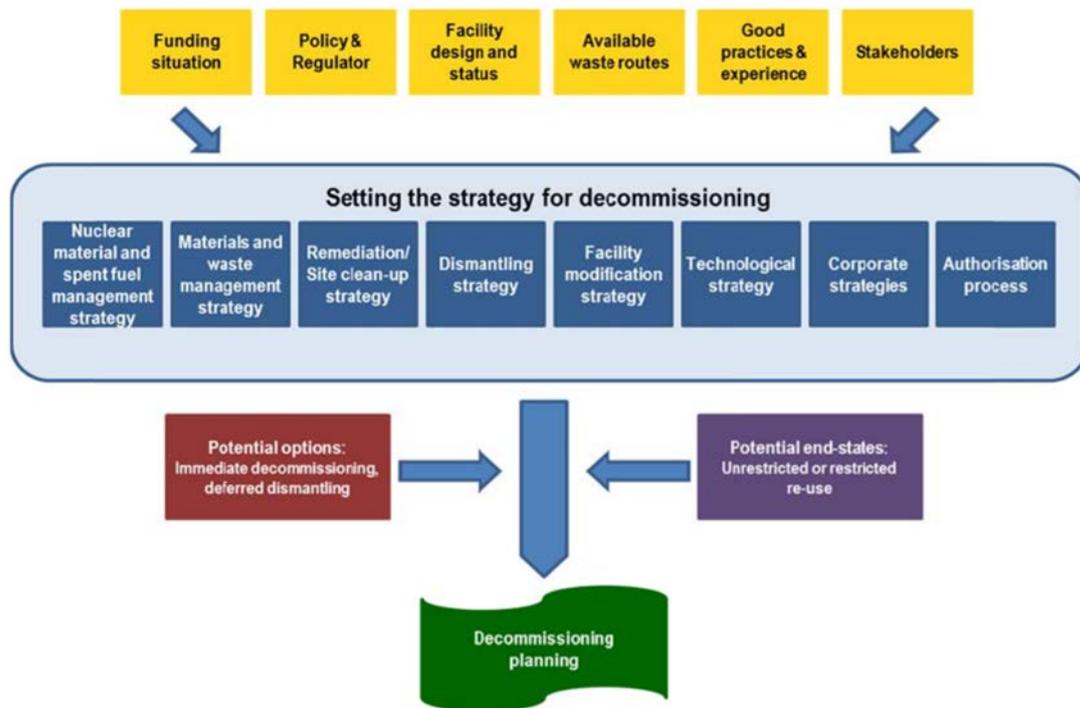
Der erste Anhang gibt die umfangreichen Ergebnisse einer Befragung der Mitgliedsländer zum jeweiligen Umgang mit radioaktiven Reststoffen und den jeweiligen Wegen der Optimierung wieder.

Im zweiten Anhang werden zwei Fallstudien als Beispiele einer Optimierung des Abfallmanagements im Sinne des Berichts aufgeführt, bei denen unterschiedliche Gewichtungen auf einzelne Aspekte des Berichts gelegt wurden. Das zeigt, dass es vom jeweiligen Projekt abhängig ist, an welchen Stellschrauben man optimieren kann.

#### **4.2.2 TGPFD**

Die OECD/NEA-Arbeitsgruppe der WPDD mit dem vollen Titel „Task Group on Preparing for Decommissioning during Operation and after Final Shutdown“ bestand von März 2015 und Dezember 2017. Während der Laufzeit dieses Vorhabens war ein GRS-Mitarbeiter Teilnehmer dieser Arbeitsgruppe und darüber hinaus ihr Vorsitzender („chair“), so dass gestalterisch an TGPFD mitgewirkt werden konnte. Es arbeiteten 27 Personen aus 10 Ländern mit. Neben regelmäßigen Treffen der Mitglieder der Arbeitsgruppe fanden auch mehrere Telefonkonferenzen statt. Ziel für den Abschlussbericht war, Beobachtungen und Empfehlungen zur Verfügung zu stellen, die im Zusammenhang mit der Entwicklung und Optimierung von Strategien und Plänen zur Vorbereitung der Stilllegung kerntechnischer Anlagen stehen. Damit sollen laufende und neue Stilllegungsprojekte unterstützt werden, finanzielle und Sicherheitsvorteile erschlossen und das Projektmanagement verbessert werden, so dass Stilllegungsziele im Zeitplan bleiben. Der TGPFD-Abschlussbericht /OEC 18/, welcher 2018 im Internet veröffentlicht wurde, liegt der GRS vor, auf den für detaillierte Informationen zu dem Projekt verwiesen wird. Im Folgenden werden die Grundzüge der Ergebnisse mit Blick auf die Vorhabensziele vorgestellt.

Der Bericht ist in sechs inhaltliche Kapitel gegliedert, erweitert um mehrere umfangreiche Anhänge. Nach einer Einführung, die die Ziele des Projektes beschreibt geht das folgende Kapitel um die Strategiesetzung für die Stilllegung. Dabei werden besondere Aspekte beleuchtet, die mögliche Hemmnisse oder Wegbereiter für jeweilige Strategien sein können. Danach geht es um die Einzelziele, die sich aus der strategischen Entscheidung ableiten lassen, unter anderem um das Abfallmanagement (Kernbrennstoff und Abbau-Abfälle), Flächensanierung, Abbaustrategie, die Anpassung der Anlage, den Einsatz von Technologien und den Genehmigungsprozess. Die relevanten Punkte, die in die Stilllegungsplanung eingehen, sind in Abb. 4.8 illustriert.



**Abb. 4.8** Übersicht über die Einflussfaktoren für den Übergang von Betrieb zur Stilllegung und die Stilllegungsplanung

Hinsichtlich der Abbaustrategie werden mehrere jeweils entgegengesetzte Herangehensweisen ins Spiel gebracht:

- Abbaureihenfolge, z. B.:
  - „Von heiß nach kalt“ gegen „von kalt nach heiß“
  - „Raum für Raum“ gegen „System für System“
- Zerlegung in Einbaulage gegenüber Ausbau und Versenden großer Komponenten
- Nutzung von Ersatzsystemen statt Betriebssystemen
- Herangehensweise bei der Zerlegung, größere oder kleinere Stücke
- Implikationen für Material und geeigneter Abfallverwaltungsanlagen (Verfügbarkeit und Ort, Zwischenlager)
- Rückzugsstrategie aus Räumen und der Einrichtung, Dekontamination, Freigabe

In Betracht zu ziehen ist auch die strategische Anpassung menschlicher Ressourcen an die Anforderungen der Stilllegung in ihrer jeweiligen Phase. Dabei ist zu beachten, dass auch für den sogenannten Restbetrieb Personal aus der Leistungsbetriebsphase nötig ist. Dieses wird auch benötigt zum Entladen der Brennelemente und für die Durchführung von Systemdekontaminationen (FSDs). Zugleich ist davon auszugehen, dass sich das Personal um die eigene berufliche Zukunft sorgt, was die Motivation mindern kann.

Auf der anderen Seite ist das Wissen und die Erfahrung des Personals, das während des Leistungsbetriebs angeeignet wurde, wertvoll für die Planung und Durchführung der Stilllegung. Das Betriebspersonal, das während der Stilllegung weiterarbeitet, muss für die neuen Risiken und Veränderungen ausgebildet werden, die die Anlage durchlaufen wird. Die Stilllegung erfordert eine passende Mischung aus erfahrenen Arbeitern mit Erinnerungen an die Betriebsphase und neuen Arbeitern mit Stilllegungserfahrung.

Die Menschliche-Ressourcen-Strategie sollte sicherstellen, dass es ein berechenbares Management von Angestellten gibt, mit Beachtung:

- Des Erhalts notwendiger Kompetenzen und Fähigkeiten für die jeweilige Anlage und ihrer verbleibenden Lebenszeit bis zur vollständigen Stilllegung
- Dass Nachschulungen von Angestellten sichergestellt werden, unter Berücksichtigung des individuellen Bedarfs
- Des Transfers von Kompetenzen und Erfahrungsrückfluss innerhalb der Organisation

Ein wichtiger Teil der Übergangsphase ist der Transfer von Wissen von der Betriebs- zur Stilllegungsorganisation. Dazu gehören auch Aufzeichnungen aus dem Betrieb, die für die Stilllegung wichtig sein könnten. Hierbei muss beachtet werden, dass Änderungen am Anlagendesign sowie betriebliche Vorkommnisse ggfs. nicht hinreichend mit aufgezeichnet wurden.

Neben dem internen Wissen kann Wissen auch auf Basis externer Lernerfahrung angeeignet werden. Die Erfahrung mehrerer NEA-Mitgliedsländer zeigt, dass häufig ältere Anlagen nicht so aufgebaut sind, wie in Zeichnungen dargestellt und dass Modifizierungen durchgeführt wurden, die nicht adäquat aufgezeichnet wurden.

Für Betreiber einer ganzen Flotte von Anlagen (wie auch im Falle der vier KKW-Betreiber in Deutschland) kann auch für die Stilllegung ein Flottenansatz genutzt werden. Dieser kann Stilllegungskosten optimieren indem in einigen Phasen in den Stilllegungsprojekten vergemeinschaftet werden können, z. B.:

- konzeptionell und allgemein technisch
- beim Abfallmanagement-Ansatz
- Einsatz spezieller Werkzeuge oder eines speziellen Prozessmanagements

Der Genehmigungsprozess kann ein- oder mehrphasig ablaufen. Dabei sollte die Genehmigungsstrategie auf der gewählten Stilllegungsstrategie basierend bestimmt werden. Eine Mehrphasen-Strategie könnte in folgenden Fällen zum Einsatz kommen:

- Für große und komplexe Projekte
- Im Falle des verzögerten Abbaus (Sicherer Einschluss)
- Wenn detaillierte Informationen für den endgültigen Stilllegungsplan für spätere Phasen noch nicht verfügbar sind.

Die Erstellung eines Antrags auf Stilllegungsgenehmigung sollte zeitig erfolgen und übermittelt werden um Verzögerungen in der Stilllegung zu vermeiden. Abhängig vom regulatorischen Rahmen kann der Stilllegungsantrag schon während der Leistungsbetriebsphase verschickt werden.

## Schlussfolgerungen

Strategiesetzung:

Ein Satz strategischer Entscheidungen muss von oberster Stelle der Organisation getroffen werden, die sich der Stilllegung zuwendet, betreffend:

- Kernbrennstoff-Management-Strategie
- Materialien und Abfall-Management-Strategie
- Sanierungs-Strategie
- Abbaustrategie
- Anlagen-Modifizierungs-Strategie
- Technologische Strategie
- Konzern-Strategien
- Genehmigungsprozess.

Die genannten strategischen Entscheidungen werden von verschiedenen Faktoren eingeschränkt bzw. beeinflusst, hauptsächlich:

- von der finanziellen Situation
- vom politischen und regulatorischen Rahmen
- vom Anlagendesign und Anlagenstatus
- von verfügbaren Routen für radioaktive Abfälle
- von verfügbaren Erfahrungen und
- von den Vorstellungen der Interessengruppen.

Während der Übergangsphase von Betrieb zur Stilllegung haben sowohl Behörden als auch Betreiber die Verantwortung, die Anlage in einem sicheren Zustand zu halten und geeignete Vorkehrungen zum Schutz von Bevölkerung und Umwelt zu treffen.

Für einen sicheren Übergang sollten folgende Schlüsselaspekte berücksichtigt werden:

- Frühe Konsultationen des Betreibers mit allen zuständigen Behörden;
- Regulatorische Erwartungen klar feststellen und den Antragsprozess vor dem Übergang in die Stilllegung bestimmen;
- Die Rollen aller am Genehmigungsprozess beteiligter Behörden klären und regulatorische Anforderungen und Kriterien zwischen ihnen harmonisieren;
- Ein frühes Engagement aller Interessengruppen initiieren;
- Anpassung des regulatorischen Ansatzes an das sich verändernde Risikoprofil während der Übergangsphase und flexibel bleiben um diese Veränderungen geeignet anzugehen.

Hinsichtlich der Einbindung von Interessengruppen wird folgendes festgehalten:

Eine frühe und effektive Einbindung von Interessengruppen und die Information anderer interessierter Parteien ist obligatorisch um Vertrauen innerhalb der Gesellschaft zu bilden und frühes Zutrauen in das Stilllegungsprojekt zu schaffen.

Eine klare Definition der beabsichtigten Zwischen- und Endzustände des Stilllegungsprojekts ist die Basis für die Kommunikation mit Interessengruppen, neben den getroffenen strategischen Entscheidungen die Stilllegung der Anlage vorzubereiten. Es sollte ein Plan zur Einbindung von Interessengruppen etabliert werden, der eine Strategie zur Identifikation von Interessengruppen beinhaltet und der auf einer klaren Kommunikationsstrategie basiert. Ein Programm zur Information der Öffentlichkeit sollte vorgesehen werden, welches verschiedene Medien nutzt.

Wichtig ist auch den interessierten Gruppen zu erklären, dass ihr Einfluss begrenzt ist und dass der Genehmigungsinhaber, der die Verantwortung für die Durchführung der Stilllegung trägt und sich an die regulatorischen Anforderungen zu halten hat, das Recht hat, Entscheidungen in eigener unternehmerischer Verantwortung zu treffen.

Der Übergang von Leistungsbetrieb zur Stilllegung erfordert ferner einen Übergang der Organisationsstruktur, welche der Stilllegungsstrategie angepasst sein sollte. Verschiedene NEA-Mitgliedsländer haben dazu verschiedenen Modelle eingesetzt. Typischerweise wird entweder die Stilllegung vom Lizenzzeigner selbst, oder von beauftragten Unternehmen durchgeführt. In Deutschland ist eine vollständige Übertragung der Verantwortung an einen Dritten möglich und wurde bei der Anlage KNK-II praktiziert.

Diese Vorgehensweise hat sich aus wirtschaftlichen Gründen allerdings nicht durchgesetzt.

Die Vorbereitung für den Übergang der Organisation sollte frühzeitig erfolgen und dabei die Anwesenheit und Erfahrung des Betriebspersonals nutzen. Ausbildungsaktivitäten sollten auf die spezifischen notwendigen Kompetenzen für die Stilllegung zugeschnitten werden.

Die Stilllegungsorganisation sollte Management-Systeme installiert haben, die auch Arbeits-Management-Prozesse beinhaltet. Die Erfüllung der Management-System-Anforderungen können für die Stilllegung mit Hilfe eines angepassten Qualitätssicherungsplans dokumentiert werden. Die Dokumentation des Management-Systems sollte durch nationale Behörden überprüft und an die Anforderungen angepasst werden.

### **4.3 Erfahrungsaustausch und Hospitationen bei ausländischen Projekten**

#### **4.3.1 Erfahrungsaustausch zur Abbauplanung im schweizerischen Kernkraftwerk Mühleberg**

Ein Mitarbeiter der GRS hat vom 17. bis 19. August 2017 eine Hospitation beim Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz durchgeführt. In Diskussionen mit für die Planung der Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg zuständigen Personen und durch Begehungen des Kernkraftwerks konnten insbesondere Eindrücke zu geplanten Maßnahmen zum Rückwirkungsschutz von Abbaumaßnahmen auf die zu Beginn der Stilllegung und des Abbaus noch im Kernkraftwerk befindlichen Brennelemente sowie zum Reststoff- und Abfallkonzept gewonnen werden.

Es wurde hierzu ein Erfahrungsbericht angefertigt /DEW 17a/, auf den für detaillierte Informationen verwiesen wird.

Es wurden Erkenntnisse insbesondere zu folgenden Punkten gewonnen:

- zum Stilllegungsverfahren in der Schweiz (Bewilligungsverfahren)
- zur radiologischen Situation im Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)
- zur Abbauplanung
- zum Stilllegungsablauf unter Stilllegungsverfügung
- zum Finanzierungsmodell der Stilllegung in der Schweiz.

Die Erkenntnisse werden kurz zusammengefasst dargestellt.

Ende 2019 soll das KKM nach 47 Jahren Betriebszeit endgültig abgeschaltet und abgebaut werden. Damit ist es das erste Stilllegungsprojekt eines kommerziell betriebenen Leistungsreaktors in der Schweiz. Somit wird auch das Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren erstmalig für eine solche Anlage durchlaufen, insbesondere nach Inkrafttreten des Kernenergiegesetzes (KEG) /KEG 03/ und der Kernenergieverordnung (KEV) 2005.

Das Stilllegungsgesuch mit den erforderlichen Unterlagen zum Stilllegungsprojekt wurde bereits am 18. Dezember 2015 eingereicht. Nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebes (EELB) soll eine ca. einjährige Nachbetriebsphase erfolgen, welche mit Etablierung des Technischen Nachbetriebs (ETNB) bezeichnet wird, die zur Aufgabe hat, die Kühlung der Brennelemente (BE) sicherzustellen und die geplanten Abbauarbeiten auf Rückwirkungsschutz gegenüber der BE-Kühlung zu untersuchen. Die ETNB soll 2020 durch die endgültige Außerbetriebnahme (EABN) in die Abbauphase übergehen. Kernbrennstofffreiheit soll im Jahr 2024 erreicht werden, sodass gemäß derzeitiger Planung bereits mit Abbaumaßnahmen begonnen wird, wenn sich noch Brennelemente im Brennelementlagerbecken befinden. Das Kraftwerksgelände soll nach Abschluss des nuklearen Abbaus im Jahr 2030 frei von radioaktivem Material sein, sodass nach der behördlichen Freigabe in den folgenden Jahren der konventionelle Abriss erfolgen soll.

### **Stilllegungsverfahren in der Schweiz am Beispiel KKM**

Der Eigentümer einer kerntechnischen Anlage ist über Artikel 26 des KEG verpflichtet, diese nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebes stillzulegen. Hierfür ist das Einreichen eines Stilllegungsgesuches durch den Eigentümer erforderlich. Gemäß Art. 27 des KEG muss das Stilllegungsgesuch das sogenannte „Stilllegungsprojekt“ darstellen. Das Stilllegungsprojekt setzt sich aus den folgenden einzureichenden Unterlagen zusammen:

- Hauptbericht „Stilllegungsprojekt“
- Bericht zu Störfallbetrachtungen und Notfallschutzmaßnahmen (Teilbericht 1)
- Umweltverträglichkeitsbericht (Teilbericht 2)
- Bericht zur Sicherung (Teilbericht 3)

Anhand dieser Unterlagen muss das Bundesamt für Energie (BFE) als Bewilligungsbehörde und sein Gutachter, das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) in

der Lage sein, zu entscheiden, ob das geplante Stilllegungsvorhaben gesetzeskonform ist und welche Arbeiten durch das ENSI als Aufsichtsbehörde freigabepflichtig sind. Des Weiteren wird das Gesuch mit den enthaltenen Berichten der Öffentlichkeit präsentiert, sodass auf dieser Grundlage Einwendungen erhoben werden können.

Gemäß der Kernenergieverordnung (KEV) müssen neben den Themen der drei Teilberichte folgende Inhalte erläutert werden:

- Phasenkonzept
- Schritte des Abbaus
- Trennung radioaktiver und nicht radioaktiver Abfälle und die Entsorgung
- Maßnahmen zum radiologischen Schutz (Strahlenschutz)
- Personal und Organisation
- Qualitätsmanagementprogramm
- Gesamtkosten und Finanzierung

Die Anforderungen des KEV werden im untergesetzlichen Regelwerk durch die Richtlinie ENSI-G17 konkretisiert /ENS 14/.

Im Fall von KKM hat die Betreiberin BKW Energie AG das Stilllegungsgesuch bereits Ende 2015 eingereicht, damit bei der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebes (EELB) die Stilllegungsverfügung vorliegt. Das Stilllegungsprojekt von KKM soll in drei Stilllegungsphasen (SP 1 bis SP 3) unterteilt werden, für die jeweils im Rahmen des Aufsichtsverfahrens eine Freigabe durch das ENSI benötigt wird.

### **Radiologisch wichtige Anlagenkomponenten**

Im Zuge der radiologischen Charakterisierung in Vorbereitung auf den Abbau wurden u. a. Aktivierungsberechnungen (MCNP Modellierungen) durchgeführt. Diese Berechnungen konnten durch Neutronenflussmessungen validiert werden, welche schon frühzeitig initiiert wurden.

Tab. 4.1 gibt eine Abschätzung der Aktivierungen wieder. Für verschiedenen Aktivierungsbereiche wurden die mittleren nuklidbezogenen Aktivitäten berechnet. Nach derzeitiger Einschätzung können die Betonstrukturen, die das Drywell umgeben, zum größten Teil einer Freigabe (ggf. nach der gesetzlich vorgegebenen Frist zur Maximaldauer einer Abklinglagerung) zugeführt werden, während der Stahl liner und die innenliegenden

Anlagenteile (Biologischer Schild, Reaktordruckbehälter und Einbauten) als radioaktiver Abfall entsorgt werden müssen. Allerdings befand sich die Strahlenschutzverordnung in der Schweiz in Revision und deren Inkraftsetzung, welche für Anfang 2018 vorgesehen war, liess erwarten, dass eine Neubewertung der freigabefähigen Massen notwendig sein könnte.

**Tab. 4.1** Eingangsdaten Aktivierungsbereiche Reaktordruckbehälter, Biologischer Schild und Drywell /BKW 16/

Komponente	Basis: 10 Jahre nach letzter Kritikalität		Basis: 30 Jahre nach letzter Kritikalität	
	Min. Aktivierung des Leitnuklids Co60 (Bq/g)	Max. Aktivierung des Leitnuklids Co60 (Bq/g)	Min. Aktivierung des Leitnuklids Co60 (Bq/g)	Max. Aktivierung des Leitnuklids Co60 (Bq/g)
<b>Reaktordruckbehälter-Einbauten</b>				
Dampftrockner	9,50E+00	1,90E+01	6,80E-01	1,40E+00
Wasserabscheider	5,80E+01	9,30E+05	4,20E+00	6,70E+04
Oberes Kernführungsgitter	1,30E+08	3,00E+08	9,70E+06	2,20E+07
Kernmantel	9,40E+07	9,40E+07	6,80E+06	6,80E+06
Wasserstrahlpumpen	1,90E+07	2,10E+07	1,40E+06	1,50E+06
Untere Kernstützplatte	6,50E+06	9,90E+07	4,70E+05	7,10E+06
<b>Reaktordruckbehälter</b>				
Behälter (Plattierung)	8,90E+00	1,80E+05	6,50E-01	1,30E+04
Isolierung	2,30E+01	2,20E+04	1,70E+00	1,60E+03
Deckel	4,60E+00	4,60E+00	3,40E-01	3,40E-01
<b>Biologischer Schild</b>				
Beton	9,80E-02	9,00E+02	7,10E-03	6,50E+01
Liner	1,90E+00	3,00E+04	1,40E-01	2,10E+03
<b>Drywell-Wand</b>				
Beton	2,20E-02	2,50E-01	1,60E-03	1,80E-02
Armierung	1,10E+00	1,20E+01	7,90E-02	8,40E-01
Drywell-Schale	2,30E+00	3,00E+01	1,60E-01	2,20E+00

In Vorbereitung auf den Abbau wurde darüber hinaus ein Konzept zur Probenahme erarbeitet, welches bereits in den letzten Betriebsjahren, insbesondere während Revisionszeiten, eine erste Bestimmung von Kontaminationen ermöglicht.

### Abbauplanung

Die Planungen zum Abbau des KKM wurden schon während der letzten Jahre des Leistungsbetriebes initiiert, um einen schnellen und reibungslosen Übergang vom Betrieb in die Stilllegung zu ermöglichen.

Zentrale Punkte der Planung stellt u. a. der Rückwirkungsschutz von Maßnahmen auf die Brennelemente dar, da geplant ist, mit Abbaumaßnahmen bereits zu beginnen, wenn sich noch Brennelemente im Brennelementlagerbecken befinden. Des Weiteren wurde bereits mit der Abbauplanung und der Planung der Reststofflogistik begonnen inkl. der hierfür benötigten Ausschreibungen und Beauftragungen von externen Zulieferern.

Nach derzeitigen Planungen wird das KKM im Jahre 2024 kernbrennstofffrei sein. Da jedoch bereits vorher mit Abbaumaßnahmen auch im Reaktorgebäude begonnen werden soll, muss ein Rückwirkungsschutz auf die Brennelemente im Brennelementlagerbecken gegeben sein. Derzeit wird geplant, welche technischen Maßnahmen hier zur Umsetzung ergriffen werden sollen.

Die Abbauplanung sieht grundsätzlich ein raumweises Arbeiten von oben nach unten vor. Der Materialtransport soll im Wesentlichen mit den bereits vorhandenen Infrastruktureinrichtungen erfolgen und aufgrund der beengten Platzverhältnisse mittels zusätzlich installierter Spindelbühnen, die in die bereits vorhandenen Öffnungen installiert werden sollen, unterstützt werden. Der Aufbau zusätzlicher Kräne ist hingegen nicht vorgesehen.

In einer digitalisierten Darstellung der Einbaulagen der Spindelbühnen sind deren Lastaufnahmen und Durchsätze hinterlegt, so dass beim Ausfall einer der Bühnen eine alternative Route für den Reststofffluss ermittelt und somit auch die Verzögerungszeit aufgrund des Ausfalls minimiert werden kann.

Die Behandlung der beim Abbau anfallenden Reststoffe soll vorwiegend im Maschinenhaus erfolgen. Vorbereitenden Maßnahmen sollen die nötigen Voraussetzungen schaffen, um die eigentlichen Stilllegungsarbeiten durchführen zu können. Dies umfasst nach aktueller Planung folgende Punkte:

- Entfernen von Bauteilen aus dem Maschinenhaus (Splitterschutzsteine usw.)
- Entfernen der Generatoren und Turbinen inkl. der jeweiligen Hilfssysteme
- Entfernen großer Einzelkomponenten (z. B. Vorwärmer)
- Aufbauen der Materialbehandlung
- Anpassen der Elektroanlagen

Diese Arbeiten sollen parallel zur ETNB erfolgen.

## **Geplanter Stilllegungsablauf unter Stilllegungsverfügung**

Die Stilllegung des KKM beginnt im eigentlichen Sinne 2019 mit der EELB. Es folgt die Etablierung des technischen Nachbetriebes, die vom ENSI verfügt wurde, um sowohl die sicherheitstechnischen Voraussetzungen für die Stilllegung zu schaffen und zu etablieren. Parallel zur Etablierung des technischen Nachbetriebes sollen vorbereitende Maßnahmen zur Stilllegung unter der noch laufenden Betriebsbewilligung stattfinden. Mit der EABN der Anlage soll die Stilllegungsverfügung vorliegen, sodass Stilllegungsphase 1 beginnen kann. Mit dem Erreichen der Meilensteine „Kernbrennstofffreiheit“ und „Aufhebung der Kontrollierten Zone“ beginnen entsprechend die Stilllegungsphase 2 und 3. Die Meilensteine sind nach den Schutzzielen

- Kontrolle der Reaktivität,
- Kühlung der Brennelemente,
- Einschluss radioaktiver Stoffe und
- Begrenzung der Strahlenexposition

ausgerichtet, die sich nach dem Erreichen der Meilensteine jeweils reduzieren.

Wie im Folgenden beschrieben wird, sollen substantielle Abbauarbeiten im Reaktorgebäude bereits vor Erreichen der Kernbrennstofffreiheit durchgeführt werden. Aus diesem Grund soll der technische Nachbetrieb, der im Wesentlichen das Schutzziel „Kühlung der BE“ sicherstellen soll, vor der endgültigen Außerbetriebnahme der Systeme etabliert werden, indem ein neues Kühlsystem aufgebaut werden soll. Zentrales Element dieses Kühlsystems ist ein Eintauchkühler, der das Brennelementlagerbecken (BEB) mit den Brennelementen kühlen soll.

Bei der Etablierung des technischen Nachbetriebes soll die auf den Leistungsbetrieb ausgelegte Anlage in einen langfristig sicheren abgeschalteten Zustand überführt werden. Die zentralen Arbeiten sind laut Planung das Entladen des Reaktordruckbehälters und die Inbetriebnahme einer autarken redundanten Brennelementlagerbeckenkühlung (Arbek). Die Realisierung des Arbek-Projektes ist Voraussetzung für die Sicherheit ab der EABN, da hierdurch die Rückwirkungsfreiheit auf die noch vorhandenen Brennelemente beim Abbau gewährleistet werden soll. Nach derzeitiger Planung ist mit der Kernbrennstofffreiheit Ende 2024 zu rechnen.

Das Arbek-Projekt hat folgenden Umfang:

- Betriebliche Kühlung des Brennelementlagerbeckens (BEB) und Anpassung an aktuelle Anforderungen
- Abfuhr der Nachzerfallswärme am BEB durch Eintauchkühler
- Redundante Kühlwasserpumpen und Zwischenkühler
- Rückkühlung über SUSAN-Kühlsystem
- Versorgung und Nachspeisung des BEB-Kühlsystems über Hochreservoir, weitere Hilfssysteme oder Feuerwehranschlussstutzen
- Ergänzung der Lagerbeckenschleuse durch redundanten Zusatzverschluss
- Schutz der mit Arbek verbundenen sicherheitsrelevanten Systeme vor Rückwirkungen aus Tätigkeiten in der Anlage.

Des Weiteren werden sicherheitsrelevante Systeme abgebaut, die nach dem EELB nicht mehr benötigt werden, und bewegliche Anlagenteile auf der Beckenebene +29 m entfernt (z. B. Dryweldeckel und Beckenriegel). Dies dient vor allem der Reduzierung des Gefährdungspotenzials durch Erdbeben und Lastabsturz und reduziert bereits das Aktivitätsinventar.

Während des technischen Nachbetriebs sollen im Rahmen der Stilllegungsphase 1 folgende Maßnahmen durchgeführt werden:

- Abtransport der Brennelemente
- Demontage des Torus inkl. Systeme
- Demontage Noteinspeisesysteme/Systeme zur Abfuhr der Nachzerfallswärme
- Demontage der Kerneinbauten
- Betrieb und ggf. Umbau der Materialbehandlung im Maschinenhaus

Phase 2 beginnt mit dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit, sodass nur noch die Schutzziele „Einschluss radioaktiver Stoffe“ und „Begrenzung der Strahlenexposition“ weiterhin einzuhalten sind. Im Einzelnen soll die Stilllegungsphase 2 die folgenden wesentlichen Abbauarbeiten enthalten:

- Demontage Arbek, Lagergestelle und Beckeneinbauten
- Demontage des RDB und des Biologischen Schildes
- Entfernen der Personen- und Materialschleuse
- Demontage der Drywelleinbauten und der Frischdampf- und Speisewasserleitungen, sowie des Drywellstahlliners
- Demontage der Liner von Einbautenbecken und Reaktorgrube
- Demontage des SUSAN-Systems
- Betrieb der Materialbehandlung und Gebäudedekontamination im Maschinenhaus
- Restdemontagen in allen anderen Kontrollierten Zonen auf dem Areal

Die dritte Stilllegungsphase beginnt, sobald alle Kontrollbereiche aufgehoben sind und endet zu dem Zeitpunkt, ab dem durch die Behörde festgestellt wurde, dass die Anlage keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt. Während der Stilllegungsphase 3 muss kein sicherheitstechnisches Schutzziel mehr erfüllt werden, es bleibt lediglich die Anlagensicherung vor unbefugter Einwirkung. Zum Erreichen des derzeit festgelegten Stilllegungszieles bedarf es nach Abschluss dieser Phase keiner weiteren Abbauarbeiten unter Überwachung gemäß KEG und Strahlenschutzgesetz (SSG). Es soll ein Abschlussbericht mit fertiggestellter Dokumentation übergeben werden. Terminiert ist dieser Zustand aktuell auf Ende des Jahres 2031.

## **Finanzierung der Stilllegung**

Die Finanzierung von Stilllegung und Entsorgung von Kernanlagen ist in der Schweiz über das KEG und die Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung (SEFV) geregelt. Der Eigentümer einer Kernanlage ist verpflichtet, die voraussichtlichen Kosten in zwei staatlich kontrollierte Fonds einzuzahlen (Stilllegungsfonds und Entsorgungsfonds). Die Pflicht zur Stilllegung und Entsorgung bleibt, unabhängig der in den Fonds angesparten Mitteln, bei den Eigentümern der Anlage. Damit besteht lediglich das Risiko, dass die Fondsmittel für die Durchführung aller Maßnahmen des Fondzweckes nicht genügen. Da der Betreiber jedoch die Gesamtverantwortung trägt, ist sichergestellt, dass sämtliche anfallende Kosten von diesem getragen werden. Die durch den Eigentümer zurückgelegten Mittel stehen zum benötigten Zeitpunkt zur Verfügung /BKW 16/. Gemäß SEFV erfolgt alle fünf Jahre eine Schätzung der voraussichtlichen Kosten /SEF 08/.

## **Zusammenfassung**

Die Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg ist das erste Stilllegungsprojekt eines Leistungsreaktors in der Schweiz. Da die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebes für Ende 2019 vorgesehen ist, besteht die Möglichkeit die Nachbetriebsphase und die einzelnen Stilllegungsphasen im Voraus zu planen und vorzubereiten.

Die Planungen zum Abbau des KKM wurden schon während der letzten Jahre des Leistungsbetriebes initiiert, um einen schnellen und reibungslosen Übergang vom Betrieb in die Stilllegung zu ermöglichen. Die Planungen sehen vor, bereits substanzielle Abbaumaßnahmen durchzuführen, während sich noch Brennelemente aus dem Leistungsbetrieb zur Abklinglagerung im Brennelementbecken befinden. Aus den Planungen geht hervor, dass vor dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit ausschließlich Systeme abgebaut werden, die nach der endgültigen Außerbetriebnahme der Anlage obsolet geworden sind und der Rückwirkungsschutz auf die Brennelemente Priorität hat. Die hierfür erforderliche Abbauplanung wurde ebenso frühzeitig begonnen wie die Planung der Reststofflogistik inkl. der hierfür benötigten Ausschreibungen und Beauftragungen von externen Zulieferern. Unterstützend wurden bereits Aktivierungsrechnungen durchgeführt und mit Neutronenflussmessungen validiert sowie ein Probenahmekonzept erarbeitet, welches bereits in den letzten Betriebsjahren, insbesondere während Revisionszeiten, eine erste Bestimmung von Kontaminationen ermöglicht.

Die in Mühleberg geplante Stilllegung mit Brennelementen in der Anlage wird auch in Deutschland praktiziert. Untersuchungen zu dieser Thematik finden auch im Rahmen des GRS-Eigenforschungsvorhabens mit dem Förderkennzeichen 4717R01366 statt.

#### **4.3.2 Erfahrungsaustausch mit der japanischen Nuklearbehörde NRA**

Im Rahmen des dieses Vorhabens sowie eines weiteren GRS-Vorhabens fand im März 2018 (13.-15.03.2018) ein Anlagenbesuch im verunglückten Kernkraftwerk Fukushima und das dritte bilaterale Treffen zwischen BMU und NRA in Tokio (beides Japan) statt, bei welchen mehrere GRS-Mitarbeiter teilnahmen.

Für die beiden Teile der Reise wurden jeweils separate Reiseberichte /ARC 18/ /ARC 18a/ angefertigt. Für detailliertere Informationen wird auf diese verwiesen. Die gewonnenen Erkenntnisse werden an dieser Stelle kurz zusammengefasst wiedergegeben.

#### **Bilaterales Treffen BMU-NRA**

Das BMU-NRA-Treffen hatte folgende Themen:

- Aktuelle Entwicklungen und neue regulatorische Aktivitäten,
- Sicherheitsanforderungen,
- Stilllegung und Stand der Arbeiten in Fukushima,
- Betriebserfahrungsrückfluss sowie
- die Aufsicht über die Sicherheitskultur des Betreibers.

Neben den Vorträgen wurden auch intensive Diskussionen geführt, um zum einen Nachfragen zum Inhalt zu ermöglichen, zum andern auch um gemeinsame sowie unterschiedliche Vorgehensweisen zu erläutern. Von Interesse war auch der Besuch zweier Warten, die zu Trainingszwecken in der NRA seit 2016 betrieben werden. NRA plant zudem neue Regelungen, um seinen Inspektoren einen ungehinderten Zugang zu den Anlagen zu ermöglichen.

Die deutsche Seite interessierte sich weiterhin für die Nachrüstmaßnahmen nach dem Erdbeben 2007 und welche zusätzlichen Maßnahmen nach dem Erdbeben und Tsunami 2011 dazugekommen seien. Nach Fukushima sind neue Maßnahmen gegen Erdbeben festgelegt worden. Auf Nachfrage wurde erklärt, dass eine alternative Füllstandsmessung für den Reaktordruckbehälter im SWR aber nicht dabei sei.

Es ist politisch abgestimmt, dass weitere Anlagen in Japan in Zukunft wieder anfahren sollen. Dies sei dem notwendigen Mix bei der Stromerzeugung geschuldet. Es wurde daran erinnert, dass Japan aufgrund seiner Insellage nicht von Nachbarländern aus versorgt werden könne. Die Laufzeit der Anlagen sei auf 40 Kalenderjahre beschränkt. Es ist aber eine einmalige Verlängerung um 20 Jahre möglich. Derzeit werden für drei Blöcke die Antragsunterlagen vorbereitet.

Das zweite Thema der Sitzung handelte von Sicherheitsanforderungen kerntechnischer Anlagen beider Länder, wobei Japan hauptsächlich die Anforderungen an Anlagen mit langer Betriebsdauer thematisierte. Die japanische Delegation erläuterte, dass in Japan keine Genehmigungen ausgestellt werden, sondern die Behörde lediglich den Betrieb der Anlagen erlaube. Nach dem neuen Gesetz sei allerdings die Betriebszeit der Anlagen auf 40 Jahre beschränkt, die jedoch einmalig um 20 Jahre verlängert werden könne. Diese 40 Jahre sind Kalenderjahre, das bedeute, dass die jetzigen Stillstandszeiten als Betriebsjahre mitgerechnet werden. Dazu müsse, wie auf Nachfrage erläutert wurde, alle 10 Jahre eine Sicherheitsanalyse durchgeführt werden. Dies betreffe auch die Anlagen, die noch keine 40 Jahre alt sind. Auch die im Stress-Test zusätzlich festgelegten Maßnahmen sind unabhängig davon durchzuführen. Die japanische Delegation erläuterte weiter, dass die Anforderungen zum Alterungsmanagement ähnlich wie jene in Deutschland seien. Auch sei in den neuen Regelungen festgelegt, dass sicherheitsgerichtete Nachrüstmaßnahmen unmittelbar verpflichtend von NRA gefordert werden könnten.

Das dritte Thema war die Stilllegung und der Abbau von Anlagen. Beide Länder zeigten hier jeweils eine Präsentation zum aktuellen Stand und zu zukünftigen Projekten. Zusätzlich gab es eine zusammenfassende Präsentation zum aktuellen Stand der Arbeiten in Fukushima.

Japan nutzt zur Einbindung der Öffentlichkeit zum größten Teil die Internetpräsenz der Behördenwebseite. Fragen zum Stilllegungsplan können formlos schriftlich von Bürgern gestellt werden und müssen dann entsprechend adressiert und beantwortet werden. Ähnliche Fragen können zusammengefasst beantwortet werden. Die Antworten zu allen Fragen werden im Nachhinein im Internet veröffentlicht. Die Diskussion zwischen Behörden und Betreiber zu Stilllegungsplänen sind öffentlich zugänglich und teilweise auch live im Internet über einen Videostream verfolgbar. Die Espoo- und Aarhus-Konvention sind noch nicht umgesetzt, jedoch wird in Japan aktuell über deren Umsetzung diskutiert. Nach dem Betrieb gibt es in Japan keine Nachbetriebsphase, es schließt sich direkt die Stilllegungsphase an. In Japan erfolgt die Genehmigung der Stilllegung in Form einer

alles umfassende Stilllegungsgenehmigung. In Deutschland ist die Darstellung des Gesamtumfangs der geplanten Maßnahmen Teil der ersten Stilllegungsgenehmigung, im Regelfall werden aber weitere Stilllegungsgenehmigungen beantragt und genehmigt. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass in Japan die Stilllegung nicht vom Anlagenbetreiber durchgeführt wird, sondern externe Firmen sich nach dem Betrieb um den Abriss der Anlage kümmern und in Verantwortung treten.

Die japanische Delegation erläuterte, dass weiterhin Grundwasser in die havarierten Anlagen von Fukushima Daiichi über bestehende Öffnungen wie Rohrleitungs- oder Kabeldurchführungen eintreten könne. Da direkt beim Unfall auch die Grundwasserabsaugung ausgefallen war, stieg der Grundwasserspiegel um die Anlagen stark an. Alle japanischen SWR hätten so ein Absaugsystem, das rein betrieblich sei und bei Erdbeben abgeschaltet werde. Auf Nachfrage erläuterte die japanische Delegation, dass der Eiswall aus ihrer Sicht nicht den gewünschten Effekt erzielt habe. Es gäbe keine zuverlässige Kontrolle der Zuflüsse und Abflüsse, auch wenn TEPCO dies anders darstelle. Der Eiswall sei keine Sicherheitseinrichtung sondern nur eine zusätzliche Maßnahme. Derzeit haben die gesammelten Wässer in den Speichertanks auf dem Gelände eine gesamte Aktivität von ca.  $3E+15$  Bq. Weiterhin wurde erläutert, dass Wasser mit einer Aktivität von weniger als 60 kBq/l Tritium in das Meer geleitet werden dürfe. Allerdings seien Wässer aus Gebäuden davon ausgenommen. Die Kontamination der Umgebung werde durch ein dichtes Messstellennetz gut überwacht und die entsprechenden Messwerte auf der Webseite veröffentlicht.

Zum Thema Betriebserfahrung wurde von japanischer Seite erläutert, dass die wesentliche Maßnahme gegen hochenergetische Spannungsüberschläge die Installation von schnellen, digitalen Schutzschaltern sei, die auch in neue Vorschriften übernommen werden soll. Wie bei anderen Nachrüstmaßnahmen entscheidet auch hier letztlich der Commissioner über den Zeitraum bis eine derartige Maßnahme umzusetzen sei, in diesem Fall seien dies 2 bis 4 Jahre. Auf Nachfrage erläuterte die japanische Seite, dass Betriebserfahrungen zwar nicht kontinuierlich aber in angemessenen Zeitrahmen in den Anlagen umgesetzt würden. Die Umsetzung wird von der Behörde überwacht, da Nachrüstmaßnahmen eine gesetzliche Verpflichtung seien. Derzeit seien folgende Nachrüstmaßnahmen im Gespräch: Maßnahmen gegen Vulkanasche (Maßnahme zur Erhöhung der Robustheit der Anlagen) und Maßnahmen gegen Ein-Phasen-Fehler in elektrischen Systemen.

Die japanische Delegation erläuterte auf entsprechende Nachfrage hin, dass alle japanischen meldepflichtigen Ereignisse in einer öffentlich zugänglichen Datenbank abgelegt seien. Diese Datenbank enthalte auch geringfügige Ereignisse. Nach dem Unfall in Fukushima gebe es in Japan nun die Möglichkeit, regulatorische Entscheidungen schnell umsetzen zu können. Es können von der Behörde bindende Auflagen in sehr kurzer Zeit erlassen werden.

Zum Thema Sicherheitskultur wurde erläutert, dass die Inspektoren der NRA derzeit noch keinen freien Zugang zu den Anlagen haben. Dies werde erst in eine Regelung aufgenommen, die derzeit in Vorbereitung ist. Auf Nachfrage fügte die japanische Seite hinzu, dass geplant sei, die japanischen Inspektoren von der US NRC schulen zu lassen. Inspektoren sollen (unabhängig) bei täglichen Rundgängen die Beobachtungen notieren, bewerten und gegebenenfalls Nachbesserungen direkt fordern können. Dabei solle auch das Thema Sicherheitskultur berücksichtigt werden. Die Neuerungen seien ein Ergebnis der IRRS-Mission.

### **Zusammenfassung**

Das Treffen mit der NRA gab einen guten Eindruck über die Herausforderungen im Bereich der Kernkraft und der Sicherheitskultur in Japan. Ähnliche Probleme beim Abfallmanagement und der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen führen zu gemeinsamen Schnittstellen beim Thema Stilllegungsforschung und Abfallmanagement. Eine mögliche Kooperation, welche bereits beim Meeting der GRS mit der NRA am 12. März 2018 diskutiert wurde, könnte über ein Projekt zur Aktivitätsmessung und Nuklidbestimmung in Betonproben realisiert werden. Ein Spezialfall ist die Anlage in Fukushima, welche Japan vor große Herausforderungen stellt. Zur Stilllegung müssen je nach Zustand des Reaktors optimierte Methoden zum Abbau entwickelt werden, welche möglicherweise auch im technischen Bereich für Deutschland in Zukunft interessant sein könnten. Ein zukünftiger Informationsaustausch im Stilllegungsbereich ist im Hinblick auf Knowhow-Aufbau und Erhalt förderlich. Bei einem möglichen Unfall in einem Nachbarland könnte Deutschland somit auch in Zukunft auf Expertenebene diskutieren und reagieren.

### **Anlagenbesuch Fukushima Daiichi**

In einem Briefing wurden zunächst Informationen zur Entfernung der abgebrannten Brennelemente aus den Lagerbecken, dem geschmolzenen Kernbrennstoff, sowie der Aufbereitung des kontaminierten Wassers, Management des radioaktiven Abfalls und

der Verbesserung der Arbeitsbedingungen direkt an und um die Unglücksstelle gegeben. Es wurden Informationen zu den einzelnen Reaktoren und dem Unglücksverlauf vom 11. März 2011 gegeben.

Es folgte ein Kurzfilm über die Sanierungsmaßnahmen und deren Fortschritt. Oft wurden Vergleichsbilder von 2011 und 2017 gezeigt, um eine anschauliche Darstellung der geleisteten Arbeiten zu generieren. Unter anderem wurden Grünflächen nahe den Reaktoren betoniert um die Verbreitung der Radioaktivität zu minimieren. Es sind aktuell etwa 1.000 Arbeiter mit dem Abbau der Reaktoren beschäftigt, was einem Anteil von nur rund 20 % des gesamten Personals entspricht. Insgesamt ist eine Sanierungsdauer von 30 bis 40 Jahren vorgesehen. Die Entfernung der abgebrannten Brennelemente aus den Lagerbecken wird in den nächsten Jahren beginnen, wobei die Vorbereitungen an Reaktor 3 am weitesten fortgeschritten sind.

Zur Bergung des geschmolzenen Kernbrennstoffs wird versucht für jeden Reaktor eine optimale Methode zu entwickeln und durch Analyse der Strukturen im Kern, durch zum Beispiel ferngesteuerte Roboter, eine möglichst exakte Charakterisierung des Kernbrennstoffs und der Umgebung zu erhalten. Eine Methode wäre beispielsweise ein Loch in die Seitenwand des Containments zu bohren und durch dieses Loch den Kernbrennstoff nach außen zu bringen.

Pro Tag sind etwa 5.150 Arbeiter auf dem gesamten Gelände beschäftigt, was auch über einen längeren Zeitraum gehalten werden soll. Diese Arbeiter kümmern sich neben dem Abbau der Reaktoren unter anderem auch weiterhin um Dekontaminationsarbeiten, die Abfallverarbeitung und das Management. Unter diesen Arbeitern sind nur etwa 200 bis 250 direkt von TEPCO angestellt.

Die Fahrt über das Anlagengelände fand ausschließlich im Besucherbus statt. Jeden Morgen wird unter den Inspektoren ein Meeting zu den Ereignissen des letzten Tages gehalten. Auf Grundlage der Meetings wird eine Inspektionsroute für den Tag festgelegt, wobei etwa fünf Inspektionswege vorab von den Inspektoren festgelegt und im Schnitt etwa zwei bis drei zusätzliche durch die Hinweise der TEPCO-Mitarbeiter hinzugefügt werden. Eine Frage zur Dichtheit des Eiswalls wurde gestellt, wobei hier nur eine persönliche Einschätzung des leitenden Inspektors gegeben wurde, dass der Eiswall grundsätzlich das Grundwasser zurückhält, aber nicht zu 100 % und man eine längere Zeit der Überwachung bräuchte um festzustellen, ob das Konzept wirklich funktioniert.

Zum Thema Managementsystem und dessen Überprüfung ergab sich ein Austausch zwischen Herrn Scheib vom Umweltministerium Baden-Württemberg und einem der Inspektoren, wobei sich ein künftiger Austausch zwischen der NRA und dem Umweltministerium Baden-Württemberg auf dem Gebiet des Qualitätsmanagements ergeben könnte.

Die Funktionalität des Systems zur Reinigung des radioaktiven Wassers (ALPS) wurde von TEPCO bestätigt, wobei eingeräumt wurde, dass es anfangs Probleme gab, welche aber behoben wurden. Von etwa 1 Million Liter Wasser müssen in Zukunft jedoch etwa 10.000 Liter noch einmal aufgrund der früheren Probleme aufgearbeitet werden.

### **Zusammenfassung**

Japan als hochtechnisierte Industrienation hatte 2011 einen der größten Reaktorunfälle der Geschichte. Der Umgang mit diesem Ereignis und im Speziellen die technischen und organisatorischen Entwicklungen im Hinblick auf die Sanierung und den Abbau der beschädigten Anlagen sind wegweisend um sich auf mögliche zukünftige Unglücke vorzubereiten. Die Begehung der Anlage und der Austausch mit TEPCO- und NRA-Mitarbeitern zeigten, dass Japan Methoden zum Abbau und der Sanierung entwickelt, welche über die bisher genutzten Techniken hinausgehen. Nicht nur für beschädigte Anlagen konnte und kann in Zukunft hier ein Informationsgewinn im Hinblick auf den Stand von Wissenschaft und Technik in Bereichen wie Strahlenschutz, Abbautechniken und Optimierung der Arbeitsbedingungen erzielt werden.

#### **4.3.3 Hospitation im französischen Anlagenkomplex in La Hague (Orano)**

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde eine einwöchige Hospitation bei den Abbau- und Altlastensanierungsprojekten der von der Firma Orano (ehemals Areva) betriebenen französischen Wiederaufarbeitungsanlage in La Hague durchgeführt. Im Fokus der Hospitation standen neben der Besichtigung der zahlreichen und vielseitigen Abbauarbeiten auch die projektbegleitende Abbau- und Detailplanung.

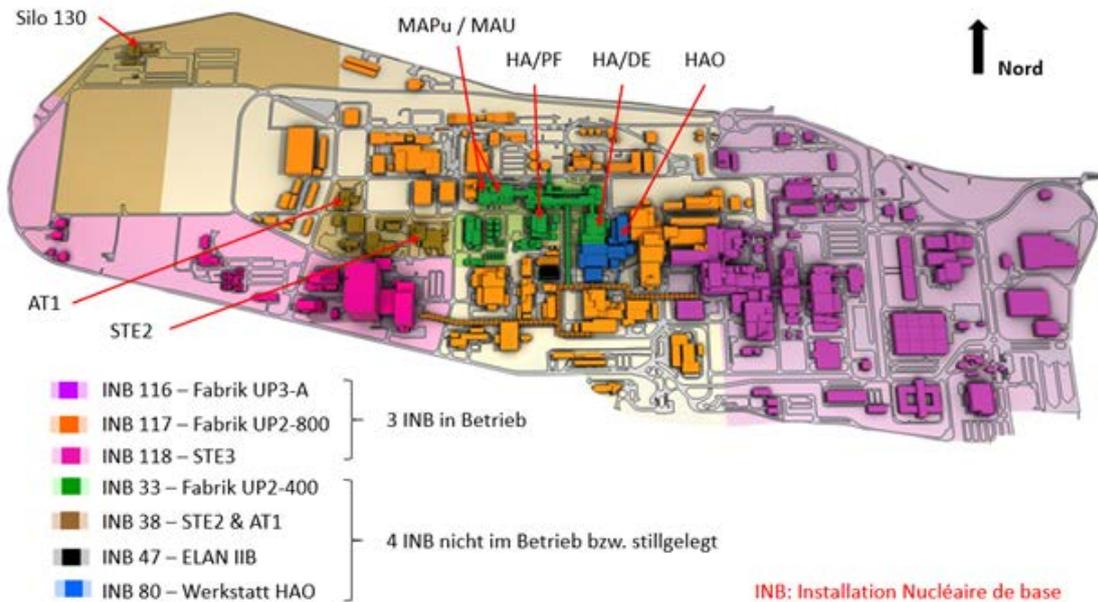
Zwar handelt es sich bei der besuchten Anlage um eine Anlage der nuklearen Ver- und Entsorgung, jedoch bieten die zahlreichen Stilllegungsprojekte ein umfassendes Portfolio an Stilllegungstätigkeiten und Erfahrungen, die sich auf Situationen bei der Stilllegung von Kernkraftwerken übertragen lassen. Dies trifft insbesondere auf die Aspekte der Planung und des Projektmanagements zu.

Im Folgenden sind Teile der Erfahrungen und Erkenntnisse zusammengefasst, wie während der Hospitation gesammelt werden konnten. Ein ausführlicher Bericht über die einzelnen Bestandteile der Hospitation ist in /DIT 19/ enthalten. Für diesen Bericht wurden nicht alle besichtigten Projekte im Detail beschrieben, sondern einige exemplarisch ausgewählt. Für die vollständige Beschreibung wird auf /DIT 19/ verwiesen.

Folgend wird nach einer Kurzbeschreibung der Anlage der Zeitplan der Hospitation vorgestellt. Im Anschluss sind die ausgewählten Projekte beschrieben und die Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem technischen Teil der Hospitation zusammengefasst. Abschließend werden die begleiteten Arbeitstreffen zum Projektmanagement beschrieben.

### **Kurzbeschreibung der Anlage**

Die Wiederaufbereitungsanlage La Hague wurde ursprünglich für militärische Nuklearanwendungen zur Herstellung von Plutonium für das französische Nuklearprogramm in Auftrag gegeben. Die erste Wiederaufarbeitungseinheit UP2-400 (Unité de Production n°2) nahm 1966 erstmalig den Betrieb auf. UP2-400 wurde ursprünglich geplant und errichtet um UNGG-Brennelemente (Uranium Naturel Graphite Gaz) zu prozessieren. Im Jahr 1976 wurde die Anlage erweitert, um abgebrannte Brennelemente von Leichtwasserreaktoren (LWR) verarbeiten zu können. Am Anlagenstandort befinden sich zwei weitere Anlagenkomplexe zur Wiederaufarbeitung: Die 1986 in Betrieb genommene Anlage UP3-A sowie die Anlage UP2-800, deren Inbetriebnahme im Jahr 1994 erfolgte. Die Ruckbauarbeiten am Standort La Hague belaufen sich auf den Anlagenkomplex UP2-400. Die Übersicht über das Anlagengelände aus Abb. 4.9 zeigt die verschiedenen Genehmigungsbereiche (INB). Die im Rahmen der Hospitation besichtigten Bereiche sind durch die roten Pfeile gekennzeichnet.



**Abb. 4.9** Übersicht über das Anlagengelände in La Hague

#### Altlasten in Silo 130

Silo 130 befindet sich im nordwestlichen Teil des Anlagengeländes. Das Silo besteht aus zwei Kammern, hergestellt aus verstärktem Stahlbeton mit einem integrierten Stahl liner. Er wurde für die trockene Lagerung von festen Abfällen entwickelt, die bei der Prozessierung abgebrannter UNGG-Brennelemente entstehen. Die Abfälle bestehen im Wesentlichen aus Aluminium, Magnesium und Graphit und sind als brennbar und entzündlich eingestuft. Während des Einbringens von Abfällen ist es am 06. Januar 1980 in Silo 130 zu einem Brand gekommen (INES 3). Bedingt durch das Löschen des Feuers ist Silo 130 nun teilweise mit Wasser gefüllt. Zusätzlich befinden sich kontaminierte Schlämme in dem Silo, die von einem Bodenaushub nach einem Kontaminationsvorfall stammen und in Silo 130 eingelagert wurden.

#### MAPu (Moyenne activité - Plutonium)

Die Werkstatt MAPu wurde im Zuge der Hospitation vor allem deswegen als Anschauungsobjekt ausgewählt, da hier bereits signifikante Abbautätigkeiten durchgeführt wurden. Im Zuge der Plutonium-Prozessierung innerhalb der Werkstatt MAPu wurden von jedem fertig gestellten Charge (1 Batch  $\approx$  3 Kg PuO<sub>2</sub>) jeweils mehrere Gramm als Rückstellprobe aufbewahrt und im Bereich Local 107 aufbewahrt. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind alle Rückbauarbeiten in diesem Bereich abgeschlossen. Die Rückstellproben

wurden entfernt und in die Plutoniumlager BSI und BST1 überführt. Die Sanierung und Dekontamination wurden 2017 erfolgreich beendet. Alle Arbeiten wurden unter Vollschutz durchgeführt.

#### AT1 (Atelier de Traitement de combustibles)

Die AT1 stellt für den Anlagenstandort La Hague ein repräsentatives Beispiel einer vollständig stillgelegten Kernanlage dar und wurde entsprechend durch AREVA als Anschauungsobjekt hergerichtet. Die Anlage ist kein Kontrollbereich mehr und sowohl die Prozesszellen als auch die Prozessräume können in einer Tour besichtigt werden, in der verschiedene Informationen zum Abbau gegeben sind, wie z. B. benötigte Arbeitsstunden für Abbau von Equipment und Dekontaminationsarbeiten, Abfallvolumina, oder durch Dekontamination entfernte Aktivität. An einigen Wänden der AT1 sind teilweise noch die Markierungen der (Frei)messkampagne zu sehen, mit dem Ziel existierende Kontrollbereiche (Zonen) herabzustufen. Auffällig war in diesem Zusammenhang, dass zum Teil Ankerplatten, Wanddurchführungen und Türzargen für die Freimessung nicht entfernt wurden. Der Gebäudekomplex unterliegt nach wie vor der atomrechtlichen Gesetzgebung. Bild- und Infomaterial zur AT1 liegen der GRS vor und können auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden.

#### **Fazit aus den besichtigten Abbauprojekten**

Während der Besichtigung der verschiedenen Abbauprojekte wurde vor allem deutlich, wie komplex sich die Stilllegung einer Altanlage mit verschiedensten Raumbereichen und Systemen gestaltet, die an vielen Stellen ganz in individuelle Schwierigkeiten und unerwartete Probleme aufweisen. Dies zeigt sich beispielsweise am Beispiel des Abbaus diverser Lagertanks, die sich in großer Zahl in verschiedenen Gebäudekomplexen, meist in kleinen Raumzellen befinden. Das Leeren, Spülen und Abbauen von diesen Tanks, sowie das anschließende Leerräumen der Zellen ist eine sehr häufig durchgeführte Abbautätigkeit, erfordert jedoch an vielen Stellen sehr individuelle Vorgehensweisen, um unterschiedlichsten Rahmenbedingungen zu begegnen. Der hiermit verbundene und enorme Zeitaufwand wurde durch die Hospitation sehr anschaulich. So wurden Arbeitsbereiche besucht, in denen beispielsweise Kamerainspektionen und Spülungen mit unterschiedlichem Erfolg durchgeführt wurden. Erst nach Abschluss einer Spülung und anschließender Inspektion kann eine Aussage über die weitere Vorgehensweise getroffen

werden. Hierzu werden unter Umständen weitere aufwändigere Maßnahmen nötig. Beispiele hierfür waren Bereiche, in denen aufwändige Stahleinhausungen mit Hebevorrichtungen installiert wurden, um die nötigen Voraussetzungen für den Abbau von Tanks zu schaffen, die aufgrund einer Befüllung über den maximalen Füllstand hinaus mit Schlamm bedeckt sind. An vielen besuchten Arbeitsbereichen arbeiten Orano-Mitarbeiter unter Vollschutz mit externer Luftversorgung in leichten Zelteinhausungen. Die erlaubte Arbeitszeit bei Verwendung eines Vollschutzanzuges ist stark reduziert und beträgt bei Ausführung schwerer körperlicher Arbeiten teilweise nur ein bis zwei Stunden am Tag. Aus diesem Grund hat ORANO eine portable Tragehilfe entwickelt, die am benötigten Einsatzort fest installiert werden kann und den Techniker mechanisch beim Heben schwerer Werkzeuge (Sägen, Scheren, usw.) unterstützt.

Betrachtet man die Rüstzeiten für Einhausung und Infrastruktur (Externe Luftversorgung, Lüftungsanlage, elektrische Versorgung, Bereitstellung von Werkzeugen, Abfallbehältern, Messsystemen usw.) wird sehr schnell der extreme Planungs- und Zeitaufwand offensichtlich. In anderen Bereichen konnte der Einsatz eines Roboters zum Räumen von Schlamm in einer aufgrund der Dosisleistung unzugänglichen Zelle beobachtet werden. Auch hier fand ein reger Austausch mit den Projektverantwortlichen statt, die über Schwierigkeiten bei der Robotertechnik berichteten und verschiedene Entwicklungsstufen des Roboters zeigten.

Im Zuge der Hospitation wurde ebenfalls ein umfangreicher Testaufbau eines Lüftungssystems besichtigt. Da die ursprüngliche Lüftungsanlage nicht darauf ausgelegt war, in den zahlreichen kleinen Raumzellen für einen hinreichenden Luftaustausch zu sorgen, wie er für die anstehenden Zerlegearbeiten benötigt wird, ist eine zusätzliche Lüftungsanlage für mehrere Zellen erforderlich. In der Raumebene über den Zellen wurde nun eine Testanlage mit flexiblen Schläuchen in Betrieb genommen. Über jeder noch geschlossenen Raumzelle befindet sich eine Zelteinhausung, sodass die Zelle von oben geöffnet und der flexible Lüftungsstutzen angeschlossen werden kann. Ist dies für alle Zellen erfolgt, kann mittels Testbetrieb die ausreichende Dimensionierung der externen Lüftung ermittelt werden. Ist dies erfolgt, wird die Lüftung entsprechend in soliderer Bauweise ausgebaut. Da die Rückwirkungen, die Zerlegearbeiten oder Raumöffnungen auf die Luftströmung haben nicht genau bekannt sind, wurde ein solcher Testaufbau realisiert. Für weitere Einblicke in die konkreten Abbauabschnitte, sei auf den Bericht /GRS 19/ verwiesen.

## **Erfahrungen aus Planung und Projektmanagement**

Im Rahmen der Hospitation bot sich neben den zahlreichen Besichtigungsmöglichkeiten der zuvor vorgestellten Anlagen auch die Gelegenheit, einen Einblick in die Arbeitsplanung des DOFC zu bekommen. Bei vier verschiedenen Planung- und Arbeitstreffen wurden die Arbeitsweisen in den folgenden Feldern und Abteilungen sichtbar:

- Sicherheitsbewertung und Risikoanalyse für geplante Abbaumaßnahmen, Austausch mit Aufsichtsbehörde (ASN),
- Vorgehensweise bei Modifikationen des ursprünglichen Abbauplans am Beispiel eines konkreten Falles (Abbau einer Rohrleitung),
- Planung der wöchentlich anstehenden Arbeiten und Schnittstellen zwischen den Bereichen Personal, Strahlenschutz, Wartung und Instandhaltung, Ausrüstung und Betrieb,
- Planung der sich kurzfristig ergebenden Notwendigkeiten und Abhängigkeiten in den verschiedenen Arbeitsbereichen auf täglicher Basis („Visual Management Erfahrung Abbau“).

### Sicherheitsbewertung und Risikoanalyse

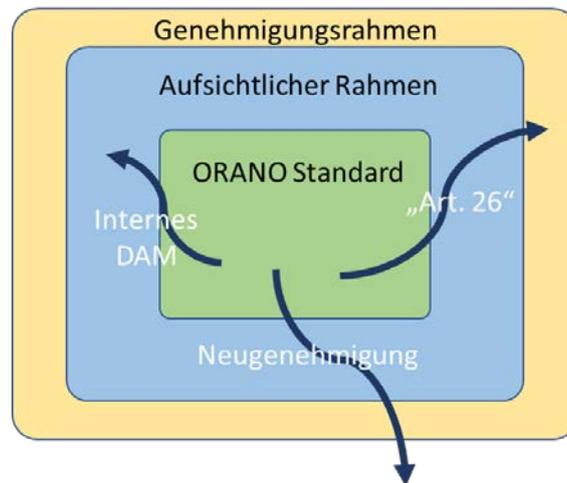
Die Sicherheitsbewertungen und Risikoanalysen werden für alle Tätigkeiten am Standort von einer von den anderen Organisationseinheiten unabhängigen Abteilung durchgeführt, der Abteilung DSSEP (Direction Sûreté, Santé, Sécurité, Environnement, Protection). Somit ist die Abteilung zur Sicherheitsbewertung und Risikoanalyse der Stilllegungstätigkeiten nicht innerhalb des DOFC angesiedelt.

Abb. 4.10 erläutert anschaulich den rechtlichen und betrieblichen Rahmen, in dem sich die Sicherheitsbewertungen abspielen. Durch die Stilllegungsgenehmigung wird ein Rahmen für mögliche Stilllegungstätigkeiten abgesteckt. Analog zur deutschen Situation bewegt sich das Aufsichtsverfahren durch die zuständige Behörde ASN innerhalb dieses genehmigten Rahmens. Innerhalb des aufsichtlichen Rahmens gibt es ein definiertes Repertoire an Verfahren und erlaubten Tätigkeiten, die bereits durch ORANO bewertet und angewandt wurden, sodass auf diese während der Stilllegung zurückgegriffen werden kann, ohne dass es einer weiteren Bewertung und Freigabe bedarf. Diese Tätigkeiten bilden den in der Abbildung als „ORANO Standard“ bezeichneten Bereich. Eine Sicherheitsbewertung einer Modifikation, genannt „DAM“ („Demand Authorization

Modification“) erfolgt in solchen Fällen, in denen eine Modifikation der ursprünglichen Planung vorliegt und diese die innerhalb des ORANO Standards liegende Vorgehensweise verlässt. Dementsprechend werden interne DAMs und DAMs gemäß Art. 26 /LEG 19/ unterschieden.

- Internes DAM: Eine Modifikation wurde bisher noch nie in der geplanten Weise durchgeführt, liegt aber innerhalb des aufsichtlichen Rahmens. In diesem Fall erfolgt eine Sicherheitsanalyse und Risikobewertung nur durch ORANO selbst.
- DAM gemäß Art. 26: Eine Modifikation verlässt den aufsichtlichen Rahmen, befindet sich aber innerhalb der Genehmigung. ORANO führt eine Sicherheitsanalyse und Risikobewertung durch und involviert ASN. Die Behörde kann dann entscheiden, ob der aufsichtliche Rahmen um den vorgeschlagenen Aspekt erweitert wird.

Ist eine Modifikation so grundlegend, dass sie den Rahmen der Genehmigung verlässt, ist eine neue Genehmigung erforderlich.



**Abb. 4.10** Genehmigungsverfahren

Im wöchentlich abgehaltenen Arbeitstreffen der für die Arbeiten in Stilllegungs- und Altlastensanierungsprojekten zuständigen Sicherheitsingenieure werden die aktuellen DAMs, also der Stand der aktuellen Planungsänderungen bzw. neu zu bewertenden Tätigkeiten erfasst und bei Bedarf in der Gruppe diskutiert. Die zunächst durch einen einzelnen Mitarbeiter begleiteten DAMs werden je nach geforderter Expertise weiteren Bearbeitern zugeteilt. Der aktuelle Stand der Auswertung oder z. B. Bedenken seitens ASN werden in dem besuchten Arbeitstreffen wöchentlich erfasst, diskutiert und zur weiteren

Bearbeitung an die Mitarbeiter verteilt. In einem Jahr werden von ca. 20 Sicherheitsingenieuren im Bereich der Stilllegung und Altlastensanierung rund 300 interne DAMs und rund 20 DAMs nach Artikel 26 bearbeitet, wobei letztere überwiegend bei der Altlastensanierung anfallen.

#### Tägliches Planungsmeeting („Visual Management Erfahrung Abbau“, MV EXP DEM)

Das MV EXP DEM-Meeting findet täglich zwischen den Projektverantwortlichen der einzelnen Werkstätten (HAO, MAPu, Ha/DE etc.) und einem Vertreter der Sicherheitsabteilung statt. In der maximal halbstündigen Besprechung berichten die einzelnen Projektverantwortlichen nacheinander zu aktuell relevanten Themen-Schwerpunkten. Hierbei stehen insbesondere die tagesaktuellen Aktivitäten im Vordergrund, wie z. B. kurzfristig notwendige Umverteilung der verfügbaren Arbeitskraft, oder Aspekte des Abfallmanagements und Fortschrittsberichte über einzelne Abbautätigkeiten.

Die Ergebnisse werden mit Hilfe eines Interactive Digital Board festgehalten, visualisiert und täglich aktualisiert. Besondere Vorkommnisse wie das Auftreten technischer Probleme, angekündigte/unangekündigte Inspektionen durch die ASN, Benötigung von DAMs werden ebenfalls besprochen. Das MV EXP DEM-Meeting dient in erster Linie dazu, die ständige Kommunikation zwischen den einzelnen Abbaubereichen sicherzustellen. Bei dem in der Hospitation besuchten Treffen wurde beispielsweise berichtet, dass es in einem Bereich einen Ausfall der Brandmelder gegeben habe, was Konsequenzen für die geplanten Tätigkeiten an diesem Tag im betroffenen Bereich hat. Wird der Instandsetzung eine hohe Priorität eingeräumt, was Konsequenzen für andere Wartungsarbeiten haben kann, wird dies unmittelbar durch dieses Besprechungsformat bereichsübergreifend kommuniziert. Des Weiteren wurde bekanntgegeben, dass an diesem Tag eine unangekündigte Inspektion durch ASN durchgeführt wird. Das hierfür erforderliche Personal muss dementsprechend kurzfristig hierfür bereitgestellt werden.

#### Planning Meeting

Das allgemein als Planungsmeeting bezeichnete Arbeitstreffen, an dem während der Hospitation teilgenommen werden konnte, stellt ein weiteres wichtiges Steuerungselement der Projektplanung dar. In dem wöchentlichen Arbeitstreffen kommen Verantwortliche der Bereiche Personal, Strahlenschutz, Wartung und Instandhaltung, Ausstattung und Stilllegungsbetrieb zusammen, um kommende Aufgaben und Abhängigkeiten dieser

Bereiche über alle Stilllegungs- und Altlastensanierungsprojekte hinweg zu planen und zu diskutieren. Der Planungshorizont beträgt bei diesem Treffen rund drei Wochen.

In einem fortwährend geführten Tabellendokument wird über den Jahresverlauf diese Planung für die einzelnen Projekte fortgeschrieben. Hierbei wird wöchentlich scharf der Erfüllungsgrad gegenüber der Planung angegeben. Auf diese Weise wird deutlich, welche Bereiche (z. B. Personal und Wartung) gerade im jeweiligen Projekt Aufgaben für die kommenden Wochen haben und inwieweit eine Abhängigkeit besteht. Liegen beispielsweise aufgrund von Wartungsarbeiten an der Ausstattung Abbauarbeiten zwischenzeitlich still, so kann das Personal in einem anderen Projekt eingesetzt werden, um hier z. B. einen vorliegenden Zeitverzug zu kompensieren. Im besuchten Meeting wurde unter anderem darüber diskutiert, dass in einer Zelle aufgrund zu hoher Dosisleistung nicht wie geplant weitergearbeitet werden kann. Hier muss nun der Bereich Strahlenschutz in den kommenden Wochen Untersuchungen anstellen.

Die ursprünglich eingeplante Arbeitskraft für den Abbau kann demnach an anderer Stelle eingeplant werden. Aspekte, die nicht abschließend geklärt werden können, oder weitere Informationen benötigen, werden ebenfalls im Dokument als offene Diskussionspunkte erfasst. Wichtig hierbei ist eine Benennung eines Zuständigen, der bis zum nächsten Treffen auf eine ebenfalls festgelegte Weise an der Klärung arbeitet.

### **Fazit Projektmanagement**

Die im Rahmen der Hospitation besuchten Planungs- und Arbeitstreffen haben auf eindrucksvolle Weise die Komplexität der Abhängigkeiten und die Vielseitigkeit der zu planenden Arbeitsschritte über alle Bereiche und Projekte hinweg verdeutlicht. Vor dem Hintergrund dieser stark verzahnten Planungen und dem Bedarf an kurzfristigen Änderungen geplanter Vorgehensweisen mit weitreichenden Konsequenzen, ist die Notwendigkeit einer klaren Struktur der Absprachen aller Beteiligten in verschiedenen umfangreichen Besprechungsformaten eine logische Konsequenz. Die Beobachtung dieser festen Strukturen war im Hinblick auf die Detailplanungen im wöchentlichen Arbeitsgeschehen überaus aufschlussreich. Es fällt auf, dass die Mitarbeiter des DOFC diese Strukturen in ihre Arbeitsweisen integriert haben. So gelingt es, dass auch bei einem täglich angesetzten Planungsmeeting die erforderlichen Ansprechpartner in der Regel anwesend sind. Wichtig hierfür ist die genaue Einhaltung der Besprechungszeiten, die im Beispiel

des täglichen Meetings nur maximal 30 Minuten beträgt, in den anderen Fällen 60 Minuten nicht überschreitet. Nach Rücksprache mit den Mitarbeitern hat es einige Zeit in Anspruch genommen, bis diese Arbeitstreffen auch entsprechend der Planung abliefen. Inzwischen wird diese Vorgehensweise seit mehreren Jahren praktiziert und als effizient wahrgenommen. Unterstützend hinzu kommt der Einsatz moderner Informationstechnologie, wie z. B. Smartboards, die ein kontinuierliches Fortschreiben und Aktualisieren mehrerer „Tafelbilder“ ermöglichen.

## **5 Erstellung von Beiträgen zum nationalen Erfahrungsrückfluss**

Die auf internationaler Ebene erarbeiteten und veröffentlichten Erfahrungen und Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Stilllegung wurden laufend gesammelt und bezüglich der Übertragbarkeit auf die nationalen Stilllegungsprojekte ausgewertet. Durch die Erstellung von Beiträgen für und die Teilnahme an nationalen Veranstaltungen zur Stilllegung wird ein Beitrag zum nationalen Erfahrungsrückfluss geleistet. Hierzu wurde jeweils in den Jahren 2016 bis 2019 am Arbeitskreis „Stilllegung“ der Fachausschüsse „Reaktorsicherheit“ und „Nukleare Ver- und Entsorgung“ des „Länderausschusses für Atomkernenergie“ teilgenommen und Beiträge in Form von Vorträgen geleistet. Die hierfür erstellten Präsentationen sind als Anlage diesem Abschlussbericht beigefügt /DEW 19/. Im Übrigen stellt dieser Bericht einen Beitrag zum Erfahrungsrückfluss dar.

### **5.1 Arbeitskreis Stilllegung (54) – September 2016 in Jülich**

Ein Mitarbeiter der GRS hat im Rahmen der 54. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ vom 20. bis 21. September 2016 in Jülich über neue Erkenntnisse aus dem internationalen Umfeld, insbesondere zu den Arbeitsergebnissen der OECD/NEA TGPFD, berichtet /BRE 16/. Dabei wurde auf strukturelle Einordnung der TGPFD in die Organisation der OECD/NEA eingegangen und die Zielsetzung beschrieben. Ziel war es, aktuelle Informationen zu verfolgten Strategien und Ansätzen in den NEA Mitgliedsländern zu sammeln und zu vergleichen und Empfehlungen zur Optimierung von Aktivitäten in Hinblick auf die Vorbereitung der Stilllegung und des Abbaus zu erarbeiten. Schließlich sollen die Ergebnisse der Untersuchungen und Erkenntnisse in einem Bericht veröffentlicht werden. Dieser sollte sich in folgende thematische Abschnitte gliedern:

1. Strategieentwicklung für die Vorbereitung von Stilllegung und Abbau
2. Regulatorische Herangehensweise
3. Einbindung von Interessensgruppen
4. Umwandlung der Organisationstruktur
5. Stilllegungsplanung und vorbereitende Maßnahmen

Des Weiteren werden Schlussfolgerungen und Herausforderungen formuliert. Im tatsächlichen Abschlussbericht /OEC 17/ wurde Abschnitt 5 vorgezogen (zwischen 1 und

2). Auf die Ergebnisse der Arbeitsgruppe wurde bereits in Abschnitt 4.2 eingegangen, so dass an dieser Stelle für weitere Details darauf verwiesen wird.

## **5.2 Arbeitskreis Stilllegung (57) – September 2017 in Lingen**

Ein GRS-Mitarbeiter erstellte zwei Beiträge zum 57. Arbeitskreis Stilllegung und berichtete am 12. und 13. September 2017 in Lingen über die Themen „Öffentlichkeitsbeteiligung bei der Stilllegung – aufsichtsbegleitende Informationen“ und „Internationale Aktivitäten“ der GRS im Bereich der Stilllegung /DEW 17/. Bezüglich internationaler Aktivitäten wurde zu drei Themen vorgetragen:

1. Der Training Workshop für Moderatoren des IAEA IDN-Wikis
2. Die OECD/NEA-Arbeitsgruppe der WPDD TGOM (Task Group on Optimising the Management of Low-level Radioactive Materials and Waste from Decommissioning), sowie
3. Die jährliche Sommerschule zu Stilllegung und radioaktiven Abfällen in Cambridge, UK.

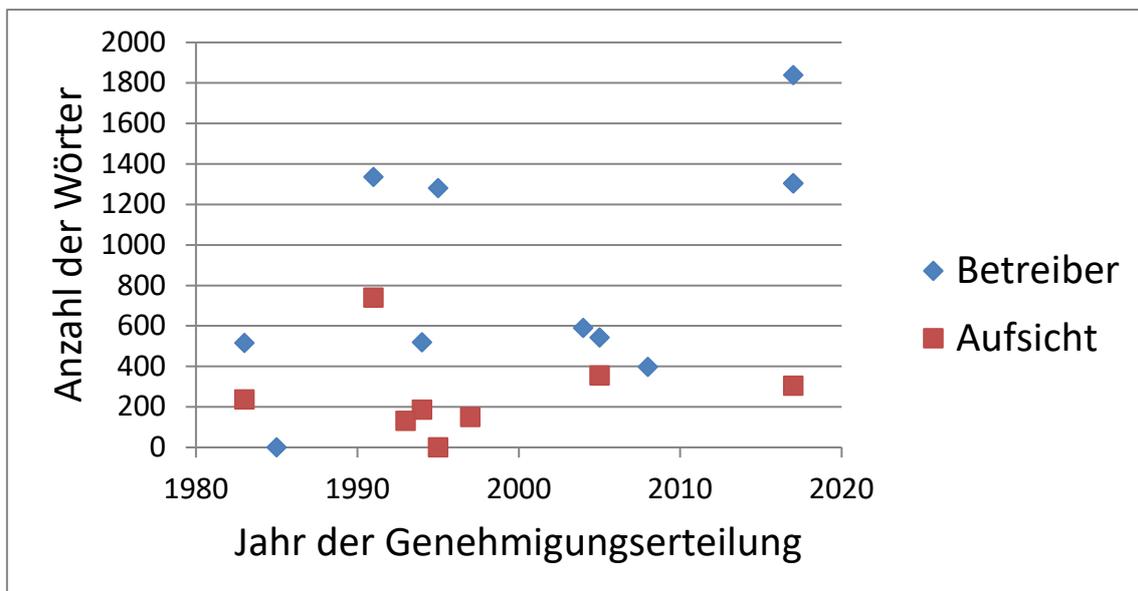
Die Ergebnisse der Workshops zum IAEA IDN-Wiki wurden auch in Kapitel 4.1 behandelt und werden an dieser Stelle nicht wiederholt. In Kapitel 4.2 finden sich außerdem ausführlichere Informationen zu den Ergebnissen der OECD/NEA-Arbeitsgruppe TGOM.

Im Vortrag zur Öffentlichkeitsbeteiligung bei der Stilllegung (aufsichtsbegleitende Informationen) wurde dargestellt, inwieweit und in welcher Form Betreiber deutscher Kernkraftwerke und die Aufsichtsbehörden der Länder von den Möglichkeiten Gebrauch machen, die Öffentlichkeit über Stilllegungsvorhaben zu informieren. Dazu wurden die verfügbaren Informationen gesammelt und eine statistische Auswertung darüber durchgeführt. Untersucht wurden:

- Die Internetauftritte der Betreiber und Aufsichtsbehörden und deren anlagenspezifische Informationen und verlinkte Angebote
- verfügbare Broschüren von Betreibern, anlagenspezifisch (gedruckt oder digital)
- extern verlinkte Broschüren, z. B. von GRS, VGB und Brenk Systemplanung
- Informationsveranstaltungen an den Standorten
- Dauerausstellungen an den Standorten

Sowohl die Betreiber als auch die Aufsichtsbehörden nutzen die Möglichkeit, interessierte Bürger über das Internet zu informieren. Unterschiede zeigen sich in der Schwerpunktsetzung: Aufsichtsbehörden stellen in der Regel die Genehmigungssituation dar und stellen Antragsunterlagen bereit. Betreiber haben eine plakativere Darstellung der Abbautätigkeiten. Es gibt zwischen den unterschiedlichen Behörden, Betreibern und Anlagen eine breite Variation der Ausführlichkeit. Nur teilweise werden mehrere Formen der Information gleichzeitig genutzt (Broschüren, Infotage, Dauerausstellungen, Berichte). Über einige Projekte lassen sich allerdings nur sehr wenige Informationen finden, beispielsweise zur Stilllegung des Kernkraftwerks Lingen (KWL).

Die Aktualisierungsrate der verschiedenen Informationen erscheint eher gering, viele der Informationen sind ca. drei Jahre alt, einige sind auch deutlich älter. Ein Nachverfolgen der Aufsichtsverfahren ist daher nur bedingt möglich.



**Abb. 5.1** Umfang der zur Verfügung gestellten Informationen gegen das Jahr

Im Rahmen der Erstellung der Präsentation wurde die Anzahl an Wörtern in verfügbaren Informationen für Betreiber und Aufsichtsbehörden nach Jahresscheiben gezählt und ausgewertet. Trotz starker Streuung ist ein steigender Trend in der Informationsmenge zu verzeichnen, welche von Betreibern zur Verfügung gestellt wird. Eine statistische Darstellung des Ergebnisses zeigt Abb. 5.1.

Des Weiteren wurde dargestellt, welche Art von Informationen für wie viele Anlagen verfügbar sind. Im Vortrag wurde ferner darauf hingewiesen, dass seit Juni 2017 im Zuge

der 15. AtG-Novelle erweiterte Pflichten zur Information der Öffentlichkeit bestehen, welche den bestimmungsgemäßen Betrieb sowie meldepflichtige Ereignisse und Unfälle betreffen.

Beim Vergleich von Anlagen in Stilllegung und Leistungsbetrieb lassen sich keine systematischen Unterschiede im Informationsangebot feststellen. Das Informationsangebot variiert nicht mit Anlagenstatus, sondern vielmehr mit Bundesland. Gesetzlich vorgeschriebene Inhalte werden in vielen Fällen zur Verfügung gestellt, insbesondere hinsichtlich meldepflichtiger Ereignisse. Die Berichterstattung im Arbeitskreis Stilllegung wird regelmäßig fortgesetzt, eine statistische Auswertung erfolgte jedoch nur für die vorgestellte Präsentation.

### **5.3 Arbeitskreis Stilllegung (59) – September 2018 in Geesthacht**

Ein Mitarbeiter der GRS nahm am 59. Arbeitskreis Stilllegung im Kernkraftwerk Geesthacht teil. Dabei wurde über die aktuellen internationalen Aktivitäten der GRS berichtet und zwar über die folgenden Themen:

- Teilnahme am Technical Meeting der IAEA zur Stilllegung kleiner Anlagen (Start des MIRDEC-Projekts)
- IAEA-Workshop zur Stilllegungsplanung für Forschungsreaktoren
- ISOE-Symposium 2018 in Uppsala
- TGOM-Arbeitsgruppe der WPDD der OECD/NEA
- ETSON JSP Workshop zu Management von radioaktiven Abfällen, Umweltschutz und Stilllegung

Die Ergebnisse des TGOM-Projektes sind in Kap. 4.2.1 ausführlich beschrieben und werden an dieser Stelle nicht wiederholt.

Bei der Auftaktveranstaltung der IAEA zur Stilllegung kleiner Anlagen („small facilities“) wurde zunächst festgelegt, welche Anlagen hierunter fallen. Ausgeschlossen sind Anlagen, die mit Kernbrennstoffen arbeiten. Der Fokus liegt auf Beschleunigern, radiochemischen Laboren und medizinischen Einrichtungen.

Die Bedürfnisse und Erwartungen der Teilnehmerstaaten wurden abgefragt und dabei technische und regulatorische Lücken aufgedeckt. Ziel ist die Erstellung eines Berichts

der Tecdoc-Reihe, der als Leitfaden für künftige Stilllegungsprojekte kleiner Anlagen dienen kann. Fallbeispiele sollen bis Mitte 2019 im IDN-WIKI zusammengetragen werden. In Gruppenarbeit wurden Lücken und Bedarfe zur Unterstützung von Stilllegungsprojekten auf Basis der Präsentationen der Teilnehmer identifiziert. Darauf aufbauend wird das sogenannte MIRDEC-Projekt der IAEA gestartet und fortgeführt.

Der IAEA-Workshop zur Stilllegungsplanung für Forschungsreaktoren war die Nachfolgeveranstaltung eines Technical Meetings zum Thema Stilllegungsplanung beim Übergang von Betrieb in die Stilllegung von Forschungsreaktoren, welches 2014 stattfand. Rund 90 % der Anwesenden waren Betreiber. Der Fokus lag auf dem sogenannten verlängerten Stillstandsbetrieb, in dem sich derzeit 155 Anlagen befinden (Stand 8/2018). Die Erstellung eines Berichts der TecDoc-Reihe auf Basis der vorgestellten Präsentationen wurde begonnen.

In Gruppenarbeit wurden verschiedene Fragestellungen bearbeitet:

- Änderungen an den Anlagenprogrammen (Wartung, Inspektion, Überwachung, Notfallpläne, etc.)
- Praktische Aspekte im Zusammenhang mit der Entwicklung von Stilllegungsplänen, z. B. Strukturen, Systeme und Komponenten die bis zum Beginn der Stilllegung im betriebsfähigen Zustand gehalten werden sollen
- Konkrete Anwendung der Fragestellung an Fallbeispiel IRT-2000, Bulgarien

Beim ISOE-Symposium 2018 wurden Vorträge und Poster mit dem Schwerpunkt beruflicher Strahlenexposition vorgestellt. In einem Vortrag von der Anlage in Forsmark (Schweden), welche auch besichtigt wurde, wurde das stark unterschiedliche Auftreten der Kontamination und resultierender Ortsdosisleistungen der drei ähnlichen Reaktorblöcke dargestellt und erklärt. In den baugleichen Blöcken 1 und 2 ist die Co-60-Konzentration im Kühlmittel erhöht die Kontamination an Wänden der Berohrung ist in Block 1 jedoch konstant, während sie in Block 2 stark erhöht ist. In Block 3 ist die Konzentration im Kühlmittel gesunken, genauso wie die Kontamination. Die Phänomene in Block 3 erklärt sich durch die andere Materialzusammensetzung im Vergleich zu den übrigen Blöcken. In Block 2 verhält es sich im Wesentlichen deshalb anders als in Block 1, da hier eine Systemdekontamination durchgeführt wurde, die anschließend zu einer starken Rekontamination führte.

Auf dem ETSON-Workshop wurde in der Stilllegungs-Session über die Stilllegung von Forschungsreaktoren in Italien und in Rumänien berichtet, außerdem über die Stilllegung

britischer reaktorbetriebener U-Boote. Da keine Unterlagen vorlagen, wurde nicht detaillierter darüber vorgetragen.

#### **5.4 Arbeitskreis Stilllegung (60) – Februar 2019 in Berlin**

Am 60. Arbeitskreis Stilllegung nahm ein GRS-Mitarbeiter im Februar 2019 in der GRS Berlin teil und stellte die internationalen Aktivitäten der GRS im Bereich Stilllegung mit Schwerpunkt der Mitarbeit in internationalen Projekten vor.

Berichtet wurde über die Teilnahme am Pre-Conference-Workshop der „International Conference on Nuclear Decommissioning“ (ICOND) in Aachen, über die ISOE-Arbeitsgruppe WGDECOM (Working Group Decommissioning), die IAEA-Arbeitsgruppe COMDEC („Completion of Decommissioning“, siehe auch Kap. 4.1.2) und über die Hospitation im französischen Anlagenkomplex La Hague, Anlagenteil UP2-400 (siehe auch Kap. 4.3.3).

Im Pre-Conference-Workshop wurde über die Nutzung von Lasern in der Stilllegung vorgetragen. In einem Vortrag der TU Dresden wurde gezeigt, wie Laser zur mobilen Oberflächendekontamination genutzt werden können. Das Verfahren kann bei Beton- und für Metalloberflächen verwendet werden. Durch den Einsatz unterschiedlicher Aufsätze können entweder größere Flächen oder enge Winkel und Kanten optimal gereinigt werden. Gegenüber klassischen Verfahren hat die Laser-Dekontamination folgende Vorteile:

- Sekundärabfall wird reduziert
- Die physische Belastung und Strahlenexposition des Personals werden gemindert
- Ecken und Kanten können besser erreicht werden.

Auf Metall können Farbe, Schmutz und Korrosion entfernt werden. Im Fall von Beton kann eine radiologische Dekontamination bei gleichzeitiger Entfernung von Farbe bzw. PCB durchgeführt werden. PCB degradiert über 800 °C. Die entstehenden Reaktionsprodukte (Abgase) werden direkt abgesaugt und müssen zur Filterung auf < 100 °C abgekühlt werden. Das Verfahren erfordert schnelles Aufheizen und Abkühlen, was durch den Einsatz von Lasern am einfachsten realisierbar ist.

Bei der WGDECOM im Oktober 2018 wurde eine standardisierte Liste an Tätigkeiten (tasks) für die Dosissammlung während der Stilllegung erstellt. Angewendet wurde diese Liste auf zwei SWR-Anlagen aus den USA, sowie drei DWR-Anlagen in Spanien (1) und den USA (2). Eine standardisierte Liste von Stilllegungstätigkeiten innerhalb der ISOE-Datenbank wäre ein nützliches Hilfsmittel zur Verbesserung des radiologischen Arbeitsschutzes in der Stilllegung. Auf die bereits ausführlich beschriebenen Aktivitäten in den Projekten COMDEC (4.1.2) sowie die Hospitation in La Hague (4.3.3) wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen und auf die entsprechenden Kapitel verwiesen.

## **5.5 Weitere Beiträge zum nationalen Erfahrungsrückfluss**

- Für die nationalen und internationalen Fachgespräche Stilllegung (12. und 13. Dezember 2017, GRS Köln und 11. und 12. Dezember 2018, GRS Köln) wurden Präsentationen zum Engagement im DAROD-Projekt, zum IDN-Treffen 2017 sowie zum OECD/NEA-Projekt TGOM, zum IAEA-Projekt COMDEC und über die Konferenz DEM vorbereitet und gehalten. Auf die entsprechenden Kapitel in diesem Bericht wird verwiesen.
- Ein GRS-Mitarbeiter nahm an der internationalen Konferenz DEM (Dismantling Challenges: Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience) in Avignon vom 22. bis 24. Oktober 2018 teil (siehe entsprechendes Kapitel) und stellte ein Poster mit dem Titel „Simulation of the Occupational Radiation Dose caused by Decommissioning Work in PWR“ vor. Eine zuvor erstellte und eingereichte Publikation mit gleichlautendem Titel /SCH 18/ wurde im Rahmen der Veranstaltung zunächst digital mithilfe einer Konferenz-App (Android, iOS) veröffentlicht. Eine Publikation im Internet erfolgte Januar 2019.

## **5.6 Fazit zum nationalen Erfahrungsrückfluss**

Um die beim internationalen Erfahrungsaustausch gewonnenen Informationen in nationale Diskussionen zurückfließen zu lassen, wurden verschiedene Wege genutzt. In erster Linie wurde der zweimal jährlich stattfindende Arbeitskreis Stilllegung des Länderausschusses Atomkernenergie genutzt um vor Vertretern von BMU, BfE und den Ländern über aktuelle internationale Aktivitäten der GRS zu berichten. Die internationalen Aktivitäten waren jeweils Teil der Tagesordnung eines der beiden Jahrestreffen. Die beschriebenen internationalen Aktivitäten waren nicht beschränkt auf die Aktivitäten, die

mit diesem Vorhaben verknüpft sind. Somit konnten auch Informationen eingebracht werden, welche im Rahmen anderer Vorhaben gewonnen wurden.

Des Weiteren wurde bei den jährlichen nationalen und internationalen Fachgesprächen Stilllegung über die Ergebnisse der IAEA- und OECD/NEA-Projekte sowie über Erkenntnisse aus Konferenzbesuchen im Rahmen dieses Vorhabens berichtet. Durch die Publikation eines wissenschaftlichen Papers im Rahmen der Konferenz DEM wurden ferner Ergebnisse national und international verbreitet.

Generell ist sind in diesem Vorhaben gewonnene Erkenntnisse als implizites Wissen im Fachgebiet Stilllegung der GRS vorhanden und werden auf dieses Weise in kommende Arbeiten stets einfließen.

Das Konzept des Sammelns von Informationen auf internationaler Ebene durch Teilnahme und Mitarbeit an Projekten sowie Internetrecherche und des Rückflusses von Informationen bei nationalen Veranstaltungen wie dem Arbeitskreis Stilllegung hat sich als sinnvolles Konzept erwiesen und soll im geplanten Nachfolgevorhaben weiterverfolgt werden.

## Gesamtfazit

Im Verlauf dieses Vorhabens wurden Erfahrungen mit der Stilllegung im europäischen und außereuropäischen Ausland auf verschiedene Weise gesammelt und ausgewertet. Dabei sind aktuelle Trends auszumachen, wie die Digitalisierung der verschiedenen Schritte des Stilllegungsprozesses von der radiologischen Charakterisierung über die Arbeitsplanung und Durchführung unterstützt von Datenbrillen bis zum Management von Reststoffen und der optimierten Verpackung von radioaktiven Abfällen. Dieser Trend ist insbesondere in entwickelten Ländern vorzufinden, in denen auch die größte Anzahl kerntechnischer Anlagen vorzufinden ist. Die Schwerpunkte sind dabei individuell verschieden und hängen beispielsweise vom vorwiegend verwendeten Anlagentyp ab. Dementsprechend ist eine Übertragbarkeit für Deutschland nicht in allen Aspekten gegeben. Beispielsweise bereitet Frankreich derzeit den Abbau seiner graphitmoderierten, gasgekühlten Reaktoren vor, während vom Abbau der Leichtwasser-Reaktoren bislang kaum die Rede ist. Für die Stilllegungsplanung werden 3D-Modelle eingesetzt und das Verhalten des Graphits studiert. In Deutschland ist der Abbau des derzeit im Sicheren Einschluss befindlichen THTR-300 in Hamm noch nicht im engeren Fokus. Bei den Forschungsreaktoren stellt der FRJ-2 eine Herausforderung dar. Es bleibt abzuwarten, ob in Zukunft von Erfahrungen aus Frankreich profitiert werden kann.

Für die Stilllegung von Leichtwasserreaktoren, vieler Forschungsreaktoren aber auch der Wiederaufbereitungsanlage in Karlsruhe (WAK) sind die internationalen Erfahrungen im Bereich der Digitalisierung und anderer neuartiger Technologien häufig übertragbar. Für sehr hohe Ortsdosisleistungen, wie bei der WAK, kommen nur fernhantierte Methoden in Frage, für die unter Umständen sogar Erfahrungen aus Anlagen nützen können, die durch Unfälle beschädigt wurden und für die Spezialroboter entwickelt wurden und werden.

Abgesehen von Südost-Asien werden die Kernkraftwerkflotten in der ganzen Welt durchschnittlich immer älter und die Stilllegung von Anlagen ist bereits im Gange oder in der Vorbereitung. In diesem Punkt ist Deutschland, zusammen mit den USA, führend und kann auf einen großen Erfahrungsschatz zurückgreifen, diesen international teilen und damit die Stilllegung weltweit sicherer und effizienter machen. In technischer Hinsicht können Erfahrungen in beide Richtungen fließen und genutzt werden.

Manche internationale Praxis wie das sogenannte „Entombment“ oder sehr lange Phasen des Sicheren Einschlusses („Safestor“, „Care and Maintenance“) mögen in Flächenländern akzeptabel sein, nicht aber für das dicht besiedelte Deutschland oder andere europäische Länder.

Ein international wie national viel diskutiertes Thema ist das sogenannte „Change-Management“, das heißt die Umstrukturierung der Betriebsorganisation und des Personals vom Leistungsbetrieb hin zur Stilllegung. Das Spannungsfeld der Diskussion ist stets das gleiche: Wird das Eigenpersonal weitgehend abgebaut, geht Erfahrung und Wissen um die Anlage und ihre Historie verloren, gleichzeitig wird niemandem ein Umdenken und Neuorientieren abverlangt. Dieses wird nötig, wenn man das Eigenpersonal hält. Erfahrungen können noch viele Jahre genutzt werden, das Personal bekommt jedoch andere Aufgaben, die den bisherigen teilweise zuwiderlaufen. Entsprechende emotionale Bindungen des Personals an „ihre“ Anlage werden vielfach als hinderlich für den Abbau bewertet.

Wenngleich überall die gleichen Argumente für die Personalstrategien gelten, gibt es in verschiedenen Ländern andere Randbedingungen. Diese betreffen die genehmigungs- und arbeitsrechtlichen Voraussetzungen aber auch kulturelle und – auch innerhalb eines Landes – verschiedene unternehmerische Strategien, sofern Betreiber nicht rein staatlich sind. Insofern lassen sich verschiedene international angewendete Change-Management-Strategien nicht ohne Hintergrundwissen auf Deutschland übertragen. Nicht nur im Bereich der Kerntechnik ist in manch anderen Ländern die Möglichkeit des schnellen Entlassens und Einstellens von Personal einfacher als hierzulande. Die Betreiber von Kernkraftwerken in Deutschland verfolgen selbst unterschiedliche Strategien, jedoch erfolgt der Personalabbau häufig unter Berücksichtigung sozialer Gesichtspunkte oder das Personal wird innerhalb der Unternehmensgruppe umgeschult und versetzt.

Durch ausländische Konferenzbeiträge konnten globale Trends und nationale Herangehensweisen beobachtet werden, wobei diese zu einer positiven Darstellung tendieren. Im Unterschied dazu konnten durch die Mitarbeit in Arbeitsgruppen der IAEA und OECD/NEA stärker individuelle Herausforderungen im Detail erörtert werden. Insofern hat sich die Kombination aus Konferenzbesuchen, Analyse von Konferenzbeiträgen (Internetrecherche) und Mitarbeit in internationalen Arbeitsgruppen als sinnvolle und fruchtbare Kombination erwiesen.

Noch unmittelbarer an die Thematik des Abbaus konnte durch Hospitationen gerückt werden. Besonders bei der Hospitation im französischen La Hague (Unternehmen Orano, ehemals Areva) konnte direkt das Arbeitsgeschehen beobachtet werden. Hospitationen über mehrere Tage sind ein wünschenswertes Format zur Sammlung von Eindrücken und neuen Erkenntnissen. Sie setzen jedoch voraus, dass die gastgebenden Institutionen diese auch ermöglichen und die nötigen Kapazitäten bereitstellen. Es zeigte sich, dass es schwierig ist, Hospitationen zu etablieren und viele Monate zwischen Kontaktaufnahme und Durchführung liegen können. Trotzdem zeigen die vielfältigen gewonnenen Eindrücke, dass der Aufwand lohnt.

Neue Erkenntnisse flossen in Form von Beiträgen zum Arbeitskreis Stilllegung, bei Fachgesprächen Stilllegung und durch Publikationen wie auch dem vorliegenden Bericht zurück in die nationale Diskussion. Die Art des Erfahrungsrückflusses hat sich ebenfalls bewährt und soll auch im geplanten Nachfolgevorhaben beibehalten werden. Generell sind in diesem Vorhaben gewonnene Erkenntnisse als implizites Wissen im Fachgebiet Stilllegung der GRS vorhanden und werden auf diese Weise in kommende Arbeiten stets einfließen.



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 4.1	COMDEC-Projektstruktur.....	49
Abb. 4.2	Graphen von verschiedenen Aspekten der Erzeugung von Stilllegungsabfällen während der verschiedenen Phasen eines Stilllegungsprojektes.....	53
Abb. 4.3	Der Einfluss der Stilllegungsstrategie auf das (V)LLW Volumen .....	53
Abb. 4.4	Die Abfallhierarchie von der am meisten zu der am wenigsten zu bevorzugenden Option (links nach rechts), zusammen mit verschiedenen Optionen für das (V)LLW Management bei jedem Schritt .....	54
Abb. 4.5	radiologische Charakterisierung Durchführung .....	55
Abb. 4.6	Typischer (V)LLW Lebenszyklus.....	55
Abb. 4.7	Identifikation von Stakeholder-Beteiligung .....	56
Abb. 4.8	Übersicht über die Einflussfaktoren für den Übergang von Betrieb zur Stilllegung und die Stilllegungsplanung.....	58
Abb. 4.9	Übersicht über das Anlagengelände in La Hague .....	79
Abb. 4.10	Genehmigungsverfahren .....	83
Abb. 5.1	Umfang der zur Verfügung gestellten Informationen gegen das Jahr.....	89



## Literaturverzeichnis

- /ARC 18/ M. Archinger, M. Maqua; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH; 3. bilaterales Treffen BMU-NRA; Reisebericht; März 2018
- /ARC 18a/ M. Archinger; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH, Anlagenbesuch im Rahmen des 3. bilateralen Treffens BMU-NRA Reisebericht; März 2018
- /BAF 18/ Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle; Bericht nach § 7 des Transparenzgesetzes – Rückbau von Kernkraftwerken; Deutscher Bundestag Drucksache 19/6223, 29. November 2018
- /BFE 18/ Bundesamt für kerntechnische Entsorgung; Auflistung kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland; Stand Januar 2019
- /BKW 16/ BKW Energie AG: „Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg“; Hauptbericht Stilllegungsprojekt, Version 1.1; 10.03.2016
- /BRE 16/ B. Brendebach; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH; Vorbereitung auf die Stilllegung von Kernkraftwerken während des Betriebs und nach endgültiger Abschaltung: Ergebnisse einer OECD NEA Task Group; Vortrag beim 54. AK Stilllegung September 2016
- /BRU 16/ G. Bruhn; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH; Posterbeitrag zur Session 2 der IAEA CN-238; „Stakeholder involvement in Germany“; Mai 2016
- /BRU 16a/ G. Bruhn; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH; Reisebericht zur „Third International Conference on Nuclear Knowledge Management - Challenges and Approaches“; IAEA Wien, 07.-11.11.2016; Köln, 10. Februar 2017
- /CLA 18/ Anna Clark; OECD/NEA WPDD related activities; Wien, September 2018
- /DEW 17/ M. Dewald; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH; Vortrag zum 57. AK Stilllegung Lingen, September 2017

- /DEW 17a/ M. Dewald, B. Brendebach; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH; Planung zur Stilllegung und zum Abbau des Kernkraftwerkes Mühleberg (KKM) in der Schweiz; Juli 2017
- /DEW 19/ M. Dewald, B. Brendebach; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH; Präsentationen im Rahmen des Arbeitskreises Stilllegung für das Vorhaben 4716R01324; Anlage zum Abschlussbericht im Vorhaben 4716R01324; Köln, März 2019
- /DIT 19/ B. Dittmann-Schnabel, M. Dewald; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH; Reisebericht zur Hospitation im französischen Anlagenkomplex La Hague (Orano); Köln, März 2019; Entwurf
- /ENS 14/ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI); Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen – Stilllegung von Kernanlagen, ENSI-G17; April 2014
- /FRA 18/ Patrice Francois; First Annual Technical Meeting on the International Project Completion of Decommissioning; Working Groups 2 “Delivery of End State”; Wien, September 2018
- /GRS 14/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH; Stilllegung im internationalen Kontext - Übersicht zu internationalen Aktivitäten; Köln, 2. Juli 2014
- /GRS 17/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH; Datenblätter zur Stilllegung von Leistungsreaktoren in Deutschland, Stand: Juni 2017 (Revision 18)
- /GRS 18/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH; Übersicht über Stilllegungsprojekte in Deutschland, Teil I: Prototyp- und Leistungsreaktoren, Stand: Juni 2018
- /GRS 18a/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH; GRS-Projekte Stilllegung (international); Köln, 12. Juni 2018
- /IAE 16a/ IAEA CN-238; Liste der Teilnehmer; List of Participants; Mai 2016

- /IAE 16b/ Konferenzprogramm; conference program final; IAEA CN-238; Mai 2016
- /IAE 19/ IAEA; PRIS-Datenbank (Country statistics); letzter Aufruf am 20. März 2019
- /IAE 19a/ IAEA; RRDB-Datenbank (operational status of Research Reactors); letzter Aufruf am 20. März 2019
- /IAE 17/ IAEA; DAROD report; Entwurf; Wien, Oktober 2017
- /IAE 17a/ IAEA; International Workshop on Managing the Decommissioning and Remediation of Damaged and Legacy Nuclear Facilities; Summary Note 16.-20. Oktober 2017; Penrith, Großbritannien
- /ICO 17/ International Conference on Nuclear Decommissioning; ICOND-Tagungsband; Aachen 2017
- /ICO 18/ International Conference on Nuclear Decommissioning; ICOND-Tagungsband; Aachen 2018
- /IMI 19/ P. Imielski; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH  
Bericht über die Teilnahme an dem „First Technical Meeting on the International Project on Completion of Decommissioning (COMDEC)“; bei der IAEA Wien, 24.-28. September 2018 (Entwurf;; Berlin, Januar 2019
- /KAU 18/ Jörg Kaulard; First Annual Technical Meeting on the International Project Completion of Decommissioning; Working Groups 1 “Defining End State”; Wien, September 2018
- /KEG 03/ *Die Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft*  
Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003
- /KLA 17/ Jörg Klaren, Rolf Schulz and Oliver Wilhelm; Competent Employees for a Successful Decommissioning – Success with Preparation; February 2017
- /KON 17/ KONTEC 2017; Konferenz-Tagungsband; Dresden 2017

- /LEG 19/ Internetseite für französische Gesetzestexte; <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2007/11/2/DEVQ0762539D/jo/texte>; letzter Abruf: 02.02.2019
- /LJU 18a/ Vladan Ljubenov;; Recent Developments at the IAEA on Decommissioning; Wien, September 2018
- /MAT 18/ Maria Matsola; Overview on the IAEA CONNECT system – a system to improve information exchange; Wien, September 2018
- /MOR 18/ Simon Morgan, Anna Clark; First Annual Technical Meeting on the International Project Completion of Decommissioning; Working Groups 3 “Regulatory Aspects”; Wien, September 2018
- /NIS 15/ Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH; Peter Hipp; auf „Costs and Controlling for the Decommissioning of Nuclear Power Plants; 2015
- /NUK 16/ NUKEM Technologies Engineering; Marina Sokcic-Kostic, Roland Schultheis; Approval Measurement for Waste Concerning Contained Radioactivity; 2016
- /OEC 18/ OECD/NEA; Preparing for Decommissioning during Operation and after Final Shutdown - A Status Report from the NEA Task Group TGPF; verschiedene Autoren; 2018
- /OEC 16/ OECD/NEA; Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants; No. 7201; 2016
- /OSU 18/ Patrick O’Sullivan; Status Report on the International Decommissioning Network (IDN); 28 September 2018; IAEA, Vienna, Austria
- /PAR 18/ Jack D. Parrott, Chairperson; Overview of the IAEA International Project on Completion of Decommissioning (COMDEC); 28 September 2018; IAEA, Vienna, Austria

- /SCH 18/ S. Schneider, A. Artmann, G. Bruhn; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH; Simulation of the Occupational Radiation Dose Caused by Decommissioning Work in PWRs; Posterbeitrag im Rahmen der Konferenz DEM (Dismantling Challenges: Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience; Oktober 2018
- /SCH 18a/ S. Schneider, A. Artmann, G. Bruhn, F.-N. Sentuc, E. Strub; Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH; Universität zu Köln; Simulation of the Occupational Radiation Dose Caused by Decommissioning Work in PWRs; Publikation im Rahmen der Konferenz DEM (Dismantling Challenges: Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience, Konferenzpaper); veröffentlicht Oktober 2018
- /SEF 08/ Verordnung über den Stilllegungsfonds und den Entsorgungsfonds für Kernanlagen vom 7. Dezember 2001; Stand 1. Februar 2008
- /SKB 17/ Svensk Kärnbränslehantering AB; Clearance during dismantling and demolition of nuclear facilities; Report R-17-05; August 2017
- /SWI 16/ Swissnuclear; Kostenstudie 2016 (KS16); Schätzung der Nachbetriebskosten der Schweizer Kernkraftwerke; Oktober 2016

**Gesellschaft für Anlagen-  
und Reaktorsicherheit  
(GRS) gGmbH**

Schwertnergasse 1  
**50667 Köln**

Telefon +49 221 2068-0

Telefax +49 221 2068-888

Boltzmannstraße 14

**85748 Garching b. München**

Telefon +49 89 32004-0

Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200

**10719 Berlin**

Telefon +49 30 88589-0

Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4

**38122 Braunschweig**

Telefon +49 531 8012-0

Telefax +49 531 8012-200

[www.grs.de](http://www.grs.de)