nucmag.com



International Journa for Nuclear Power

2016



ISSN · 1431-5254 16.- €



384 I AMNT 2016: Best Paper Radiological Characterization of Waste

391 I Energy Policy, Economy and Law Nuclear Power and Decarbonization

404 Decommissioning and Waste Management

415 Research and Innovation Steam Condensation in Water 374

Issue 6

June



Device for backfilling nuclear waste caverns with bentonite.
 (Courtesy: Posiva Oy, FInland)

Editorial

Blackout:	Science	or	Fiction?						. 371
Blackout:	Science	or	Fiction?						. 372

Abstracts	English									. 376
Abstracts	German									. 377

Inside Nuclear with NucNet

NucNet



| Impression of the New Shelter Construction at the Chernobyl site

AMNT 2016

47 th Annual Meeting on Nuclear Technology		
(AMNT 2016): Opening Address		
10 to 12 May 2016, Hamburg		. 381

Ralf Güldner

AMNT 2016: Best Paper

Quantitative Radiological Characterization of Waste	e:
Integration of Gamma Spectrometry	
and Passive/Active Neutron Assay	34

Gianluca Simone, Egidio Mauro, Filippo Gagliardi and Edoardo Gorello

DAtF Notes							2		2						388
------------	--	--	--	--	--	--	---	--	---	--	--	--	--	--	-----

Spotlight on Nuclear Law

Appeals Against Belgium Nuclear Reactors?.		. 389
Rechtsmittel gegen belgische Reaktoren?		. 389

Christian Raetzke



| The Tihange nuclear power plant production site in Belgium.



CONTENTS

Energy Policy, Economy and Law

Requirements to Nuclear Power to Significantly Contribute to Decarbonization . . . 391

Reinhard Zipper



| Modular design of an EM2 power plan.

Environment and Safety

Gerald H. Nieder-Westermann, Thorsten Walther and Jürgen Krone



Centralized storage for disused sealed sources at the Vector facility in the Ukraine.

Operation and New Build

Application of Objective Provision Tree to Development of Standard Review Plan for Sodium-cooled Fast Reactor Nuclear Design. . . . 400

Moo-Hoon Bae, Namduk Suh, Yongwon Choi and Andong Shin

Decommissioning	and	Waste	Management
Decommissioning or		montli	ag of

Decommissioning and Dismanting of					
the Rossendorf Isotope Production .				. 4	404
Stilllegung und Rückbau der					
Rossendorfer Isotopenproduktion				. '	404

Thomas Grahnert, Sven Jansen, Wolfgang Boeßert and Steffen Kniest



The nodalization diagram used for the RELAP5\MOD3.3 analysis.

Research and Innovation

Farshad Pesaran and Ramin Barati



| Transient contour of steam volume fraction.

Dynamic Characteristics of the Steam Condensation due to a Multi-hole Sparger 415

Xiangbin Li, Nan Li and Mengchao Zhang

	KTG Inside
00	News
	Nuclear Today Those Who 'Cry Wolf' About Nuclear Safety Damage Their Own Credibility
)4	John Shepherd
)4	Imprint

DAtF: Kernenergie in Zahlen 2016 Insert



Stilllegung und Rückbau der Rossendorfer Isotopenproduktion

Teil 2: Aspekte der Durchführung

Thomas Grahnert, Sven Jansen, Wolfgang Boeßert und Steffen Kniest

Nach reichlich 40 Jahren Produktionsbetrieb wurden im Jahr 2000 mit dem Auslaufen der Betriebsgenehmigung die letzten Produktionsanlagen der *Rossendorfer Isotopenproduktion* endgültig stillgesetzt. Nachdem in den letzten Jahren des Produktionsbetriebs schon abschnittsweise mit der Stilllegung von außer Betrieb genommenen Produktionsanlagen begonnen wurde, schloss sich nunmehr für den Gesamtkomplex der *Rossendorfer Isotopenproduktion* nahezu lückenlos die Stilllegung und der Rückbau aller bis dato noch betriebenen Produktionsanlagen und Gebäudekomplexe an. In einem zweigeteilten Bericht werden die Stilllegung und der Rückbau des Anlagenkomplexes der Rossendorfer Isotopen-produktion vorgestellt, wobei im Teil 1 (atw 5/2016) anknüpfend an die Betriebshistorie bereits das durchlaufene Genehmigungsverfahren sowie das realisierte Planungskonzept vorgestellt wurden. In dieser Ausgabe der atw wird abschließend auf ausgewählte Aspekte der Stilllegungsdurchführung eingegangen.

6 Meilensteine des Rückbaus

Wie bereits im Kapitel 3 ausführlich dargelegt, konnte nach dem Erhalt der ersten Anschlussgenehmigungen zum Betrieb bzw. zur Stilllegung der Isotopenproduktion und der damit verbundenen schrittweisen Aufhebung der am 30. Dezember 1991 erhobenen Aufsichtlichen Anordnungen zum Innehalten des Anlagenkomplexes der Isotopenproduktion in einem abgeschalteten und sicheren Betriebszustand 1994 mit den ersten Stilllegungsarbeiten in der Isotopenproduktion begonnen werden. Nachfolgend sind wesentliche Meilensteine des Rückbaufortschritts chronologisch aufgeführt:

- 1997: Abriss des Gebäudes 8c
- 2000: Anlagenkomplexes AMOR I/II ist nach Abschluss des Leerfahrens "uranfrei"
 - 2006: Abschluss Abriss Gebäude 91.4 im Abbruchbereich II - Betriebseinstellung des Radiochemischen Labors
 - für stilllegungsbegleitende Arbeiten (RL) im Gebäude 91
- 2008: Abschluss Abriss der Gebäude 91.1 bis 91.3 und des Fortluftschornsteins im Abbruchbereich II
- 2009: Abschluss Abriss des Gebäudes 8d im Abbruchbereich I
 - Abschluss Abbruch des Heiße-Zellen-Trakts im Gebäude 91
- 2010: Abschluss der Bodensanierungsarbeiten in den Abbruchbereichen I und II

atw

- 2011: Abschluss der Rückbautätigkeiten im Gebäude
 - 90 (Abbruchbereich IV)
 Freigabe und Entlassung der Abbruchbereiche I und II aus der atomrechtlichen Aufsicht
 - 2012: Freigabe und Entlassung des Abbruchbereichs IV aus der atomrechtlichen Aufsicht
 - Abschluss Abriss Gebäude
 91 (außer eines unter der Bodenplatte liegenden Wassertresors und Tiefkellers)
 - 2013: Abschluss Totalabbruch des Wassertresors und Tiefkellers unter dem ehemaligen Gebäude 91
- 2014: Abschluss der Bodensanierungsarbeiten im Abbruchbereich III
 - Freigabe und Entlassung des Abbruchbereichs III
- als letzten Bereich des RK 2 aus der atomrechtlichen Aufsicht In **Abbildung 10** sind die im Kapitel 3

beschriebenen Genehmigungsschritte sowie die vorstehenden Meilensteine der Stilllegung der *Rossendorfer Isotopenproduktion* zusammenfassend gegenübergestellt.

Mit dem am 5. November 2014 vom *SMUL* erhaltenen Bescheid zur Freigabe und Entlassung des Abbruchbereichs III aus der atomrechtlichen Aufsicht konnte der Schlussstrich unter dem Projekt der Stilllegung und des Rückbaus der *Rossendorfer Isotopenproduktion* gezogen werden.

7 Technische und technologische Aspekte

Wie bereits im Kapitel 3 ausgeführt wurde in den neunziger Jahren mit Erlangung von Anschlussgenehmigungen in der Isotopenproduktion noch ein reduziertes Produktionsund Lieferprogramm aufrechterhalten, parallel dazu in verschiedenen Anlagenbereichen aber auch schon mit ersten Stilllegungs- und Rückbauarbeiten begonnen. Dies hatte zur Konsequenz, dass einerseits Teile der vorhandenen Betriebs- sowie Hilfsund Nebeneinrichtungen weiterhin bestimmungsgemäß betrieben und andererseits existierende Betriebseinrichtungen an die Belange des Rückbaus angepasst werden mussten. Dies geschah durch zielgerichtete technische Modifizierungen der bestehenden Betriebssysteme aber auch durch zahlreiche Ersatz- und Neuinstallationen von rückbaurelevanten Erwähnenswert Betriebssystemen. sind in diesen Zusammenhang

- die kontinuierliche Anpassung der lüftungstechnischen Anlagen an die sich durch den Rückbaufortschritt ergebenden neuen Bedingungen,
- die bautechnische und brandschutztechnische Trennung von verschiedenen Betriebs- und Rückbaubereichen,
- die Einrichtung von zusätzlichen Material- und Personenschleusen,
- die Einrichtung von zusätzlichen Ver- und Entsorgungssystemen sowie
- die Entwicklung und der Einsatz spezieller Fernhantierungstechniken.

404

Decommissioning and Waste Management Decommissioning and Dismantling of the Rossendorf Isotope Production I Thomas Grahnert, Sven Jansen, Wolfgang Boeßert and Steffen Kniest Nachfolgend wird in diesem Kapitel auf einige solcher Aspekte eingegangen.

Lüftungstechnische Anpassungen: Zu Beginn der Stilllegungsaktivitäten (Abschalten und Leerfahren der Anlagenkomplexe) konnte vollumfänglich auf die aus der Produktionsphase in den Gebäuden 8d und 91 vorhandenen lufttechnischen Anlagen zurückgegriffen werden. Mit Beginn des Ausräumens der technischen Prozessanlagen bestand in einzelnen Anlagenbereichen die Notwendigkeit, die vorhandenen lufttechnischen Anlagen an die konkreten Rückbaubedingungen anzupassen. Im Wesentlichen waren solche spezielle Rückbaubedingungen

- die Be- und Entl
 üftung von neu geschaffenen Einhausungen und Caissons in den verschiedenen R
 ückbaubereichen inkl. der zugehöriger Material- und Personenschleusen sowie
- die konsequente raumlufttechnische Trennung von weitestgehend alphaaktivitätsfreien Rückbaubereichen zu den eingerichteten "Alphabaustellen".

Dabei konnte grundsätzlich auf den Bestand der für die Produktionsphase installierten Apparatetechnik (u.a. Filter, Ventilatoren, Fortluftüberwachung) zurückgegriffen werden. Notwendige Umverlegungen bzw. Neuinstallationen von Lüftungsleitungen wurden mit flexiblen Schlauchsystemen realisiert. Je nach Notwendigkeit kamen beim Ausräumen von alphakontaminieren Heißen Zellen sowie in Bereichen mit starkem Aerosol- und Staubaufkommen zusätzlich mobile Filtereinheiten oder leistungsstarke Industriesauger zum Einsatz. Bei für den Rückbau neu geschaffenen Gebäudeeinhausungen (siehe Abb. 7 und Abb. 8, siehe Teil 1, atw 5 (2016)) erfolgte die Be- und Entlüftung über eine separate Zu- und Abluftcontaineranlage, deren Ausstattung auch eine eigene Fortluftüberwachung beinhaltete. Für die Realisierung von speziellen beim Rückbau zu realisierenden Lüftungskonzepten wurde diese Containeranlage mehrfach umgesetzt und in diese Konzepte eingepasst. Letztendlich wurden nach der endgültigen Außerbetriebnahme der letzten stationären lufttechnischen Einrichtungen im Gebäude 91 für deren Rückbau auch mit dieser Containeranlage die noch erforderlichen Lüftungszustände gewährleistet.



Abb. 10.

Zusammenfassende Gegenüberstellung von Genehmigungsschritten und Meilensteinen zur Stilllegung der Rossendorfer Isotopenproduktion.





Abb. 11. Fernbedienter Werkzeugträger hinter einer Heißen Zelle.

Bautechnische und brandschutztechnische Abtrennung von Rückbaubereichen:

In den einzelnen Anlagenbereichen der Isotopenproduktion liefen verschiedene Arbeiten zum Anlagenbetrieb und zum Rückbau teilweise in unmittelbarer örtlicher Nachbarschaft, unter unterschiedlichen genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen und mitunter zeitlich parallel ab. Unter einer solchen Konstellation müssen gewisse Vorkehrungen getroffen werden, die eine unzulässige bzw. ungewollte Querkontamination in den betroffenen Anlagenbereichen und eine Beeinträchtigung von genehmigten Sicherheitskonzepten bezüglich des Strahlen- und Brandschutzes sowie der Arbeitssicherheit ausschließen. So wurden rückbauvorbereitend Anlagenbereiche, in denen umgangsbedingt und aus der Sicht des Strahlenschutzes ein relevantes Alphaaktivitätsinventar vorlag, als sogenannte Alphabaustellen eingerichtet und von den übrigen Anlagenbereichen räumlich und lüftungstechnisch abge-

erfolgte trennt. Dies durch die Schaffung von Raumbarrieren zwischen diesen Bereichen (u.a. durch Caissons, Einhausungen, Trockenbauwände oder Abmauerungen von Raum- bzw. Gebäudebereichen), der Einrichtung zusätzlicher Personenund Materialschleusen (u.a. mit Doppeldeckel-Fassschleusen), der Realisierung von entsprechend dem Gefährdungspotenzial ausgerichteten Luftströmungen mit Unterdruckhaltung, eine getrennte Führung und Filterung der Abluftströme sowie der Einrichtung separater Brandbekämpfungsabschnitte.

Fernhantierungstechniken:

Für das Ausräumen der Heißen Zellen der Anlage für Strahlenquellen sowie des Anlagenkomplexes *AMOR* wurden spezielle Fernhantierungseinrichtungen sowie fernbediente Schleuseinrichtungen entwickelt und eingesetzt. Ein hinter der jeweiligen Heißen Zelle aufgebauter Werkzeugträger (Abbildung 11) bestand aus einem verfahrbaren Schienenwagensystem,



Abb. 12. Fernhantierte Schleuseinrichtung hinter einer Heißen Zelle.



An der Rückwand der Heißen Zelle angedockte Spezialschleuse des Wasser-Hockdruck-Reinigungssystems zum Reinigen des Zellenabflusses.

über welches eine Säule mit einem schwenk- und ausfahrbaren Ausleger über die Zellentür in die Heiße Zelle eingefahren werden konnte. Am Ausleger befand sich ein Elektrokettenzug, über den im Zusammenspiel mit zwei aus der Betriebszeit noch verfügbaren Master-Slave-Manipulatoren und dem Zellenkran sowie modifizierten Führungs- sowie Anschlagadaptern industrieerprobte Standardabbau- und -zerlegewerk-(Trennschleifer, zeuge Nibbler, Hydraulikschere) geführt wurden. Der Werkzeugträger wurde vor seinem heißen Einsatz an einem eigens dafür im Maßstab 1:1 errichteten Teststand erprobt. Zielstellung dieser Erprobungsphase war

- eine Validierung des entwickelten Werkzeugträgers,
- die Erprobung des Werkzeugträgers im Zusammenspiel mit den adaptierten Werkzeugen,
- die Optimierung der Entwicklungsergebnisse sowie
- das Training der Operatoren.

Zum Öffnen und Schließen der schweren Heiße-Zellen-Tür wurde an der Zellentür ein Reibradantrieb montiert, der das fernbediente Bewegen der Zellentür ermöglichte.

Das Ein- und Ausschleusen von Abfallgebinden sowie Werkzeugen erfolgte für die Heißen Zellen über eine fernbediente Schleuseinrichtung, die aus einem Grundgestell und zwei ausfahrbaren Einheiten bestand (Abbildung 12).

Eine besondere Herausforderung stellte das Reinigen eines im Zellenkörper befindlichen Heiße-Zellen-Abflusses von einer Totalverstopfung dar. Diese Verstopfung wurde durch eine sehr harte Verkrustung aus Aluminiumoxid, Aluminiumnitrat und Uranylnitrat verursacht. Mittels eines Wasser-Hochdruck-Rohrreinigungssystems wurde diese Verstopfung im Zellenabfluss freigespült. Das Hochdruckreinigungssystem bestand aus einer Spezialschleuse, einer Vorschubeinheit und einem außerhalb des Anlagenbereiches stehenden mobilen Hochdruckaggregat. Die Spezialschleuse wurde direkt am Austritt des Zellenabflusses aus der Heißen Zelle wasserdicht angedockt (Abbildung 13). Das Wasser-Hochdruckreinigungssystem beseitigte unter kontrollierter Rotation einer Strahldüse und definiertem Vorschub bei einem Arbeitsdruck bis 120 MPa die Rohrinkrustierung.

Das bei der Freispülung angefallene radioaktive Abwasser wurde in einem eigens für diesen Rückbauschritt

Abb. 13.

ausgelegten und nachgerüsteten Behältersystem aufgefangen. Mittels Tankwagen erfolgte die Überführung des aufgefangenen radioaktiven Abwassers zur weiteren Behandlung und Entsorgung in eine am Standort vorhandene Behandlungsanlage.

8 Strahlenschutzaspekte

Das breite Produktionssortiment und der der große Leistungsumfang Isotopenproduktion mit dem vielfältigen Spektrum an Umgangsnukliden sowie dem dabei gehandhabten hohen Aktivitätsniveau hatten zur Folge, dass die Anforderungen an den planenden und arbeitsbegleitenden Strahlenschutz zur Minimierung der äußeren Strahlenexposition und zur Inkorporationsvermeidung beim Rückbau, insbesondere durch Alphastrahler, entsprechend hoch waren. So resultierte die Planung und Durchführung der einzelnen Rückbauschritte u.a. in der Realisierung von gestaffelten Personen- und Materialschleusen. Diese Schleusbereiche wurden engmaschig überwacht, um frühzeitige Schlussfolgerungen für die anzuwendenden Personenschutzmaßnahmen ableiten zu können. Zum anderen kamen in den verschiedenen Rückbaubereichen im großen Umfang fernbediente Messgeräte und auch spezielle Fernhantierungstechnik zum Einsatz, die bereits im vorstehenden Abschnitt beispielhaft vorgestellt wurde. Nachfolgend soll auf einige Überwachungsaspekte in den Rückbaubereichen bezüglich Inkorporation, Oberflächenkontamination und Ortsdosisleistung eingegangen werden.

Raumluftüberwachung:

In den Rückbaubereichen, in denen Personen tätig wurden, erfolgte eine Raumluftüberwachung mittels Aerosolsammler. Dabei existierten Raumluftmesspunkte in Arbeitsbereichen, bei denen die Aerosolsammler im Dauerbetrieb eingesetzt (Sammlerdurchsatz waren ca. 2 m³/h). In dem Teil der Personenschleusen, wo der Atemschutz abgelegt wurde und daher eine um ein Vielfaches höhere Empfindlichkeit der Messung erforderlich war, wurden Aerosolsammler mit einem Sammlerdurchsatz von ca. 22 m³/h eingesetzt. Zur Überwachung von Materialschleusvorgängen oder Kurzzeitsammlungen kamen Aerosolsammler mit einem Sammlerdurchsatz von ca. 180 m³/h zum Einsatz.

In Bereichen, in denen Personenaufenthalte nur von kürzerer Dauer waren, wurden die Aerosolsammler mit Bewegungsmeldern ausgestattet, um somit näherungsweise auch wirklich nur die expositionsrelevanten Raumluftwerte für Auswertungen zu erfassen.

Beaufschlagte Aerosolfilter wurden auch bezüglich Nuklidzusammensetzung analysiert, um einerseits Verschiebungen von Nuklidvektoren zeitnah erfassen zu können und andererseits aktuelle Bewertungen bezüglich der getroffenen bzw. aktuell zu treffenden Personenschutzmaßnahmen vornehmen zu können.

Überwachung der Oberflächenkontamination:

Die Überwachung der Oberflächenkontaminationen in den Arbeits- und Personenschleusbereichen wurde mit Wischtests und Direktmessungen vorgenommen. Die Ergebnisse flossen in die Festlegung der Inkorporationsschutzmaßnahmen ein. Nuklidspezifische Analysen von Wischtests wurden zur Bewertung der aktuellen Rückbauprozesse herangezogen. In **Tab. 1** (atw 5 (2016) sind typische Oberflächenkontaminationswerte für ausgewählte Rückbaubereiche und -zeitpunkte dargestellt.

Überwachung der Ortsdosisleistung:

Zur Überwachung der Dosisleistung zum Zweck des Personenschutzes und der Abfalldeklaration wurden Dosisleistungsmessgeräte mit Teleskopsonden, manipulatorgeführte Sonden mit externer Anzeigeeinheit sowie (teil-)stationäre, an einem Überwachungsnetzwerk angeschlossene Sondereinheiten benutzt. In **Tab. 1** sind typische Ortsdosisleistungswerte für ausgewählte Rückbaubereiche und -zeitpunkte dargestellt.

Strahlenschutzanalysen mittels Gammascanner:

Für eine umfassende radiologische Erkundung von Rückbauobjekten wurde als ein Gemeinschaftsprojekt des VKTA mit der GBS Elektronik GmbH der Gammascanner RoSCAN® entwickelt und beim Rückbau der Isotopenproduktion effektiv eingesetzt. Kennzeichnend für diesen Scanner ist seine kompakte Bauweise, die es erlaubt, Gammastrahlungsfelder auch an unzugänglichen Bereichen, wie z.B. in Innenräumen von Heißen Zellen, auszumessen. Dabei können Messkopf und Bedienkonsole des Scanners bis zu 50 m voneinander entfernt aufgestellt werden. Für die Planung von Rückbaumaßnahmen konnten mit diesem Gerät Aktivitätsverteilungen und Nuklidspektren in prädestinierten Rückbaubereichen ohne personellen Vororteinsatz und damit expositionsmindernd hinreichend genau bestimmt werden.



Abb. 14. Gammascanner RoSCAN[®].

Der Gammascanner *RoSCAN*[®] (siehe **Abbildung 14**) besteht aus den folgenden Hauptkomponenten:

- Untergestell mit Fuß (5), abnehmbar auf einem Wagen befestigt
- Messelektronikgehäuse mit Vielkanalanalysator und Schrittmotoreneinheit (4)
- Messkopf mit Kollimator und Detektor (1), Laserpointer (3), Videokamera (2)
- Laptop mit zugehöriger Software und 50 m Verbindungskabel (6)

Die mechanischen Komponenten des *RoSCAN*[®] bestehen weitestgehend aus Edelstahl, die anderen Komponenten sind edelstahlverkleidet bzw. mit anderen glatten Oberflächen beschichtet, um leichte Dekontaminierbarkeit zu gewährleisten. Zusätzlich wurde *RoSCAN* in Schlauchfolie verpackt, wenn beim Einsatz eine erhöhte Kontaminationsgefahr bestand.

Eine Übersicht über die Impulshöhenverteilung ist durch *RoSCAN* ohne großen Aufwand zu erhalten. Die Vorbereitung einer Messung, im Einzelnen Aufstellung, Anschluss, Initialisierung der Messtechnik und Wahl der Messparameter, ist in etwa 10 Minuten abgeschlossen. Der Scan des ausgewählten Raumes bzw. Raumbereichs startet danach und benötigt bis zu seinem Abschluss keinen weiteren Bedienereingriff, was Langzeitmessungen über Nacht oder an Wochenenden ermöglicht.

RoSCAN ist als fernhantiertes und automatisiertes Erkundungssystem zum Auffinden von Aktivitätsmaxima geschaffen worden. Es zeigte sich, dass *RoSCAN* gut geeignet ist, Kontaminationen in Räumen oder Lecks an Tanks, Leitungen etc. zu detektieren. So konnten rückbaubegleitend in einzelnen Anlagenbereichen der Isotopenproduktion bisher unbekannte bzw. nicht erwartete Kontaminationen detektiert werden. Abbildung 15 zeigt beispielhaft das visualisierte Ergebnis eines Zellenscans, welches in eine fotografische Darstellung des Messfeldes eingetragen ist.



Abb. 15.

Visualisiertes Ergebnis eines Scans, eingetragen in die fotografische Darstellung des Messfeldes (farbliche Skalierung unterschiedlicher Impulszahlenbereiche).

Personenschleuskonzept:

Neben der Anwendung von persönlichen Schutzausrüstungen, wie z.B. Atemschutzmasken oder Overalls, sind als Maßnahmen zum Inkorporationsschutz auch die Aufstellung und Kontrolle von speziellen Verhaltensregeln wesentlich. Inkorporiert wird selten bei der eigentlichen primären Rückbautätigkeit als vielmehr bei sekundären Tätigkeiten, wie bei Schleusvorgängen oder der Handhabung von Reststoffen in peripheren Bereichen des Rückbaus. Um Kontaminationsverschleppungen aus dem Rückbaubereich heraus zu

vermeiden, wurde ein dreistufiges Schleuskonzept, bestehend aus einem Arbeitsbereich, einem Schleusbereich 2 und einem Schleusbereich 1, etabliert (siehe **Abbildung 16**).

Dokumentation und Auswertung von Überwachungsdaten des Strahlenschutzes:

Sämtliche aus der betrieblichen Anlagenüberwachung gewonnenen Strahlenschutzdaten wurden über das gesamte Stilllegungsprojekt in einer Datenbank "RadSit" dokumentiert. Diese Datenbank diente der Ablage und Archivierung sämtlicher strahlenschutzrelevanten Betriebsdaten, der Dokumentation und Beweissicherung von radiologischen Situationen in den Anlagenbereichen und der Bilanzierung von strahlenschutzrelevanten Betriebsdaten. Sie bildete aber auch ein wichtiges Instrument zur Erkennung von sich aktuell manifestierenden neuen radiologischen Situationen in den einzelnen Anlagenbereichen und zur Ableitung wesentlicher Schlussfolgerungen und Maßnahmen für den fortschreitenden Rückbau.

Freimessungen und Freigaben

9

Die beim Rückbau der Isotopenproduktion anfallenden Stoffe müssen einer geordneten und sinnvollen Entsorgung zugeführt werden, die sich an der den Stoffen anhaftenden Aktivität orientiert. Dabei ist es das Ziel, durch Dekontamination der Anlagen, Gebäude und Geländeflächen sowie rückbaubegleitende Messungen so wenig wie möglich radioaktiven Abfall zu erzeugen. Dafür werden Stoffe, die als nicht radioaktive Stoffe verwendet, verwertet, beseitigt, innegehabt oder an Dritte weitergegeben werden sollen, einer erforderlichen Freimessung unterzogen. Der VKTA ist im Besitz eines Bescheids des SMUL zur Freigabe nach § 29 StrlSchV für radioaktive Stoffe, bewegliche Gegenstände, Gebäude, Bodenflächen, Anlagen oder Anlagenteile, die aktiviert oder kontaminiert sind und aus Tätigkeiten stammen. Dieser Bescheid regelt die eigenständige Durchführung eines dafür erforderlichen Freigabeverfahrens. Einzelheiten zum durchzuführenden Freigabeverfahren sind in einer VKTA-Strahlenschutzanweisung Nr. 23 geregelt. Die einzelnen Messverfahren gemäß dieser Strahlenschutzanweisung sind in speziellen Fachanweisungen festgeschrieben. Der VKTA darf auf Basis seines Freigabebescheids die Unterschreitung der Freigabewerte nach Anlage III Tabelle 1 StrlSchV in einigen Freigabepfaden selbst feststellen. Dabei handelt es sich um Routine-Zustimmungsvorbehalte freigaben. der Behörde gibt es

- bei einer geplanten Wieder- und Weiterverwendung von Gebäuden,
- beim Abriss von Gebäuden,
- bei der Verfüllung von Baugruben und
- bei der Nachnutzung von Bodenflächen.

Abweichungen von der Strahlenschutzanweisung Nr. 23 bedürfen immer einer behördlichen Zustimmung. Beim Rückbau der Isotopenproduktion wurden komplexe Freigabevorgänge in umfangreichen Freimessprogrammen beschrieben und dem *SMUL* zur Zustimmung vorgelegt. In **Tabelle 2** sind die beschrittenen Freigabepfade dargestellt.

Arbeitsbereich		Schleusbereich 2	L	Schleusbereich 1
(mit hoher Kontamination)	7	(mit mittlerer Kontamination)	7	(mit niedriger Kontamination)
beim Verlassen Ablage von:		beim Verlassen Ablage von:		<u>hier:</u>
- äußerem Anzug		- innerem Anzug		- Ablage Vollmaske
- äußeren Füßlingen		- inneren Füßlingen		- Anziehen Kontrollbereichskleidung
- äußeren Handschuhen		- inneren Handschuhen		- Kontaminationskontrolle
				- Gesicht und Hände waschen
abschließend Maske abwischen		Verlassen über Klebematte		Übergang in peripheren Bereich
- tägliche Wischprobenahme		- tägliche Wischprobenahme		- tägliche Wischprobenahme
- Aerosolsammler JAP im Dauer-		- Aerosolsammler JAP mit		- Aerosolsammler Gravikon mit
Betrieb, täglicher Filterwechsel		Bewegungsmelder, 10 min Nachlauf,		Bewegungsmelder, 5 min Nachlauf,
		täglicher Filterwechsel (mindestens		wöchentlicher Filterwechsel
		jedoch 2 m ³ Sammlerdurchsatz)		

Abb. 16. Schema dreistufiges Schleuskonzept. Als Freigabemessverfahren kamen hauptsächlich zur Anwendung:

- gamma-gesamtzählende Messungen in der Freimessanlage des VKTA einschließlich einer Gammaspektrometrie zwecks Kontrolle der zugrunde gelegten Nuklidvektoren
- In-situ-Gammaspektrometrie
- flächendeckende Zählratenmessung mit maximumorientierter Probenahme und Analytik, wie Alphaspektrometrie (nach radiochemischer Trennung), LSC-Flüssigszintillationsspektrometrie (nach radiochemischer Trennung), Gammaspektrometrie, Alpha/Beta-Gesamtzählung
- Oberflächenkontaminationsmessungen

Bei Erdreichmassen aus den Rückbaubereichen wurde jeweils eine Großprobe (0,5 m³) aus einer homogenisierten 10-m³-Charge entnommen und in der Freimessanlage gemessen. Bauschutt wurde dagegen zu 100 % gebrochen und in der Freimessanlage gemessen.

Für die Freigabe von Boden(ober) flächen gelten die Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 7 StrlSchV. Limitierendes Szenario ist dabei eine landwirtschaftliche oder gärtnerische Nutzung der Bodenfläche, was auf Sohlen und an Wänden von Rohrgräben und Baugruben ausgeschlossen werden kann. Daher erwirkte der VKTA beim SMUL für die Freigabe der zu verfüllenden Baugruben und Rohrgräben sowie für das als untere Schicht benutzte Verfüllmaterial die Anwendung der Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 6 StrlSchV mit der Auflage, auf die so verfüllten Bereiche noch eine Abdeckung mit unbelastetem standorteigenen Erdmaterial (Ursprung abseits von Strahlenschutzbereichen) oder mit standortfremdem Material, das den Anforderungen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 7 StrlSchV genügt, aufzubringen. Die erforderliche Mächtigkeit die Abdeckschicht wurde vom SMUL jeweils dezidiert geregelt. Nach Aufbringung der Abdeckschicht wurde die Einhaltung der Freigabewerte der Spalte 7 durch Beweissicherungsmessungen nachgewiesen. Die Homogenität der zu verfüllenden standorteigenen Erdmassen ist durch die mit deren Vita im Zusammenhang stehenden Homogenisierungsschritten wie:

- Aufnahme der Erdmassen mit Baumaschinen und Verladen auf LKW am ursprünglichen Entnahmeort,
- Kippen auf Halde (Pufferlagerung),

Gegenstand	Freigabepfad	Spalte *)
Einzelteile	uneingeschränkt	4 + 5
Erdreich, Bauschutt	uneingeschränkt	5
Einzelteile	eingeschränkt zur Verbrennung	4 + 9
Erdreich, Bauschutt, Einzelteile	eingeschränkt zur Deponierung	9
Betonteile, nicht ausbaubar	Gebäudeteile zur Weiter- verwendung	8
Strukturen zum Abbruch	Gebäudeteile zum Abriss	10
Sohlen und Wände von Baugruben und Rohrgräben, Erdreich	uneingeschränkt > 1.000 t (objektbezogen zustimmungs- pflichtig durch Behörde)	6
Profilierte Fläche zur Entlassung aus dem AtG	Bodenflächen	7

Tab. 2.

Beschrittene Freigabepfade beim Rückbau der Rossendorfer Isotopenproduktion.

- Wiederaufnahme der puffergelagerten Erdmassen durch Baumaschinen und Verladen auf LKW,
- Kippen am Verfüllort sowie
- Verziehen des Verfüllmaterials zwecks Herstellung des Geländeprofils gegeben.

Mit der Beschreitung des Freigabepfades nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 8 StrlSchV zur Wiederverwendung von Gebäudeteilen konnten die technischen, zeitlichen und damit letztendlich finanziellen Aufwendungen für den Rückbau der Rossendorfer Isotopenproduktion wesentlich minimiert werden. So konnte das Gebäude 90 im Abbruchbereich IV komplett für eine Weiterverwendung als VKTA-Bürogebäude erhalten und freigegeben werden. In den Abbruchbereichen I, II und III konnten aufgrund einer bisher nicht absehbaren Nachnutzung dieser Flächenbereiche freigegebene Betonstrukturen, wie Fundamente, Kellerwände und Rohrkanäle, als tiefe unterirdische Baustrukturen im Erdreich verbleiben.

Im Ergebnis des Beschreitens der in **Tab. 2** dargestellten Freigabepfade konnten mehr als 97 % der beim Rückbau der *Rossendorfer Isotopenproduktion* angefallenen bzw. zu bewertenden radioaktiven Reststoffe einer uneingeschränkten bzw. zweckgerichteten Freigabe unterzogen werden. Berücksichtigt sind hierbei auch die Freigaben von radioaktiven Reststoffen nach deren Behandlung in der *Einrichtung zur Behandlung schwachradioaktiver Abfälle Rossendorf (ESR)*.

10 Radioaktive Abfälle

Für die bei den Leerfahr-, Abbau-, Abriss- und Sanierungsmaßnahmen in der Isotopenproduktion angefallenen Reststoffmengen wurden folgende Entsorgungswege bestritten:
Freigabe nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 4 und 5 bzw. 4 und 9 StrlSchV für ausgebaute Anlagenkomponenten

- Freigabe nach Anlage III Tabelle 1
 Spalte 5 StrlSchV f
 ür Bauschutt und Erdreich nach Zerkleinerung bzw. Homogenisierung
- Freigabe nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 6 StrlSchV für Erdreich
- Freigabe nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 4 und 5 StrlSchV f
 ür Stahlleichthallen und Einhausungen
- Freigabe nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 10 StrlSchV für Gebäudestrukturen zum Abriss
- Freigabe nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 8 StrlSchV für im Erdreich verbreibende unterirdische Betonstrukturen (Bodenplatten, Kellerwände, Rohrkanäle) sowie für das Gebäude 90 zu dessen Weiterverwendung
- Behandlung der beim Rückbau angefallenen Abwässer (u. a. aus dem Leerfahren der Anlagenbereiche sowie der Wasser-Hochdruckreinigung eines Zellenabflusses) in der ESR und Ableitung über eine standorteigene Laborabwasserreinigungsanlage in einen Vorfluter
- Behandlung von schwachradioaktiven Reststoffen in der ESR zur anschließenden uneingeschränkten oder eingeschränkten Freigabe
- Übergabe als radioaktiver Abfall an das Zwischenlager Rossendorf für eine spätere Reststoffbehandlung bzw. endlagergerechte Konditionierung

Zu Beginn der Leerfahrprozesse befanden sich noch zählbare Mengen an radioaktiven Flüssigkeiten in den verschiedenen Anlagenbereich der Isotopenproduktion. Dabei handelte es sich im Wesentlichen um

 radioaktive Abwässer in den Behältersystemen der Gebäude
 91.2 und 91.3 sowie Lösungen aus Prozessen der Anlagenspülung, die *) entsprechend Anlage III Tabelle 1

StrlSchV

409

mittels Tankwagen zu einem Entsorger externen gebracht wurden,

- kernbrennstoffhaltige mittelaktive Abfalllösungen aus dem AMOR-Prozess in einem unterirdischen Behälterlager (Gebäude 91.4), die in der im Gebäude 91.1 installierten mobilen Konditionierungsanlage MOSS-200 zementiert und in das Zwischenlager Rossendorf überführt wurden,
- hochangereicherte Uranylnitratlösung aus dem AMOR-Prozess in einem Behältersystem im Gebäude 91, die in der Einrichtung zur Entsorgung von Kernmaterial Rossendorf (EKR) auf einen Anreicherungsgrad unter 2 % geblendet und zur weiteren Behandlung zur BNFL in Sellafield überführt wurde,
- kontaminiertes Extraktionsmittel aus dem AMOR-Prozess, welches einem externen Entsorger übergeben wurde sowie
- schwachradioaktive Abwässer aus den verschiedenen Auffanganlagen der Isotopenproduktion sowie der Inhalt eines Wassertresors der Anlage für Strahlenquellen, die mittels Tankwagen zur weiteren Behandlung in die ESR überführt wurden.

Die während des Rückbaus der Isotopenproduktion angefallenen ausschließlich schwachradioaktiven Abwässer wurden gleichfalls zur weiteren Behandlung der ESR übergeben. Sämtliche der ESR übergebenen schwachradioaktiven Abwässer aus der Stilllegung und dem Rückbau der Rossendorfer Isotopenproduktion konnten nach deren Behandlung über eine standorteigene Laborabwasserreinigungsanlage in den Vorfluter "Kalter Bach" eingeleitet werden.

Für ca. 75 % der aus der Stilllegung und dem Rückbau der Rossendorfer Isotopenproduktion resultierenden radioaktiven Abfälle erfolgte deren Konditionierung und Überführung in das Zwischenlager Rossendorf direkt aus dem jeweiligen Rückbaubereich heraus. Die restlichen ca. 25 % der radioaktiven Abfälle resultieren aus der Behandlung der beim Rückbau angefallenen dekontaminierbaren Reststoffe in der ESR. Als Ergebnis der Behandlung dieser Reststoffe in der ESR konnte eine Abfallreduzierung um mehr als 90 % erzielt werden.

11 **Zeiten und Kosten**

Stilllegung und der Rückbau Die der Rossendorfer Isotopenproduktion erstreckten sich mit einer Dauer von 20 Jahren über einen sehr großen Zeitraum, der dadurch gekennzeichnet war, dass unterschiedliche Durchführungsphasen in verschiedenen Anlagenbereichen unter unterschiedlichen genehmigungsrechtlichen Randbedingungen abliefen. Planungstechnisch zeichneten sich erst um das Jahr 2000 konkrete belastbare Stilllegungsendtermine ab, die gemäß den ersten Planungsansätzen durchaus früher gefasst waren. Eine so komplexe Baustelle wie sich die Stilllegung der Rossendorfer Isotopenproduktion darstellte, offenbart aber auch zahlreiche dynamische Momente, die Korrekturen bzw. Anpassungen von Inhalten und Zeiträumen gegenüber der ursprünglichen Planung und deren Grundlagen und Ansätze erfordern. So basieren einzelne Planungsergebnisse auf den Ergebnissen einer vorhergehenden radiologischen Aufklärung des rückzubauenden Bereichs. Die Tiefe dieser radiologischen Aufklärung muss sich an den konkreten Ausgangssituationen und Stilllegungszielen orientieren und stellt damit kein Fixparameter dar. So liegt es in der Natur der Sache, dass sich mit dem Rückbaufortschritt auch neue, nicht unbedingt vorherplanbare technische sowie radiologische Zustände offenbaren können, die Nach- bzw. Neuplanungen erforderlich machen und in deren Folge natürlich auch Terminverschiebungen auftreten. Auch wettersensitive Rückbauaktivitäten, wie Bautätigkeiten oder radiologische Messtätigkeiten im Freien, können zu schlecht kalkulierbaren Arbeitsunterbrechungen im Rückbaubereich führen. Nicht außer Acht gelassen werden darf beim Rückbau natürlich auch das Wechselspiel von Kosten und Terminen. Rückbau ist teuer und die dazu erforderlichen Finanzmittel müssen, wenn sie benötigt werden, auch bereitstehen. Treten dabei Diskrepanzen auf, kann es auch hier zum Stillstand der Rückbauarbeiten kommen, was dann zu weiteren Terminverzögerungen und in der Regel auch Folgekostenerhöhungen führt. Auch das Stilllegungsprojekt zur Rossendorfer Isotopenproduktion blieb von derartigen Einflüssen nicht unbeschadet.

Beispielhaft sei hier auf Probleme beim Rückbau eines bis ca. 8 m unter der Kellerbodenplatte des Gebäudes 91 liegenden Wassertresors und Tiefkellers verwiesen, deren Baustrukturen nach ursprünglicher radiologischer Aufklärung bis zu seiner Freigabe nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 8 dekontaminierbar erschienen und die bautechnische Planung somit den Verbleib dieser Baustrukturen im Erdreich vorsah. Doch im Laufe der abschnittsweisen Dekontamination und des fortschreitenden Wandoberflächenabtrags zeigte sich insbesondere in den Gebäudefugenbereichen, dass das ursprüngliche Rückbauziel mit dem Verbleib des Hauptteils der Gebäudestrukturen im Erdreich immer mehr aus dem Kosten- und Zeitplan heraus lief. Die Folge war die Entscheidung zum Abbruch dieses unkalkulierbar gewordenen Rückbauschritts und die Einleitung von Planungsarbeiten zum Teil- bzw. Totalabbruch dieser Gebäudestrukturen mit all seinen terminlichen und kostenmäßigen Konsequenzen für das Gesamtprojekt.

So erfuhr der Projektplan über das anfänglich für 2007 geplante Projektende, einer ersten Zeitplankorrektur für das Projektende auf 2011 und dem tatsächlichen Projektende 2014 zwei deutliche Streckungen in der Projektabwicklung.

Nicht ganz so drastisch fällt der Vergleich bzgl. der Einhaltung des ursprünglich geplanten Finanzrahmens zu den tatsächlichen Stilllegungskosten aus. Waren auf der Basis einer Ende 1992 durchgeführten ersten groben Kostenabschätzung für die Stilllegung der Rossendorfer Isotopenproduktion 43 Mio. DM (22 Mio. €) veranschlagt, so mussten real insgesamt ca. 33 Mio. € vom Land Sachsen dafür aufgewendet werden. Diese Summe beinhaltet die Kosten für Planung, Genehmigung und Durchführung der Stilllegung der Rossendorfer Isotopenproduktion inkl. der Kosten für das im Projekt eingesetzte VKTA-Eigenpersonal. Nicht enthalten sind in diesen Kosten die Aufwendungen für die Behandlung der radioaktiven Reststoffe in der ESR sowie die Kosten für die radioaktiven Abfälle bis hin zu deren Endlagerung.

Betrachtet man die jeweils im zeitnahen Vorfeld der Durchführung für die einzelnen Ausführungslose ermittelten Kosten mit den tatsächlichen Ausführungskosten, so zeigt sich, dass der dabei geplante Kostenrahmen im Durchschnitt über alle Ausführungslose mit ca. 7 % höheren Ausführungskosten sehr gut eingehalten werden konnte.

Fazit 12

Die 1994 begonnenen Arbeiten zur Stilllegung der Rossendorfer Isotopenerfolgten produktion anfänglich auf der Basis einer sehr unterschiedlichen genehmigungsrechtlichen Ausgangssituation in den einzelnen Anlagenbereichen. Erst 2006 erfolgte auf der Grundlage des im Rahmen dieser Genehmigungssituation erzielten Rückbaufortschritts die räumliche und funktionale Zusammenführung der einzelnen Stilllegungsbereiche der Isotopenproduktion in einer Schlussgenehmigung nach § 7 AtG für die abschließende Stilllegung der noch vorhandenen Anlagen und Einrichtungen der ehemaligen Isotopenproduktion.

Ausgenommen der aufgetretenen Probleme beim Rückbau des im Kapitel 11 angesprochenen Wassertresors und Tiefkellers hat sich aus

rückbautechnischer und technologischer Sicht das geplante Rückbaukonzept für die Stilllegung der Rossendorfer Isotopenproduktion grundsätzlich bewährt. Das Rückbauziel, die uneingeschränkte Nachnutzung der freigewordenen Geländeflächen und nach Möglichkeit eine uneingeschränkte Nachnutzung des Gebäudes 90, wurden vollumfänglich erreicht. Die für dieses Stilllegungsprojekt konzipierten Sicherheits- und Schutzziele wurden vollständig umgesetzt und haben sich bewährt.

Dipl.-Ing. Thomas Grahnert Leiter Reststoffbehandlung und Qualitätswesen Dipl.-Ing. Sven Jansen Leiter Betrieblicher Strahlenschutz Dr.-Ing. Wolfgang Boeßert Bereichsleiter Rückbau und Entsorgung VKTA – Strahlenschutz Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V. Postfach 510119 01314 Dresden, Germany Dipl.-Ing. Steffen Kniest Projektingenieur Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH

Authors

Am Lagerplatz 6 a 01099 Dresden, Germany

Simulation of Research Loop LOBI-MOD2 with RELAP5\MOD3.3 Code for LOBI Thermo Hydraulic Test A1-93

Farshad Pesaran and Ramin Barati

1. **Introduction** The RELAP5 thermo hydraulic code series have been developed at the Idaho National Engineering and Environmental Laboratory (INEEL), under sponsorship by the U.S. Nuclear Regulatory Commission. Specific applications of RELAP5\M3.3 have included simulations of transients in light water reactor (LWR) systems, such as loss of coolant, anticipated transients without scram (ATWS), and operational transients such as loss of feed water, loss of off-site power, station blackout, and turbine trip.

The code can be used to determine the et al., 1998; Juhani Hyvavinea et al, accuracy in the prediction of the system performance, the safety margins and design parameters in accident management procedures of light water reactors.

The test facility for the simulation of thermal hydraulic behaviour of the nuclear power plant in response to the postulated accidents usually called as the integral test facility. The PUMA test facility [Ishii et al., 1996], the APEX test facility [Reyes and Hochreiter, 1998], and the ROSA test facility [JAERI, 1990] are good examples of integral test facilities.

The LOBI Project was carried-out at the Joint Research Centre (JRC) of *Ispra*, Italy, in the framework of the European Commission (EC) Reactor Safety Research. The primary objective of the research program was to generate an experimental database for the assessment of the predictive capabilities of thermal-hydraulic system 2. codes used in reactor safety analysis.

As the RELAP5/MOD3 is one of the used computer codes for the simulation of event thermal-hydraulics of reactors, there was some research [Larson and Dimenna, 1988; Ransom

1999; Song and Bae, 2000; S. Khalil Mosavian et al., 2004...] about it. [Larson and Dimenna 1988] evaluated the analytically scaled model, [Ishii and Kataoka 1983] applied natural circulation in response to small break loss of coolant accident (SBLOCA) by using the RELAP5\MOD2 computer code.

Ronaldo Borges [Ronaldo Borges et al. 20001 evaluated result of RELAP5/ MOD3.2 post-test simulation and accurate quantification of test A1-93 related to LOBI.

The purpose of this paper is a new simulation of small break LOCA test A1-93, carried out in the LOBI/Mod2 facility for reaching to good agreement and to evaluate the performance of the RELAP5\MOD3.3 code for the mentioned test and compare with previous researches and manners.

Materials and method

Description of LOBI/MOD2 2.1 and small break LOCA, LOBI Test A1-93

The LOBI test facility is a full-power high-pressure integral system test

facility, representing an approximately 1:700 scale model of a 4-loop, 1,300 MWe pressurized water reactor (PWR). It represents the essential features of a typical PWR primary and secondary cooling system. The MOD2 configuration is made for the characterization of phenomenology relevant to small break LOCAs and special transients in PWRs.

The Test A1-93 characterizes a small break loss-of-coolant accident (LOCA) through an equivalent 2 % cold leg break without the high pressure injection system (HPIS), with enhanced depressurization achieved by actuating the pressurizer power operated relief and safety relief valves (PORV and SRV, respectively). When the primary system pressure reaches 27 bar the accumulator (ACC) injection starts.

2.2 Primary loop LOBI/Mod2 nodalization description

The Relap5/Mod3.3 code is based on one-dimensional six-equation models and was developed for best estimation in simulation of thermal-hydraulic behaviour of LWRs during accidents and transients. The basis of this 411

