nucmag.com

atw

International Journal
for Nuclear Power

2020

1

Energy Supply Without Nuclear: Winter 2022/23 is Coming

Dual-Use Act in Trialog

Nuclear Power Plants:
2019 atw Compact Statistics

ISSN · 1431-5254
24.– €

Programme Overview Inside!
KERNTECHNIK 2020

Stilllegung und Rückbau des Rossendorfer Forschungsreaktors RFR

Teil 2: Ausgewählte Aspekte der Durchführung von Stilllegung und Rückbau

Reinhard Knappik, Klaus Geyer, Sven Jansen und Cornelia Graetz

Im Teil 1 der Veröffentlichung (atw 11/12 2019) erfolgten nach einer Einführung die Objektbeschreibung, die Darstellung der Ausgangssituation (radiologisch, konventionell), die Erläuterung der Genehmigungsverfahren, das realisierte Planungskonzept sowie die Aufzählung von Meilensteinen der Stilllegung und des Rückbaus. Im zweiten Teil wird von ausgewählten Aspekten der Stilllegung- und Rückbaudurchführung berichtet.

7 Technische/ technologische Aspekte

Basierend auf den erteilten Genehmigungen erfolgten die Stilllegung und der Rückbau in den in **Tabelle 1** dargestellten Zeiträumen, aus denen in diesem Kapitel einige wichtige Aspekte aus technisch/technologischer Sicht dargestellt werden.

Zeitraum	Tätigkeiten	Genehmigung
06/1991 - 02/1998	sichere Betriebsführung der abgeschalteten Anlage gemäß Aufsichtlicher Anordnungen	Aufsichtliche Anordnungen
02/1998 - 07/2019	Innehaben, Betriebsführung gemäß Erster RFR-Stilllegungsgenehmigung	1. ; [5 , 6, 7]
11/1998 - 04/1999	Abbau 2. Kühlkreislauf	2.
04/2001 - 04/2005	Rückbau von Systemen und Komponenten des RFR	3.
04/2005 - 12/2007	Vorbereitende Maßnahmen zum Rückbau Reaktorbaukörper	4.
07/2007 - 04/2014	Abbau des Reaktorbaukörpers und Gebäude-Entkernung	4.
08/2013 - 11/2018	Abbruch der Objekte und Herstellen „Grüne Wiese“	4.

Tab. 1.
Zeiträume von Stilllegung und Rückbau sowie deren Genehmigungsbezug.

7.1 Betriebsführung der abgeschalteten Anlage gemäß Aufsichtlicher Anordnungen

Die Betriebsführung der abgeschalteten Anlage erfolgte bis zum Erhalt der Ersten Stilllegungsgenehmigung am 30. Januar 1998 u. a. auf der Grundlage der Aufsichtlichen Anordnung VKTA 40-42 des SMU vom 30. Dezember 1991 *[13]*. Im Zeitraum bis Oktober 1998 wurden technische, sicherheitstechnische und strahlenschutztechnische Maßnahmen zur Anpassung an den bundesdeutschen Standard durchgeführt, Genehmigungsanträge erarbeitet, das Betriebs- und Prüfhandbuch sowie der Sicherheitsbericht RFR erstellt, gutachterlich und behördlich geprüft, Stilllegungsarbeiten und insbesondere die Umlagerung der Brennelemente technisch und genehmigungsmäßig vorbereitet. Von besonderer Bedeutung war dabei die Umstellung der Entsorgungskonzeption von CASTOR-THTR auf CASTOR® MTR 2-Behälter. Mit einer eigens entwickelten Mobilen Umladestation sollte die Möglichkeit geschaffen werden, dass auch andere deutsche Forschungsreaktoren Brennelemente auf diese Art entsorgen können. Die Entwicklung, der Bau und die Kalterprobung der Mobilen Umladestation erfolgten in sehr guter Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern von 1993 bis 1999. Der atomrechtliche Genehmigungsantrag für die Überführung der Brennelemente in die Transport- und Lagerbehälter CASTOR® MTR 2 wurde im Januar 1994 gestellt und im Dezember 1998 die Genehmigung *[5]* erteilt. Zu den Vorarbeiten gehörten die Umlagerung von bestrahlten Brennelementen (ca. 400 Stück) vom Brennelemente-Lagerbecken AB 1 in das Brennelemente-Lagerbecken AB 2, welches im Jahr 1997 durch Einsatz diversitärer Messtechnik, erhöhtem Leckageschutz und Verbesserung der Wasseraufbereitung ertüchtigt wurde. Ab diesem Zeitpunkt befanden sich 889 Brennelemente im Lagenbecken AB 2 und 62 im Reaktorkern. Im September 1997 wurde das Wasser des Lagerbeckens AB 1 abgegeben und danach das Becken für die Nutzung als Reststofflagerbecken saniert.

Im Jahr 1994 erfolgte die Übergabe eines mobilen Betriebssystems sowie von unbestrahlten Brennelementen zur Nachnutzung an einem ungarischen Forschungsreaktor und 1995 die Ausfuhr eines weiteren Betriebssystems an ein Forschungszentrum in der Tschechischen Republik.

7.2 Betriebsführung gemäß 1. AtG-Genehmigung, Teilabbau 2. Kühlkreislauf, CASTOR-Beladung

Nach Erhalt der Ersten Stilllegungs-Genehmigung *[3]* erfolgten ab Februar 1998 die Betriebsführung sowie der Ablauf der Stilllegungsarbeiten auf der Grundlage dieser Genehmigung. Im April 1998 wurden die im Reaktorkern befindlichen Brennelemente in das Lagerbecken AB 2 umgelagert (**Abbildung 7**) und mit dem Ausbau der kernbrennstoffhaltigen Neutronendetektoren (Spaltkammer) die Kernmaterialfreiheit des Reaktorbehälters hergestellt.

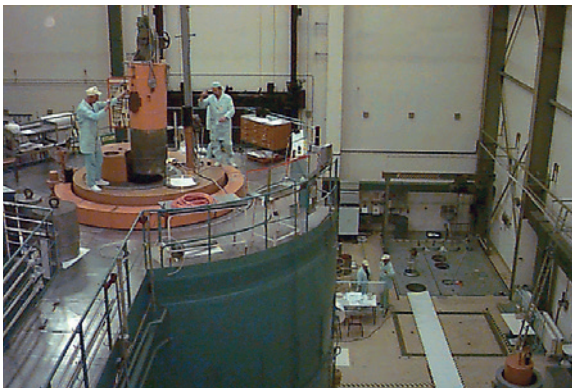

Abb. 7.
Entladung der Brennelemente aus dem Reaktorkern.

Nach Erhalt der Genehmigung *[5]* konnte mit der Überführung der 951 bestrahlten Brennelemente mit einer Gesamtaktivität von 8,91E+15 Bq und einer U-235-Masse von rund 54,6 kg in CASTOR® MTR 2-Behälter begonnen werden. Dies erfolgte in zwei Etappen, da Teile der Mobilen Umladestation von April bis Juli 1999 für den Einsatz am Reaktor der Medizinischen Hochschule Hannover genutzt wurden. Die **Abbildung 8** zeigt

Abb. 8.
Beladung eines CASTOR-Behälters.

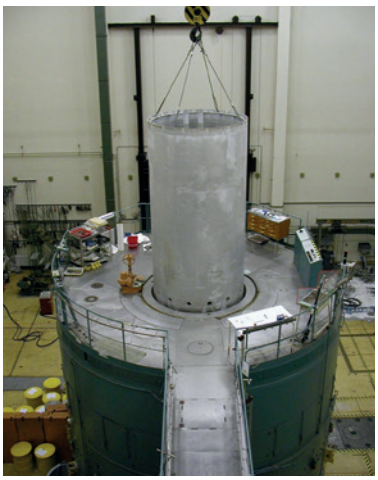

Abb. 9.
Ziehen des Reaktorbehälters.

das Aufsetzen des mit bestrahlten Brennelementen gefüllten Umlagebehälters Cäsar auf den CASTOR-Behälter. Mit dem Transport der restlichen CASTORen in die Transportbereitstellungshalle des VKTA bis November 2000 wurde das Vorhaben gemäß einer § 9 AtG-Genehmigung *[6]* abgeschlossen. Die kollektive Strahlenexposition bei den CASTOR-Beladearbeiten betrug 1,8 mSv und die maximale Individualdosis 0,24 mSv und war damit wesentlich niedriger als im Genehmigungsantrag ausgewiesen. Die CASTORen verblieben bis zum Abtransport in das Zwischenlager Ahaus im Mai/Juni 2005 in der Transportbereitstellungshalle am Forschungsstandort Rossendorf. Die weiteren kernbrennstoffhaltigen Abfälle wurden nach Erteilung einer Genehmigung nach § 9 AtG *[7]* im Februar 2001 verpackt und der radioaktive Abfall ins Zwischenlager Rossendorf überführt, so dass nach Herstellung der Kernmaterialfreiheit der RFR-Anlage am 26. Februar 2001 die Aufhebung der Sicherungsbereiche der Anlage erfolgen konnte.

Nach Erhalt der Zweiten Stilllegungs-Genehmigung am 30. Oktober 1998 *[4]* wurden alle Systeme und Komponenten des 2. Kühlkreislaufes (KKL) außer Betrieb genommen und von den Medienversorgungen getrennt. Vor Abgabe von rund 130 m^3 deionisiertem Wasser aus dem 2. KKL an die entsprechende Fachabteilung des VKTA wurde auf der Basis von Probennahmen und Analysen die Freigabe zur Ableitung erteilt. Im Verlauf des Jahres 1999 erfolgten der Rückbau der Komponenten sowie im August 1999 die Entlassung des Systems und der Gebäude (Pumpen- und Armaturenhaus, Trockenkühltürme) des 2. KKL aus dem Geltungsbereich des AtG. Nach Erhalt der baurechtlichen Genehmigungen wurden die Entkernung und der Abbruch dieser Gebäude sowie die Rekultivierung des Geländes vorgenommen.

7.3 Rückbau von Systemen und Komponenten des RFR

Von April 2001 an erfolgte in einem Zeitraum von vier Jahren neben der Entsorgung der Betriebsmedien, die Außerbetriebnahme und der Rückbau aller nicht mehr benötigten Systeme und Komponenten des RFR in 14 Teilschritten. Ein Teilschritt, der Abbau des Deaerators, konnte aus technologischen Gründen erst im Rahmen des Vierten Stilllegungsschrittes erfolgen. Die Leistungen wurden bis auf einen Teilschritt durch das ehemalige Reaktorpersonal bewältigt. Wichtige Teilschritte waren die Demontage der Einbauten und der Ausbau des Reaktorbehälters (**Abbildung 9**), das Freiräumen, die Dekontamination und Demontage der in Rossendorf als Heiße Kammern (HK, **Abbildung 10**) bezeichneten Heißen Zellen, der Abbau der Thermischen Säule (**Abbildung 11**), die Außerbetriebnahme und der teilweise Rückbau der Lagerbecken AB 1 und AB 2 sowie der Rückbau des 1. Kühlkreislaufes. So wurden beispielsweise beim Abbau des 1. KKL im Pumpenraum 95 % der kontaminierten Edelstahlteile (rund 40 Mg) nach Zerlegung zur Behandlung in die VKTA-Einrichtung transportiert, während rund 30 Mg anderer Stahl, das Abschirmmaterial aus Beton und Blei und der restliche Edelstahl uneingeschränkt freigegeben werden konnten.

Der Reaktorbehälter aus Aluminium wurde nach dem Ziehen gesäubert, beschichtet, verpackt und zur Konditionierung zu einem Dienstleister überführt. Letztendlich erhielt der VKTA 14 Abfallgebinde mit einer Nettomasse von rund 2,9 Mg zur Einstellung in das Zwischenlager Rossendorf zurück.

Die vier Heißen Kammern waren mit Stahlblech ausgekleidet, mit einer Schwerbeton-Abschirmung ummantelt und untereinander mit einem Transportkanal verbunden. Sie verfügten über einen Fußbodenablauf. Die Bedienung jeder Heißen Kammer erfolgte über einen Manipulatorraum mit zwei Manipulatoren. Genutzt wurden die Heißen Kammern, um die mittels Rohrpostanlage vom Reaktor kommenden bestrahlten Isotopenkassetten für die Weiterverarbeitung in der Isotopenproduktion vorzubereiten. Die Demontage, Dekontamination und Verpackung des Inventars der Heißen

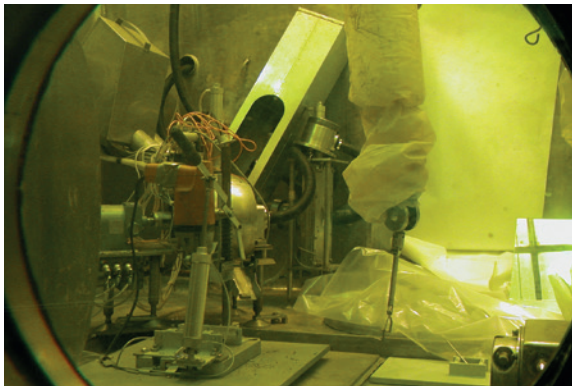

Abb. 10.
Blick in eine Heiße Kammer während der Demontage der Inneneinrichtung.

Abb. 11.
Thermische Säule vor der Demontage.

Kammern, der Transportwagenanlage sowie zugehöriger Antriebssysteme in den Manipulatorräumen mussten aufgrund des Kontaminationszustandes z. T. mittels fremdbelüfteter Vollschutzanzüge erfolgen.

Bei der Demontage der Thermischen Säule, die aus sechs aluminiumummantelten Graphit-Segmenten und einem Fahrwagen bestand, traten Dosisleistungen bis 3 mSv/h auf, zu deren Minimierung am Arbeitsort das aktivierte Vorderteil des Fahrwagens mit Bleiblechen abgeschirmt wurde. Nach einer Abklinglagerung konnten die Segmente 4 bis 6 nach Freimessung 2019 freigegeben werden. Der erreichte Zustand des Reaktorbaukörpers wird in **Abbildung 12** gezeigt.

7.4 Vorbereitende Maßnahmen zum Rückbau der Baustrukturen

Die vorbereitenden Maßnahmen, vor allem zum Rückbau der Baustrukturen sowie der bisher noch benötigten Systeme, begannen wegen fehlender finanzieller Mittel zeitlich um 18 Monate versetzt Ende September 2006, mit vorbereitenden Arbeiten, Umbauten an den Zugängen zum Kontrollbereich und Freischaltarbeiten, wie beispielsweise

- die Anpassung der Personen- und Materialwege,
- die Bereitstellung von Ausrüstungen und Transportmitteln,
- der Abbau der äußeren Anbauten am Reaktorbaukörper,
- die Anpassung der Medienver- und -entsorgung,
- die Errichtung einer Einhausung um den Reaktorbaukörper,
- umfangreiche lüftungstechnische Änderungen,
- der schrittweise Aufbau einer Baustromversorgung und
- statische Maßnahmen zur Erhöhung von Tragfähigkeiten.

Außerdem wurden die äußeren Reaktoranbauten, wie z. B. Kabeltrassen, demontiert, um Baufreiheit für die zu errichtende Einhausung zu schaffen. Die Einhausung wurde als Stahlbau errichtet, mit schwer entflammbaren, leicht dekontaminierbaren Folienwänden verkleidet, zur Be- und Entlüftung Filteranlagen im Umluftbetrieb eingesetzt sowie mit einem 5 t-Brückenkran ausgestattet.

7.5 Abbau des Reaktorbaukörpers und Gebäude-Entkernung

Diese Etappe begann, wiederum in Teilschritten gegliedert, im September 2007 im Kellergeschoss mit Abbrucharbeiten im Bereich der Abluftkanäle. Hier wurde der beim Abbruch des Reaktorbaukörpers zum Einsatz kommende funkferngesteuerte Abbruchbagger Top Tec 1850E getestet. In einem Durchführungszeitraum von ca. sieben Jahren wurden die in der angegebenen Folge aufgeführten Arbeiten erledigt:

- Abbau der Auskleidungen und Einbauten im Lagerbecken und in den Heißen Kammern (08/2007 bis 02/2011)
- Abbau des RFR-Baukörpers (04/2008 bis 08/2009)
- Abbau der in Beton verlegten Abluftkanäle und Rohrleitungen (01/2008 bis 12/2010)
- Abbruch der Heißen Kammern
- Abbau der Einhausung in der Reaktorhalle
- Entkernung und Dekontamination des Kontrollbereiches (09/2011 bis 09/2012)
- Entkernung des Labortraktes und der Warte (03/2014 bis 04/2014)
- Demontage der lüftungstechnischen Anlagen im Ventilations- und Filtergebäude (02/2013 bis 08/2013) einschließlich des Ausbaus der im Erdreich verlegten Abluftkanäle von der Reaktorhalle (06/2008 bis 08/2009)
- Entkernung des Ventilations- und Filtergebäudes (02/2013 bis 08/2013)
- Abbau und Entsorgung des Fortluftschornsteins (06/2013 bis 02/2014)

Der Abbruch des RFR-Baukörpers wurde mit dem erwähnten Bagger, der auf eine Plattform aufgesetzt wurde, durchgeführt. Die **Abbildung 13** zeigt eine schematische Darstellung des Abbruchs. Dabei erfolgte die Befestigung der Plattform auf dem obersten innenliegenden Gusseisenring des Reaktorkörpers. Entsprechend des Abbruchfortschrittes und der Reichweite des Baggers wurden dann die Plattform mit dem Bagger abgenommen, einige Gusseisenringe entfernt und nach erneutem Aufsetzen auf den nächsten Gusseisenring die Abbrucharbeiten weitergeführt. Reaktormittig war anstatt der Gusseisenringe zur Fixierung der Strahlrohre eine ca. 2,50 m hohe zylindrische Stahlzarge mit oberem und unterem Flansch eingebaut.

Das Abbruchmaterial wurde innerhalb der Reaktor-Einhausung mittels Brecher zerkleinert und anschließend in 500-l-Boxen verpackt zum Freimesszentrum transportiert. Der Abbruch der im Kellergeschoss befindlichen vier Heißen Kammern war

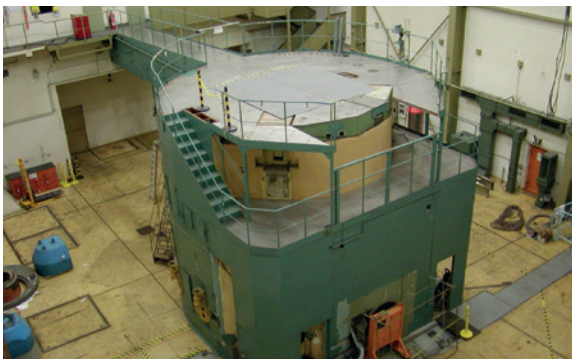

Abb. 12.
Reaktorbaukörper nach Abbau der Komponenten.

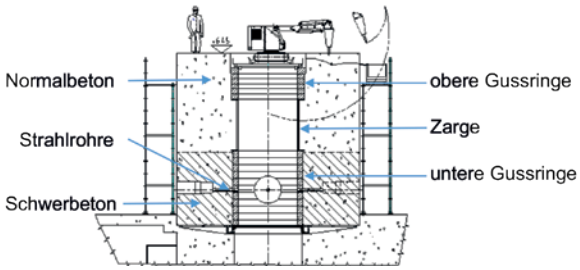

Abb. 13.
Schematische Darstellung des Abbaus des RFR-Baukörpers.

zunächst nicht geplant. Nach dem Ausbau der Einbauten und Auskleidungen der Heißen Kammern musste aber festgestellt werden, dass eine Freigabe des Betonkörpers der Heißen Kammern mit den eingebauten Fenstern und Plugs an der stehenden Struktur nicht erfolgen konnte. Somit wurden die Heißen Kammern nach Änderung der Materialwege im Gebäude ebenfalls abgebrochen. Dabei gestalteten sich die Arbeiten an der Transportwagen-Anlage mit den dazugehörigen Antriebssystemen in den Manipulatoren-Räumen aufgrund des Kontaminationszustandes ebenfalls als schwierig und musste teilweise in fremdbelüfteten Vollschutzanzügen durchgeführt werden. Des Weiteren erschwerte das unerwartete Auffinden einer komplizierten Stahlrahmenkonstruktion der Heißen Kammern die Arbeiten. Der Abbruch des Reaktorbaukörpers einschließlich der Heißen Kammern und Nebenanlagen endete im Juni 2011.

Ein interessanter Meilenstein war der Abbau des Fortluftschornsteines (**Abbildung 14**), der im Juli 2013 mittels zweier Mobilkräne (90 Mg und 250 Mg) vom Dach des Ventilationsgebäudes gehoben und im Hof des RFR zur Dekontamination und Zerlegung abgelegt wurde. Nach Verschluss aller Öffnungen und Anbringen einer partiellen Einhausung erfolgten Dekontamination, Freimessung nebst uneingeschränkter Freigabe und zeitnah die Reststoffentsorgung nach entsprechender Zerlegung vor Ort.

Abb. 14.
Abbau des Fortluftschornsteines vom Ventilations- und Filtergebäude.

Um die zwischen dem Reaktorgebäude sowie dem Ventilations- und Filtergebäude teilweise unter dem als Pavillon bezeichnetem Nebengebäude verlaufenden Abluftkanäle und Rohrleitungen ausbauen zu können, wurde der Pavillon im Zeitraum von September bis Oktober 2013 abgebrochen. Mit den weiteren Demontage-, Entkernungs- und Grobdekontaminationsarbeiten wurden die Voraussetzungen für die schrittweise Freimessung des Labortraktes mit Reaktorwarte, Reaktorhalle und Ventilations- und Filtergebäude geschaffen. Zudem erfolgten Vorbereitungsarbeiten wie beispielsweise Umbauten am Hallenkran zum Freimessen der Hallendecke.

7.6 Abbruch der Objekte und Herstellen „Grüne Wiese“

Mit Erteilung der 2. Änderungsgenehmigung zum Vierten Stilllegungsschritt wurde der Überwachungsbereich erweitert. Die erteilten SMUL-Zustimmungen zum Teilabbruch des Ventilations- und Filtergebäudes (Oktober 2014) sowie zum Abriss von Gebäudestrukturen des Labortraktes inklusive Warte und Reaktorhalle (Juli 2015) bildeten eine der Voraussetzung für die letzte Rückbau-Etappe. Dabei waren aufgrund vorausgehender konventioneller Untersuchungen insbesondere teerhaltige Beschichtungen und künstliche Mineralfasern als Schadstoffe zu beachten, entsprechend zu separieren und zu entsorgen. Außerdem ist zu erwähnen, dass bedingt durch lokale Kontaminationen mit dem Alphastrahler Am-241 die Abluftanlagen im Ventilations- und Filtergebäude unter erhöhten Strahlenschutzmaßnahmen, vor allem zum Inkorporationsschutz durchgeführt werden mussten. Zu diesem Arbeitsabschnitt gehörten weiterhin:

- der Ausbau von Rohrleitungen, Kabeln, Kanälen und Schächten im Hofbereich (Abschluss Dezember 2016)
- das Verfüllen der zuvor freigegebenen Baugruben und Gräben nach jeweiliger Zustimmung durch das SMUL
- die Abdeckung der Hofflächen
- die Profilierung des Geländes bis zur Herstellung der „Grünen Wiese“ (November 2018)

Die **Abbildung 15** zeigt den Abbruch des Ventilations- und Filtergebäudes, der im Zeitraum von Dezember 2014 bis Ende April 2015 durchgeführt wurde und die entstandene Baugrube nach deren Teilverfüllung, damit die im hinteren Geländebereich bis zum Zaun des RFR-Geländes befindlichen Rohrleitungen in einem weiteren Teilschritt ausgebaut werden konnten.

Der oberirdische Abbruch des freigegebenen Labortraktes inklusive Reaktorhalle erfolgte von August bis November 2015 unter Einsatz eines 50 t Baggers mit sogenannter Longfront (**Abbildung 16**). Anschließend wurden die unterirdischen Baustrukturen mittels Abbruchbagger bis August 2016 abgebrochen (**Abbildung 17**), zerkleinert und bis auf die Massen aus den „Freigabeinseln“ *[15]* (siehe Abschnitt 8) entsorgt. An den zwei tiefsten Seiten wurde die Baugrube vor Abbruch der Kellerstrukturen zur Minimierung von Erdstoffbewegungen und zur Sicherung von Fahrwegen mit einer Spundwand gesichert, die im Zuge der Verfüllung wieder gezogen wurde. Der sukzessive Ausbau von Rohrleitungen und Schächten, beispielhaft gezeigt in **Abbildung 18** vor dem Abbruch des Labortraktes, war eine logistisch und entsorgungstechnisch anspruchsvolle Aufgabe, da erhebliche Erdstoffmassen bewegt bzw. zwischengelagert werden mussten, ohne die weiteren Rückbau- bzw. Messaufgaben zu behindern. Nach dem Ausbau erfolgten die Vorbereitungen

Abb. 15.
Abbruch des Ventilations- und Filtergebäudes (links) und teilverfüllte Baugrube (rechts).

Abb. 16.
Abbruch des Labortraktes und der Reaktorhalle.

Abb. 17.
Abriss der Kellerstrukturen.

Abb. 18.
Abbau von Abluftleitungen an der Reaktorhalle.

Abb. 19.
Teilansicht der Baugrube RFR mit Rastermarkierung und zusätzlich ausgehobenen Rasterflächen.

zur Freimessung der Bodenflächen, die Messungen u. a. mittels In-situ-Gammaspektrometrie sowie die Entnahme von Erdreich-Proben, die hinsichtlich Radionuklide und konventioneller Schadstoffe untersucht und bewertet wurden. Bei der Bewertung der Baugrube RFR stellte sich heraus, dass drei Rasterflächen (**Abbildung 19**) noch eine PAK-Kontamination aufwiesen, so dass ein weiterer Erdaushub und erneute Analysen erforderlich wurden, um letztendlich die Schadstofffreiheit des Baufeldes RFR festzustellen.

Bis Ende 2016 waren alle Objekte im RFR-Gelände ausgebaut und bis auf eine Restmenge alle Stoffe freigemessen, freigegeben und entsorgt. Die Verfüllung der Baugruben mit Kontrolle der bodenmechanischen Kennwerte und des eingebauten Erdreiches sowie die Profilierung des Geländes erfolgten bis Ende 2018. Im Juni 2018 wurde der Antrag auf Entlassung des RFR aus dem Geltungsbereich des AtG beim SMUL gestellt und mit weiteren Unterlagen bis Juli 2019 ergänzt.

7.7 Arbeits- und Brandschutzaspekte

Wie bei allen Rückbauprojekten besaß der Arbeits- und Brandschutz eine hohe Priorität. Alle Arbeiten wurden stets unter Beachtung der gesetzlichen Bestimmungen sowie entsprechend den Vorschriften der Unfallversicherungsträger durchgeführt. In Vorbereitung eines jeden Rückbauvorhabens wurde ein Rückbauerlaubnisverfahren durchgeführt. Dabei betrachtete man mittels einer Checkliste „Voraussetzungsprüfung für Rückbauphase“ u. a. vorliegende sicherheitstechnische Anlagen des RFR wie Brandbekämpfungseinrichtungen. Vor Beginn eines jeden Loses eines Vorhabens wurden im Rahmen einer Arbeitsplatz-Gefährdungsbeurteilung die möglichen Gefährdungen, wie gesundheitsgefährdende Stäube etc., ermittelt sowie die technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Abwendung der Gefährdungen und zur Gewährleistung der Sicherheit festgelegt. Bei den Gefährdungsbeurteilungen waren die verantwortlichen Mitarbeiter der jeweiligen Dienstleister involviert. Jeder Dienstleister erstellte dazu noch die für seine Tätigkeiten erforderlichen Unterlagen wie z. B. Abbruchanweisungen oder spezielle Gefährdungsbeurteilungen. Mit einem Arbeitserlaubnis-Schein überprüften Gesamtverantwortlicher, Einsatzleiter, Durchführender und Strahlenschutzbeauftragter die festgelegten notwendigen Arbeitssicherheits-, Brandschutz- und Strahlenschutzmaßnahmen mit dem Ziel der Freigabe des jeweiligen Arbeitsvorhabens. Diese Arbeitserlaubnis beinhaltete auch die Überprüfung der Notwendigkeit eines Erlaubnisscheins für Erdarbeiten, eines Erlaubnisscheins für Arbeiten in Behältern und engen Räumen, einer Arbeitserlaubnis für feuergefährliche Arbeiten sowie einer Freischalterlaubnis. Im Vorfeld wurden den Dienstleistern notwendige Unterlagen zum Verhalten auf dem Betriebsgelände übergeben. Vor Arbeitsaufnahme fand eine Unterweisung der Dienstleister statt. Hier erhielten sie Informationen zum Strahlenschutz, zur Gewährleistung der Ersten Hilfe (Standorte der Verbandskästen), zu Notrufen, Fluchtwegen und Sammelplätzen. In der gesamten Rückbauzeit gab es keine bedeutsamen Arbeitsunfälle und keine Brände.

8 Strahlenschutzaspekte

Die Aufgaben des Strahlenschutzes im Rückbau gliederten sich in drei Schwerpunkte:

- Emissionsüberwachung
- Dosimetrische Überwachung
- Betrieblicher Strahlenschutz/Anlagenüberwachung

Die Emissionsüberwachung und die dosimetrische Überwachung erfolgten durch den zentralen Strahlenschutz des VKTA. Die betriebliche Strahlenschutzüberwachung/Anlagenüberwachung erfolgte durch Mitarbeiter des Rückbau-Strahlenschutzpersonals, untergeordnet durch Mitarbeiter des zentralen Strahlenschutzes.

8.1 Emissions- und Immissionsüberwachung

Die Überwachung erfolgte im Rückbauzeitraum in Anlehnung an die Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen.

Abwasser

Im Zeitraum 1998 bis inkl. 2015 erfolgte die Überwachung kontaminationsverdächtiger Abwässer durch Probennahmen an insgesamt vier Sammelstellen. Später wurde die Sammlung in entsprechenden Kleinbehältern realisiert, wobei es sich dabei hauptsächlich um Waschwässer handelte. Von insgesamt ca. 700 m³ angefallenen Wässern konnte für ca. 430 m³ ein Entscheid zur Ableitung erteilt werden. Diese erfolgte überwiegend über die Laborabwasserreinigungsanlage des Forschungsstandortes, die seit 2001 in Betrieb ist. Eine Ausnahme bildete hier die Ableitung von ausschließlich H-3-haltigem Deionat aus dem Abklingbehälter 2 des RFR im März 2005. Diese Ableitung wurde nach Zustimmung der zuständigen Behörde dosiert direkt in den Vorfluter Kalter Bach vorgenommen und stellte mit 3,8E+10 Bq H-3 zugleich die bedeutendste Ableitung aus dem RFR dar. Die Ausschöpfung der festgelegten Obergrenze betrug maximal 5 %.

Die restlichen Abwässer mit erhöhtem Radionuklidinventar wurden vor Ableitung dekontaminiert. Insgesamt betrug das Abwasseraufkommen aus dem RFR und den dazugehörigen Behältern 5 % der Gesamtwassermenge des Forschungsstandortes im oben genannten Zeitraum.

Fortluft

Die gefilterte Abluft wurde über den 41,8 m hohen Fortluftschornstein des Ventilations- und Filterhauses abgeleitet. Die Überwachung der Fortluft erfolgte kontinuierlich durch Messungen am isokinetisch aus dem Fortluftschornstein entnommenen Teilvolumenstrom. Dieser wurde mittels Aerosol- und H3/C14-Sammlers hinsichtlich Alpha-, Beta,- und Gamma-Aerosolen sowie hinsichtlich gasförmigem H3 und C-14 gemessen und bilanziert. Dabei betrug im Rückbauzeitraum die maximale Ausschöpfung der Obergrenzen bei Gasen 31 % (H-3 im Jahr 1994) und bei Schwebstoffen 36 % (Alphastrahler im Jahr 2004), 11 % (Betastrahler im Jahr 2004) sowie 0,2 % (Gammastrahler im Jahr 2007).

Im Zuge des fortschreitenden Rückbaus wurde mit der Inbetriebnahme mobiler Abluftanlagen sowie dem Rückbau des Fortluftschornsteins ab August 2012 die Fortluftüberwachung der Restanlage aufgrund der vernachlässigbaren Emissionen eingestellt. Für eine Übergangszeit erfolgte allerdings bis 2013 noch eine Überwachung auf Aerosole mit Ableitung der Fortluft über einen eigens am Ventilations- und Filtergebäude errichteten 10-m-Kamin. Die im Fortluft-Emissionsplan für den Emittenten „RFR“ festgelegten Obergrenzen wurden im gesamten Zeitraum für alle Nuklidgruppen weit unterschritten.

Immissionsüberwachung

Die Immissionsüberwachung des Forschungsstandorts Rossendorf umfasste neben der Überwachung der weiteren Umgebung (Beprobung Sediment, Grasproben, Lebensmittelproben) auch die Ortsdosimetrie mit

Festkörperdosimetern an Grenzen von Strahlenschutzbereichen, so auch am RFR. Der maximale Wert durch Direktstrahlung an Grenzen des Strahlenschutzbereichs RFR zum Betriebsgelände wurde dabei mit 0,7 mSv in Jahr 1994 gemessen.

8.2 Dosimetrische Überwachung

Die Überwachung der Inkorporationen erfolgte durch Messungen im Ganzkörperzähler hinsichtlich gammastrahlender Nuklide sowie Ausscheidungsanalysen (Stuhl, bspw. hinsichtlich U/Pu-Nuklide oder Am-241, Urin, bspw. Sr-90+). Hierbei wurden das Eigenpersonal sowie das Fremdpersonal überwacht. Die maximale effektive Folgedosis in einem Kalenderjahr betrug 2,36 mSv.

Die amtliche Überwachung der äußeren Exposition erfolgte durch Ganzkörperdosimeter. Dabei kamen Albedo- und Filmdosimeter zum Einsatz. Es wurde nur das Eigenpersonal überwacht. Das Fremdpersonal wurde durch die jeweiligen Fremdfirmen überwacht. Die maximale Körperdosis in einem Kalenderjahr betrug 0,6 mSv. Die Kollektivdosis als Summe der effektiven Folgedosis aus Inkorporation und der äußeren Exposition von 1998 bis 2018 lag bei etwa 18 mSv.

Die zusätzliche betriebliche Überwachung erfolgte mit Hilfe von elektronischen Dosimetern sowie Festkörperdosimetern zur Teilkörperüberwachung.

8.3 Anlagenüberwachung

Die Anlagenüberwachung umfasste die Überwachung der Oberflächenkontamination, der Ortsdosisleistung und der Raumluftaktivität. Dies geschah in Form routinemäßig überwachter Messpunkte im festen Turnus sowie projekt- oder anlassbezogen. Dies bedeutete, dass jeder Rückbauschritt durch ein abgestimmtes Überwachungsprogramm abgedeckt wurde.

Aus den Ergebnissen der Anlagenüberwachung wurden Rückschlüsse auf die einzusetzende Schutzkleidung gezogen, um jederzeit einen ausreichenden Schutz der Mitarbeiter zu gewährleisten, ohne überzogene Schutzmaßnahmen festzulegen. Da bei vielen Rückbauschritten das Vorhandensein von Alphastrahlern in inkorporationsrelevanten Größenordnungen nicht ausgeschlossen werden konnte, musste eine entsprechend feingliedrige Anlagenüberwachung durchgeführt werden. Die Datenhaltung und -auswertung erfolgte mit Hilfe einer im VKTA entwickelten Datenbank.

Überwachung der Ortsdosisleistung

Zur Überwachung der Ortsdosisleistung wurden an festgelegten Messpunkten in den Strahlenschutzbereichen und an deren Grenzen jährlich ca. 600 bis 1000 Messungen vorgenommen, wobei nur an einzelnen Stellen Werte >15 µSv/h gemessen wurden. (Das in Arbeitsbereichen ermittelte Maximum lag bei 3 mSv/h.).

Überwachung der Oberflächenkontamination

Zur Überwachung der Oberflächenkontamination wurden an festgelegten Messpunkten jährlich neben ca. 400 bis 800 Routinemessungen projektbegleitende Messungen an bestimmten Rückbauorten mittels Wischprobennahmen und α- bzw. β/γ-gesamtzählenden Direktmessungen vorgenommen. Untergeordnet kamen Kratzprobennahmen zum Einsatz. Während die Ergebnisse der Routineuntersuchungen im Bereich der Nachweisgrenze bzw. innerhalb der Grenzwerte nach StrlSchV lagen, ergaben sich an Arbeitsorten z. T. Messwerte, die Größenordnungen darüber lagen. Dazu gehörten auch α-Oberflächenkontaminationen, die auf eine Am-Freisetzung zurückzuführen waren.

8.4 Meldepflichtige Ereignisse

Im gesamten Stilllegungs- und Rückbauzeitraum gab es zehn meldepflichtige Ereignisse, z. B. einen Defekt des Hallenhubtores oder die Beschädigung der Laufkatze des Reaktorhallenkrans. Sie besaßen alle keine radiologische Relevanz.

9 Freimessung und Freigaben

Um den hauptsächlichen Stoffanteil des RFR-Rückbaus einer Verwertung oder Entsorgung zuzuführen, bestand die Zielstellung, möglichst zeitnah umfassend Freimessungen vorzugsweise aller Reststoffe durchzuführen, auf deren Basis die Freigabe gemäß § 29 StrlSchV2001 erteilt werden kann. Im VKTA wurden dazu in Abstimmung mit dem SMUL zwei Verfahrenswege genutzt:

1) Zum einen konnten auf der Grundlage behördlich zur Freimessung zugelassener Messverfahren Reststoffe freigemessen und nach Bewertung der Ergebnisse durch den Freigabe-Strahlenschutzbeauftragten bzw. ab 12/2005 dem Freigabebeauftragten freigegeben werden, sofern er die Übereinstimmung mit den Festlegungen des auf dem Freigabebescheid fußenden innerbetrieblichen Regelwerkes festgestellt hatte.
2) Zum anderen wurden für Gebäude/Gebäudestrukturen zur Weiterverwendung bzw. zum Abriss, Baugruben, Gräben zur Verfüllung und die Freigabe von Bodenflächen sogenannte Freimessprogramme vom VKTA erstellt, die nach behördlicher Zustimmung umgesetzt wurden. Auf der Basis erstellter Unterlagen (Ergebnisbericht, Freigabeanträge) erfolgten die betriebliche Freigabe und die Dokumentenübermittlung an das SMUL, das in der Regel einen Sachverständigen einschaltete. Mit den Ergebnissen des Sachverständigen erteilte das SMUL nach deren Prüfung die Freigabe.

Die Vorbereitung und Durchführung der Freimessung erfolgte schon mit Beginn des jeweiligen Rückbauschrittes. Sie durchläuft dabei prinzipiell die Abfolge:

- Historische Erkundung
- Radiologische Erkundung
- bei Bedarf auch Dekontamination, diese mit Ergebniskontrolle
- Vormessung
- Erstellung des Freimessprogrammes nebst behördlichem Bestätigungsverfahren/Begutachtung
- ggf. Feindekontamination
- ggf. Messungen zur Überprüfung des Dekontaminationserfolges
- Entscheidungsmessung
- Übergabe der Ergebnisse in Analogie zum Freimessprogramm, Auswertung an die Behörde
- Kontrollmessung/Begutachtung
- Prüfung durch die Behörde
- Freigabe

Zur radiologischen Bewertung kamen vorrangig folgende Verfahren zum Einsatz:

- Gesamtzählende Direktmessungen der Ortsdosisleistung und der Oberflächenkontamination
- Probenauswertung mit α-, β-, γ-gesamtzählenden Messplätzen sowie Flüssigszintillationszählern
- Laborgammaspektrometrische Untersuchungen von Proben mittels HP-Ge-Detektoren in abgeschirmten Messplätzen sowie α- und β-nuklidspezifische Analysen
- In-situ-gammaspektrometrische Messungen
- Messungen von Gebinden im Freimesszentrum des VKTA

Oftmals fanden vor Einsatz der Messverfahren Probenaufbereitungen

statt, teils in Form aufwändiger radiochemischer Trennverfahren. Nähere Einzelheiten zum konzeptionellen Herangehen und zur messtechnischen Umsetzung der Freimessung RFR können aus *[14]* entnommen werden. Freimessungen und Freigaben wurden zeitlich gestrafft und erreichten in der Rückbauphase einen großen Umfang; erfolgten aber auch schon in der Stilllegungsphase bis 2001. Beispielhaft sei erwähnt, dass man für die Entscheidungsmessungen und Freigaben der Baustrukturen Labortrakt, Reaktorwarte und Reaktorhalle rund 12 Monate (Januar 2013 bis Januar 2014) benötigte.

Nicht sofort freigabefähige Komponenten, an denen aber nach Behandlung eine vollständige oder teilweise Freigabe erwartet werden konnte, wurden der VKTA-Einrichtung zur Behandlung schwachradioaktiver Abfälle zugeführt. Diese Bearbeitung sowie die Behandlung von Abklingabfällen aus dem Zwischenlager Rossendorf werden noch einige Zeit benötigen.

Während in der ursprünglichen Planung für den Labortrakt mit Reaktorhalle sowie für das Ventilations- und Filtergebäude die komplette Freigabe an der stehenden Struktur mit anschließendem konventionellen Abriss vorgesehen war, konnte dies nicht realisiert werden. Gründe dafür lagen vor allem in statischen Erfordernissen – die Entfernung oder Dekontamination kontaminierter Komponenten bzw. die messtechnische Bewertung einzelner Objekte war nicht möglich, ohne die Statik des Gebäudes zu gefährden. Diese Stellen wurden als sogenannte „Freigabeinseln“ aus der Gesamtheit der freizugebenden Strukturen herausgenommen und vor Ort nebst entsprechendem Sicherheitspuffer gekennzeichnet. Durch diese Freigabeinseln ergaben sich Umplanungen bei der Durchführung des Abbaus und Ergänzungen in Form von weiteren Erläuterungsberichten. Nach Abriss des restlichen (weit überwiegenden) Teils des Gebäudes wurden die Freigabeinseln ausgebaut und entsprechend Verfahrensweg 1) bewertet *[15]*.

Für Stilllegung und Rückbau der RFR-Anlagen wurden seit 2008 ca. 1400 Freigabevorgänge in Form von Einzel- bzw. Gruppenanträgen erfolgreich abgeschlossen, zwischen 1998 und 2007 ca. 450. Insgesamt erfolgten Freigaben für eine Stoffmenge von rund 20.000 Mg. Zudem wurde bedingt durch Baugrubenböschungen und Gräben sowie einige nicht vermeidbare Mehrfachbewertungen eine Gesamtfläche von rund 12.000 m^2 überwiegend nach $StrlSchV_{2001}$ Anlage III Tabelle 1 Spalte 6 entsprechend einer mit dem SMUL abgestimmten Verfahrensweise freigegeben. Folgende Freigabepfade (Bewertung nach $StrlSchV_{2001}$ Anlage III Tabelle 1) wurden im Zuge der Freimessung und Freigabe beschritten:

- Spalten 4 und 5/9 (bzw. 9a, 9c) für Einzelteile
- Spalten 5/9 (bzw. 9b, 9d) für brennbare Reststoffe
- Spalte 5/9 für entnommenes Erdreich bzw. entnommenen Bauschutt
- Spalte 6 für tiefliegende Teile des Erdreichs nach Zustimmung der Behörde (mit anschließender Abdeckung von 80 cm – im Randbereich von 30 cm und entsprechendem Überdeckungsnachweis an die Behörde)
- Spalte 7 für oberflächennahe Teile des Erdreichs, Bodenoberflächen
- Spalte 8 für nicht ohne weiteres rückbaubare tiefliegende Strukturen (Ausnahmefall)
- Spalte 10 für Gebäude und Gebäudeteile zum Abriss

10 Freigegebene Reststoffe und radioaktive Abfälle

Der erreichbare Rückbaufortschritt wird maßgeblich von der zügigen Entfernung der freigebbaren Reststoffe und radioaktiven Abfälle von der Baustelle bestimmt. Um kostenaufwendige Zwischenlagerschritte zu minimieren, wurde auf die zügige Entsorgung freigabefähiger Reststoffe großen Wert gelegt. Bereits durch die Voruntersuchungen, die sowohl radiologisch als auch schadstoffbezogen durchgeführt wurden, konnten Art und Umfang relevanter Schadstoffklassen erkannt und Vorarbeiten für die spätere Deponierung und Verbrennung (z. B. Klärung des Deklarationsumfanges, Vertragsbindung mit Entsorgungsanlagen, Entwicklung von Mess- und Bewertungsverfahren) gelegt werden. Weiterhin wurden rückbaubegleitend Überprüfungen veranlasst bzw. detaillierte Untersuchungen an den Stellen vorgenommen, die in den Voruntersuchungen nicht oder nur partiell erfasst werden konnten. Durch die sorgfältige und kleinteilige Trennung des radioaktiven Abfalls von den Reststoffen wurde der Stoffanteil zur Endlagerung minimiert.

Die Betrachtung der potentiellen wie realen Schadstoffsituation aus chemotoxischer Sicht nahm in der Bearbeitung einen nicht zu unterschätzenden Anteil ein, da sowohl hinsichtlich der Entsorgung und Verwertung der Reststoffe als auch hinsichtlich der Endlagerung die stoffliche (Schadstoff-) Charakterisierung einen hohen Stellenwert besitzt. Als dominierender konventioneller Schadstoff für die Einstufung der Abfälle nach Freigabe ergaben sich die Polyzyklische Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK; Vorkommen z. B. in teerhaltigen Dachpappen, Sperrschichten außerhalb und innerhalb von Gebäuden) sowie damit korrelierend der Phenolindex. Für die Bewertung in Hinblick auf die Entsorgung wurden die Zuordnungskriterien gemäß Deponieverordnung *[16]* und LAGA *[17]* zu Grunde gelegt. Bedingt durch die außenliegenden Sperrschichten im Bereich der unteririschen Baustrukturen war in gebäudenahen Bereichen das Erdreich teilweise PAK-kontaminiert. In *[11]* wird detaillierter auf die Reststoffentsorgung nach Freigabe gemäß § 29 $StrlSchV_{2001}$ beim RFR-Rückbau eingegangen.

Insgesamt wurde beim RFR-Rückbau eine Stoffmenge von rund 41.000 Mg erhalten, die sich zunächst in radioaktiver Abfall (330 Mg), behandlungsfähiges Material (200 Mg) und freigabefähige Reststoffe (40.470 Mg) aufteilte. Der Anteil an radioaktivem RFR-Abfall konnte bedingt durch die Behandlung einer Teilmenge sowie der Abklinglagerung auf rund 150 Mg reduziert werden, wobei sich davon bereits rund 2 Mg im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben befinden. Die noch zu behandelnde Reststoffmasse beträgt rund 40 Mg. Daraus ergeben sich derzeit folgende prozentuale Anteile: 99,5 % freigegebene Reststoffe davon rund 49 % zweckgerichtet freigegeben, 0,4 % radioaktiver Abfall und 0,1 % noch zu behandelndes Material. In der **Abbildung 20** wird zu diesen Angaben ein Materialbezug hergestellt.

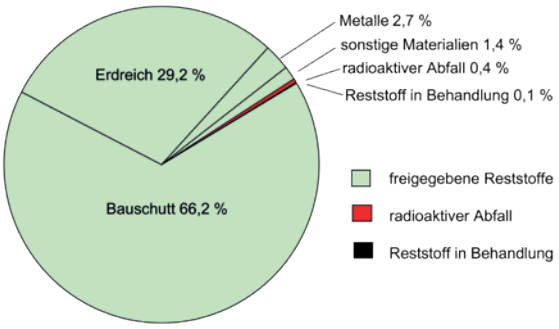

Abb. 20.
Prozentuale Materialangaben zu den Rückbaumassen.

Die Konditionierung der radioaktiven Abfälle zur Endlagerung, z. B. durch Hochdruckverpressung, verlief z. T. parallel zum Rückbau. Vor allem aufgrund der Randbedingungen im Rahmen der Produktkontrolle sind bis zur Abgabe aller vorhandenen radioaktiven Abfälle in das Endlager Konrad noch eine ganze Reihe von Aufgaben zu bewältigen.

11 Kosten

Die genaue Kostenaufschlüsselung im VKTA und speziell die Betrachtungsweise der Rückbau- und Sanierungsprojekte wechselte seit 1992 mehrfach. Somit ist eine genaue Abschätzung alleine für den RFR nicht möglich. Für den Rückbau und die Sanierung der Flächen des RFR, der Isotopenproduktion und der Entsorgungsanlagen wurden ca. 59 Millionen € verwendet. In dieser Summe sind aber die Kosten der Neubauten (z. B. Entsorgungsanlage für Kernmaterial, Einrichtung zur Behandlung von schwachradioaktiven Abfällen, Zwischenlager) nicht enthalten. Die Entsorgung des gesamten Kernbrennstoffinventares einschließlich der bestrahlten Brennelemente fehlt ebenfalls bei dieser Summe.

12 Fazit

Das aus rückbautechnischer und technologischer Sicht geplante Rückbaukonzept zur Beseitigung des Rossendorfer Forschungsreaktors mit all seinen peripheren Einrichtungen wurde erfolgreich umgesetzt, auch wenn ursprünglich erst die Entlassung des Rossendorfer Forschungsreaktors aus dem Geltungsbereich des AtG und danach der konventionelle Abriss der Gebäude vorgesehen waren. Aufgrund sogenannter „Freigabeinseln“ *[15]*, die erst im Zuge des Abbaus der Gebäudestrukturen zur Freigabe geführt werden konnten, musste der Gebäudeabriss unter Strahlenschutzbedingungen erfolgen. Zeitlich und finanziell ergaben sich dadurch allerdings keine größeren Probleme. Die neu entstandenen Flächen wurden nach der Sanierung rekultiviert und sollen dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf übergeben werden, um eine zukünftige Nutzung zu ermöglichen.

Beginnend mit dem Sächsischen Kabinettsbeschluss zur Stilllegung und zum Rückbau des RFR im Jahre 1993 bis zum Abschluss des Vorhabens im Jahr 2019 gab es bezüglich des Strahlen-, Arbeits-, Brandschutzes keine nennenswerten Ereignisse.

Es hat sich bewährt, mit dem Rückbau auch gleichzeitig die Entsorgung gezielt voranzutreiben, so dass der VKTA derzeit nur noch rund 40 Mg (entspricht rund 0,1 %) der Rückbaumasse in Bearbeitung hat, um Freigaben zu erreichen. Neben den 951im Brennelement-Zwischenlager Ahaus lagernden Brennelementen befinden sich aus dem RFR-Rückbau weiterhin noch ca. 148 Mg radioaktive Abfälle im Zwischenlager Rossendorf. Bewährt haben sich der Einsatz des RFR-Betriebspersonals insbesondere in der Zeit von 1992 bis 2007 sowie die interne Zusammenarbeit hinsichtlich des Strahlenschutzes, der radiologischen Messungen, der Analytik im akkreditierten Labor des VKTA und des Führens der atomrechtlichen Genehmigungsverfahren.

Insgesamt wurden ca. 59 Millionen € für den Rückbau und die Sanierung der Flächen des RFR, der Isotopenproduktion und der Entsorgungsanlagen verwendet.

Der VKTA dankt den eingesetzten Fremdfirmen für ihre Unterstützung, den Mitarbeitern der Genehmigungsbehörde für die konstruktive Zusammenarbeit und dem Freistaat Sachsen für die Finanzierung sowie das erbrachte Vertrauen gegenüber dem VKTA hinsichtlich der Erfüllung von Stilllegung und Rückbau des Rossendorfer Forschungsreaktors bis hin zu „Grünen Wiese“.

Referenzen

[1] Hieronymus, W. et al.: Beiträge zur Geschichte des Rossendorfer Forschungsreaktors RFR, ISBN: 978-3-941405-04-2, überarbeitete Fassung 2009

[2] Grahnert, T., Jansen, S., Boeßert, W., Kniest, S. Stilllegung und Rückbau der Rossendorfer Isotopenproduktion, atw, Vol. 61 (2016) und Vol. 62 (2016)

[3] Erste Genehmigung 45-4653.18 VKTA 01 gemäß § 7 Absatz 3 AtG zur Stilllegung des Rossendorfer Forschungsreaktors RFR (1. Stilllegungsgenehmigung RFR – Innehaben, Betriebsführung, Überführung der Brennelemente aus der Spaltzone in des Brennelementlagerbecken AB 2) des SMU, erteilt am 30.01.1998, mit 1. Änderung vom 06. 11. 2000

[4] Zweite Genehmigung 45-4653.18 VKTA 02 gemäß § 7 Absatz 3 AtG zur Stilllegung des Rossendorfer Forschungsreaktors RFR (2. Stilllegungsgenehmigung RFR – Rückbau des 2. Kühlkreislaufes) des SMU, erteilt am 30.10.1998, mit 1. Änderung vom 11. 02.1999

[5] Genehmigung 74-4653.13 gemäß § 9 AtG zur sonstigen Verwendung von Kernbrennstoffen außerhalb genehmigungspflichtiger Anlagen und zum Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen zur Überführung der bestrahlten Brennelemente des Rossendorfer Forschungsreaktors (RFR) in Transport- und Lagerbehälter vom Typ CASTOR® MTR 2 des SMUL, erteilt am 17.12.1998

[6] Genehmigung 4653.15 gemäß § 9 AtG zur sonstigen Verwendung von Kernbrennstoffen außerhalb genehmigungspflichtiger Anlagen und zum Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen (Überführung von Kernbrennstoffen aus den Verwahrorten der Reaktorhalle in Abfallgebinde) des SMUL, erteilt am 06.02.2001

[7] Genehmigung 74-4653.93 gemäß § 9 AtG zur sonstigen Verwendung von Kernbrennstoffen außerhalb genehmigungspflichtiger Anlagen und zum Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen (Transportbereitstellung der CASTOREN in der Transportbereitstellungshalle (TBH) sowie im Freigelände um die TBH) des SMUL, erteilt am 21.12.1998

[8] Dritte Genehmigung 4653.18 VKTA 03 gemäß § 7 Absatz 3 AtG zur Stilllegung und zum Abbau des Rossendorfer Forschungsreaktors RFR (3. Stilllegungsgenehmigung RFR – Abbau des Reaktorsystems und seiner Komponenten) des SMUL, erteilt am 03.04.2001

[9] Vierte Genehmigung 4653.18 VKTA 04 gemäß § 7 Absatz 3 AtG zum Abbau der Restanlage des Rossendorfer Forschungsreaktors RFR SMUL (4. Stilllegungsgenehmigung RFR – Totalabbruch der RFR-Restanlage) des SMUL, erteilt am 01.02.2005 mit 1. Änderungsbescheid vom 09. 11.2010 und mit 2. Änderung vom 09.01.2014

[10] Langer, R., Steinbach, F. Michael: Entsorgung freigegebener Reststoffe nach Rückbau des RFR, KONTEC 2017

[11] Steinbach, P., Johne, B., Steinhardt, M., Knappik, R. Kerntechnischer Rückbau unter Beachtung des Boden- und Grundwasserschutzes, KONTEC 2019

[12] Große, H., Jähnichen, S., Michael, F., Steinbach, P.: Analytik von Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen bei Rückbau kerntechnischer Anlagen, KONTEC 2019

[13] Aufsichtliche Anordnung VKTA 40-42 des SMU vom 30.12.1991

[14] Bothe, M., Knappik, R., Kahn, A., Emmrich, U. Konzeptionelles Herangehen und messtechnische Umsetzung zur Freimessung der Gebäude des Rossendorfer Forschungsreaktor, KONTEC 2013

[15] Jansen, S., Michael, F., Johne, B. Beseitigung der „Freigabeinseln“ beim Rückbau des Rossendorfer Forschungsreaktors, KONTEC 2017

[16] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27.04.2009 (BGBl. I S. 900), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 27.09. 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist

[17] LAGA Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil I »Allgemeiner Teil« der LAGA M 20 (Stand 6.11.2003), Teil II: Technische Regeln für die Verwertung, 1.2 Bodenmaterial (TR Boden), Stand: 05.11.2004, Teil III »Probenahme und Analytik« (Stand 5.11.2004), Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial (länderspezifische Regelung Sachsen) vom 11.01.2006, verlängert am 24.10.2014

Authors Reinhard Knappik
Klaus Geyer
Sven Jansen
Cornelia Graetz
VKTA Rossendorf
Bautzner Landstraße 400
01328 Dresden