

**Einfluss von
Rückbaustrategie,
-verfahren und
Messtechnik beim
Rückbau von Kernkraft-
werken auf die Freigabe**

Einfluss von Rückbaustrategie, -verfahren und Messtechnik beim Rückbau von Kernkraft- werken auf die Freigabe

André Filby
Andreas Artmann
Maria-Teresa Hussels
Lutz KÜchler
Henrich Meyering
Anna Rempel

Oktober 2022

Anmerkung:

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) unter dem Förderkennzeichen 4719E03510 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der GRS.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung der GRS wieder und muss nicht mit der Meinung des BMUV übereinstimmen.

Deskriptoren

Stilllegung, Rückbau, Freigabe

Kurzfassung

Das vorliegende Forschungsvorhaben befasst sich mit den wesentlichen Einflussfaktoren auf den Massenstrom geringfügig radioaktiver Stoffe zur Freigabe beim Rückbau von kerntechnischen Einrichtungen.

In diesem Zusammenhang wurden im ersten Schritt die sich im Rückbau befindlichen bzw. bereits zurückgebauten Kernkraftwerke in Deutschland recherchiert und beschrieben. Weiterhin wurden für die weiteren Arbeiten drei sich im Rückbau befindlichen Kernkraftwerke ausgewählt und deren Betreiber kontaktiert und um Unterstützung gebeten. Eine Zusammenarbeit mit insgesamt zwei Betreibern fand entsprechend statt; zusätzlich konnten einige Informationen vom dritten Betreiber in das Forschungsvorhaben einfließen.

Weiterhin wurde neben den besagten Leistungsreaktoren auch der Rückbau des Forschungsstandorts Rossendorf (FSR) durch VKTA bzgl. der Einflussfaktoren auf den Massenstrom der Freigabe untersucht. Da die Zusammenarbeit mit VKTA sehr fruchtbar war und reibungslos verlief, hat sich im Laufe des Vorhabens der Fokus der Untersuchungen mehr in Richtung dieses Standorts entwickelt.

Neben den Kernkraftwerken und dem Forschungsstandort Rossendorf wurde im Forschungsvorhaben zur Überprüfung der Anwendbarkeit neuerer Messmethoden, d. h. der Beschleunigermassenspektrometrie (*Accelerator Mass Spectrometry, AMS*), auch ein im Rückbau befindliches Radionuklidlabor der Universität zu Köln untersucht. In diesem Rahmen wurde von Wissenschaftlern der Universität zu Köln ein Ergebnisbericht angefertigt, der in diesen Bericht eingeflossen ist.

Für die Datenakquise zur Untersuchung der Einflüsse auf den Massenstrom der Freigabe bei Leistungsreaktoren und des Forschungsstandorts Rossendorf wurde ein Fragenkatalog erstellt, bei dem verschiedene relevante Themen betrachtet wurden (z. B. Einfluss der Änderung von Regelwerken, Entsorgungslogistik, Rückbaustrategien, radiologische Charakterisierung, Messtechnik).

Mithilfe des Fragekatalogs wurden am Beispiel von den drei ausgewählten Leistungsreaktoren die relevanten Informationen zusammengestellt, um die Einflüsse auf den Massenstrom qualitativ bzw. zumindest halbquantitativ zu erfassen. Die Fragenkataloge wur-

den teilweise von den im Vorhaben involvierten Betreibern, teilweise mit Hilfe von Literaturrecherchen beantwortet (soweit möglich). Neben der Nutzung von Fragebögen wurden auch Interviews mit Betreibervertretern durchgeführt, um an Informationen zu gelangen.

Ausgewählte Aspekte bei der Stilllegung des Forschungsstandort Rossendorf mit jenen eines Leistungsreaktors wurden anhand von ausgewählten Beispielen verglichen, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen diesen Anlagentypen darzustellen.

Für die Untersuchung, welche relativen Änderungen der anfallenden Massen auftreten, wenn ein Einflussfaktor sich ändert, wurden Masse-Zeit-Diagramme erstellt. Hier wurden zwei Leistungsreaktoren und der Forschungsstandort Rossendorf näher untersucht.

Je nach in diesem Forschungsvorhaben betrachteter Anlage können sich aufgrund der deutlich unterschiedlichen Rückbaustrategien, Anlagensituation und Einfluss des Freigabeverfahrens und/oder der Entsorgungssituation sehr unterschiedliche Verläufe der Massen-Zeit-Diagramme ergeben, so dass eine Systematik nicht abzuleiten ist. Der Massenanstieg ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, allerdings haben sich folgende Punkte als bedeutsam für ihren Einfluss auf den Massenstrom der Freigabe gezeigt:

- Entsorgungslogistik und Infrastruktur (Pufferlager für Erdmassen, Leichtbauten; keine Einschränkungen aus logistischen Gründen)
- Einzelfallnachweise
- Planung und Realisierung Rückbaureihenfolge
- Nuklidvektoren/Hochrechnungsfaktoren/Korrelationsfaktoren, bzw. radiologische Charakterisierung

Teilweise hatte auch die Änderung von Regelwerken einen bedeutenden Einfluss.

Abstract

The present research project is concerned with the identification of the main factors influencing the mass flow of low-level radioactive materials for release during the dismantling of nuclear facilities.

In this context, the first step was to research and describe the nuclear power plants in Germany that are currently being dismantled or have already been dismantled. Furthermore, three nuclear power plants in the process of being dismantled were selected for further work and their operators were contacted and asked for support. A cooperation with two operators took place accordingly; in addition, some information from the third operator was able to be considered in the research project.

Furthermore, the dismantling of the Rossendorf research site (FSR) by VKTA, which had other nuclear facilities on the site in addition to a research reactor, was also investigated with regard to the factors influencing the clearance mass flow. Since the cooperation with VKTA was very fruitful and went smoothly, the research focus shifted more towards this site in the course of the project.

In addition to the nuclear power plants and the Rossendorf research site, a radionuclide laboratory at the University of Cologne, which is currently being dismantled, was also investigated in the research project to test the applicability of newer measurement methods, i.e., accelerator mass spectrometry (AMS). In this context, scientists from the University of Cologne prepared a report on the results, which has been incorporated into this report.

For the data acquisition for the investigation of the influences on the clearance mass flow at power reactors and the Rossendorf research site, a questionnaire was compiled in which various relevant topics were considered (e.g., influence of the change of regulations, disposal logistics, dismantling strategies, radiological characterization, measurement technology).

With the help of the questionnaire, the relevant information was compiled on the example of three selected power reactors to qualitatively or at least semi-quantitatively record the influences on the mass flow. The questionnaires were answered partly by the operators involved in the project, partly with the help of literature research (as far as possible). In

addition to the use of questionnaires, interviews were also conducted with operator representatives to obtain information.

Selected aspects of the decommissioning of the Rossendorf research site are compared with those of a power reactor based on selected examples to illustrate commonalities and differences between these types of plant.

Mass-time diagrams were created to investigate which relative changes in the accruing masses occur when an influencing factor changes. Here, two power reactors and the Rossendorf research site were examined in more detail.

Depending on the installation considered in this research project, very different progressions of the mass-time diagrams can result due to the clearly different dismantling strategies, NPP situation and influence of the release procedure and/or the disposal situation, so that a general systematic cannot be derived. The mass accumulation depends on a multitude of factors; however, the following points have shown to be significant for their influence on the mass flow of the release:

- Disposal logistics and infrastructure (buffer storage for earth masses, lightweight structures; no restrictions for logistical reasons)
- Case-by-case verifications
- Planning and realisation deconstruction sequence
- Nuclide vectors/extrapolation factors/correlation factors, or radiological characterization in general.

In some cases, changes in regulations also had a significant impact.

Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung.....	I
	Abstract.....	III
1	Einleitung und Zielstellung	1
2	Darstellung der Projektarbeiten und -ergebnisse	5
2.1	AP 1: Ausgewählte Kernkraftwerke und Datenakquise	5
2.1.1	Kernkraftwerk Stade (KKS).....	5
2.1.2	Kernkraftwerk Würgassen (KWW)	10
2.1.3	Kernkraftwerk Greifswald (KGR).....	15
2.1.4	Forschungsstandort Rossendorf (FSR).....	40
2.1.5	„Small Facility“	46
2.2	AP 2: Vergleichsmaßstab: Referenzkonzept Stilllegung Leichtwasserreaktoren.....	48
2.2.1	Abzubauenende Massen einer kerntechnischen Anlage.....	48
2.3	AP 3: Vorgehensweise der Stilllegung im Falle der ausgewählten Anlagen	66
2.3.1	Einleitung.....	66
2.3.2	Fragenkatalog zur Datenakquise (Leistungsreaktoren).....	67
2.3.3	Erläuterungen zum Fragenkatalog (Leistungsreaktoren).....	72
2.3.4	Fragenkatalog zum Forschungsstandort Rossendorf mit Erläuterungen ..	92
2.3.5	KKW Greifswald.....	103
2.3.6	KKW Stade	120
2.3.7	KKW Würgassen	132
2.3.8	Forschungsstandort Rossendorf	141
2.3.9	Small Facility: ^{14}C -, ^{36}Cl - und $^{239/240}\text{Pu}$ -Messungen mit AMS.....	205
2.4	AP 4: Einfluss von Rückbaustrategie, -verfahren und Messtechnik beim Rückbau von KKW auf die Freigabe	221
2.4.1	KGR.....	222

2.4.2	KKS/KWW	232
2.4.3	KMK.....	233
2.4.4	Forschungsstandort Rossendorf	245
2.4.5	Beispiele zur Vorgehensweise zur Lösung unerwarteter Probleme bei der Stilllegung des FSR	255
2.4.6	Stilllegung Forschungsstandort Rossendorf und Leistungsreaktoren: Vergleich ausgewählter Aspekte	265
2.4.7	Einflüsse auf den Massenstrom der Freigabe	276
2.5	Zusammenfassung	281
	Literaturverzeichnis.....	289
	Abbildungsverzeichnis.....	313
	Tabellenverzeichnis.....	319
	Abkürzungsverzeichnis.....	321
A	Kurzinformation zu den Kernkraftwerken in Deutschland.....	327
A.1	Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim 1 (GKN 1).....	327
A.2	Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim 2 (GKN 2).....	328
A.3	Kernkraftwerk Philippsburg 1 (KKP 1).....	328
A.4	Kernkraftwerk Obrigheim (KWO)	329
A.5	Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG)	331
A.6	Kernkraftwerk Isar 1 (KKI 1).....	333
A.7	Kernkraftwerk Niederaichbach (KKN)	334
A.8	Kernkraftwerk Gundremmingen Block A (KRB-A)	335
A.9	Kernkraftwerk Gundremmingen Block B (KRB-II-B)	337
A.10	Kernkraftwerk Grundremmingen Block C (KRB-II-C)	338
A.11	Kernkraftwerk Rheinsberg	339
A.12	Kernkraftwerk Biblis-A (KWB-A).....	341
A.13	Kernkraftwerk Biblis-B (KWB-B).....	342
A.14	Kernkraftwerk Unterweser (KKU).....	344

A.15	Kernkraftwerk Lingen (KWL).....	345
A.16	Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich (KMK)	346
A.17	Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB)	348
A.18	Kernkraftwerk Brokdorf (KBR).....	349
A.19	Kernkraftwerk Emsland (KKE)	350
A.20	Kernkraftwerk Grohnde (KWG).....	350
A.21	Kernkraftwerk Isar 2 (KKI 2).....	351
A.22	Kernkraftwerk Krümmel (KKK).....	351
A.23	Kernkraftwerk Philippsburg 2 (KKP 2).....	351
B	Untersuchung Small Facility (Universität zu Köln)	353
B.1	Dokumentation zur Feststoffprobenentnahme	353

1 Einleitung und Zielstellung

Seit den Ereignissen im japanischen Kernkraftwerk Fukushima im Jahr 2011 wurden bis 2019 insgesamt 14 Kernkraftwerke (KKW) in Deutschland vom Netz genommen. Es befinden sich noch drei im Betrieb, die bis zum 31.12.2022 abgeschaltet werden. Darüber hinaus befinden sich derzeit 21 Kraftwerksblöcke in verschiedenen Stadien der Stilllegung. Mit dieser Vielzahl an abgeschalteten Anlagen steht Deutschland vor erheblichen Stilllegungsarbeiten. Im Zuge der Stilllegung fallen pro Anlage je nach Anlagentyp rund 400.000 Mg bis 600.000 Mg Reststoffe an. Hiervon entfallen rund 200.000 Mg auf Reststoffe aus dem Kontrollbereich, wovon der überwiegende Teil (rund 97 %) einer Freigabe nach StrlSchV zugeführt werden kann /GRS 17/, da diese Massen nicht oder nur geringfügig kontaminiert sind. Bei einem optimierten Rückbau sind nur etwa 3 % der Masse des Kontrollbereiches radioaktive Abfälle, die geordnet beseitigt werden müssen.

Beim Rückbau von Kernkraftwerken (KKW) sind in der Regel folgende Wege zur Entlassung bzw. Abgabe von radioaktiven Stoffen vorgesehen:

- Reststoffbehandlung und Freigabe am Standort,
- externe Reststoffbehandlung mit Freigabe beim externen Dienstleister (im In- und Ausland),
- externe Reststoffbehandlung, Rückführung der Reststoffe und Freigabe am Standort,
- Abgabe als radioaktiver Stoff zur Weiterverwendung.

Die Verfahren zur Freigabe von Reststoffen als nicht radioaktive Stoffe werden in Abhängigkeit von der Stoffart und dem Entsorgungsziel festgelegt. Im Freigabeverfahren werden die wesentlichen Daten (Nuklidvektor, Eignung und Kalibrierung der Messeinrichtungen, Herkunft des Stoffes und ggf. Homogenitätsnachweis) geprüft sowie stichprobenartige Kontrollmessungen durchgeführt. Die freigegebenen Reststoffe unterliegen dann den Bestimmungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG).

Nach § 2 Absatz 5 Nummer 2 des Entsorgungsübergangsgesetzes (EntsorgÜG) /ENT 17/ ist für die Möglichkeit der Freigabe maßgeblich, ob Stoffe als radioaktive Abfälle zur Endlagerung abgegeben, oder dem konventionellen Stoffkreislauf zugeführt werden.

Welche Faktoren die Möglichkeit einer Freigabe bestimmen ist jedoch aus technischer Sicht wenig konkretisiert und der Stand von Wissenschaft und Technik nicht aufbereitet. Untersuchungsbedarf besteht bei der Frage, in welcher Weise und in welchem Umfang die bei der Stilllegung und Rückbau anfallenden Stoffströme zur Freigabe durch

- Planungen (Auswahl, Einteilung, Abbaureihenfolge etc.),
- Prozesse (Dekontamination, Abbau, Zerlegung, Sortierung, Pufferlagerung etc.)
- und die messtechnische Erkennung/Identifikation von Radioaktivität (radiologische Charakterisierung, Orientierungs- und Freimessungen)

beeinflusst werden.

Neben den Kernkraftwerken sollte im Vorhaben zur Überprüfung der Anwendbarkeit neuerer Messmethoden, insbesondere der Beschleunigermassenspektrometrie (*Accelerator Mass Spectrometry, AMS*), auch ein im Rückbau befindliches Radionuklidlabor betrachtet werden. Diese Labore weisen zum einen oftmals eine komplexe Betriebshistorie hinsichtlich der verwendeten Nuklidspektren auf und erfüllen zum anderen selten eine für ein Freigabeverfahren notwendige Dokumentation sämtlicher Tätigkeiten. Die Eignungsprüfung der AMS unter den genannten Randbedingungen mit Blick auf die Freigabe ist daher von großem Interesse. Diese Untersuchungen wurden durch den Unterauftragnehmer Universität zu Köln durchgeführt.

Im Laufe des Forschungsvorhabens wurde letzteres aufgestockt und eine weitere kern-technische Anlage in die Untersuchungen miteinbezogen. Bei dieser Anlage handelte es sich um den Forschungsstandort Dresden-Rossendorf. Ein wesentlicher Unterschied zu Leistungsreaktoren besteht hier darin, dass aufgrund der komplexen Betriebshistorie ein wichtiger Fokus des Rückbaus auf der Lösung eher unerwarteter Probleme lag wie z. B. vorab unbekanntes Kontaminationen in als kontaminationsfrei eingeschätzten Bereichen. Bei Leistungsreaktoren liegt dagegen der Fokus eher auf Rückbau und Freigabe großer Massenströme. Der Forschungsreaktor Rossendorf ist dabei aufgrund des Umfangs der Tätigkeiten im Rückbau von besonderem Interesse, da hier unterstellt werden kann, dass viele Aspekte des Rückbaus von Forschungsreaktoren abgedeckt sind.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollten die wesentlichen Einflussfaktoren auf den Massenstrom geringfügig radioaktiver Stoffe zur Freigabe beim Rückbau von kern-technischen Einrichtungen ermittelt und ihr Einfluss möglichst quantifiziert werden. Es

sollten Aussagen getroffen werden, welche relativen Änderungen der anfallenden Massen auftreten, wenn die genannten Einflussfaktoren sich ändern. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollte auch die eingesetzte Messtechnik bei der radiologischen Charakterisierung sowie den Orientierungs- und Entscheidungsmessungen in der Stilllegung betrachtet werden.

Hinsichtlich der Strukturierung des Arbeitsprogrammes waren die folgenden Arbeitspakete (AP) vorgesehen:

- AP 1: Ausgewählte Kernkraftwerke und Datenakquise
- AP 2: Vergleichsmaßstab: Referenzkonzept Stilllegung Leichtwasserreaktoren
- AP 3: Vorgehensweise der Stilllegung im Falle der ausgewählten Anlagen
- AP 4: Einfluss von Rückbaustrategie, -verfahren und Messtechnik beim Rückbau von KKW auf die Freigabe

Abschnitt 2 geht auf die Inhalte und Ergebnisse der jeweiligen Arbeitspakete ein.

2 Darstellung der Projektarbeiten und -ergebnisse

2.1 AP 1: Ausgewählte Kernkraftwerke und Datenakquise

In diesem Arbeitspaket wurden die sich im Rückbau befindlichen bzw. bereits zurückgebauten Kernkraftwerke in Deutschland recherchiert und beschrieben. Weiterhin wurden für die weiteren Arbeiten drei sich im Rückbau befindlichen Kernkraftwerke (zwei Druckwasserreaktoren (DWR) und ein Siedewasserreaktor (SWR)) ausgewählt.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden verschiedene Betreiber von KKW für die Untersuchungen in den folgenden Arbeitspaketen kontaktiert und um Unterstützung gebeten. Dabei signalisierten bestimmte Betreiber von KKW zunächst Interesse an einer Zusammenarbeit. Eine Zusammenarbeit mit insgesamt zwei Betreibern fand entsprechend statt; zusätzlich konnten einige Informationen von einem dritten Betreiber genutzt werden. Eine tabellarische Zusammenstellung relevanter Informationen aller KKW in Deutschland (bis auf die drei hier beschriebenen) in Deutschland findet sich in Anhang A. In den folgenden Kapiteln werden lediglich drei Anlagen (KKW Stade, KKW Würgassen und KKW Greifswald) näher vorgestellt.

Weiterhin wurde neben den besagten Leistungsreaktoren auch der Rückbau des Forschungsstandorts Rossendorf, der neben einem Forschungsreaktor weitere kerntechnische Anlagen auf dem Gelände hatte, untersucht. Weitere Informationen dazu finden sich in Abschnitt 2.1.4.

Neben den Kernkraftwerken soll im Vorhaben zur Überprüfung der Anwendbarkeit neuerer Messmethoden, insbesondere der Beschleunigermassenspektrometrie (*Accelerator Mass Spectrometry, AMS*), auch ein im Rückbau befindliches Radionuklidlabor betrachtet werden. Abschnitt 2.1.5 geht näher auf das Radionuklidlabor ein.

2.1.1 Kernkraftwerk Stade (KKS)

2.1.1.1 Kurzbeschreibung

Im Jahr 1967 wurde mit dem Bau des Kernkraftwerks Stade (KKS, Abb. 2.1) begonnen. Die erste Kritikalität wurde am 8. Januar 1972 erreicht. Am 29. Januar 1972 ging die Anlage erstmalig ans Stromnetz und am 19. Mai 1972 begann der kommerzielle Dauerbetrieb. Innerhalb 31 Jahren Betriebsdauer erzeugte das KKS eine Gesamtenergie von

152.460.660 MWh (brutto) bzw. 145.896.361 MWh (netto). Der Druckwasserreaktor besaß eine thermische Leistung von 1.892 MW und erzeugte eine elektrische Bruttoleistung von 672 MW. Eine weitere Wärmesenke wurde seit 1984 durch die Versorgung eines benachbarten Salinenbetriebs durch eine Fernwärmeauskopplung erzeugt. Der Betreiber PreussenElektra GmbH beschloss im Herbst 2000 das Kernkraftwerk Stade aus wirtschaftlichen Gründen stillzulegen. Die endgültige Abschaltung der Anlage erfolgte am 14. November 2003 /GRS 19a/.



Abb. 2.1 Kernkraftwerk Stade an der Elbe /SYS 12/

Der Rückbau der Anlage wird in vier Phasen durchgeführt, gefolgt von der 5. Phase, dem konventionellen Abriss der Gebäude. Jede Phase des Rückbaus muss mit einem atomrechtlichen Antrag bei der zuständigen Genehmigungsbehörde beantragt werden /GRS 19a/. Der erste Antrag auf Stilllegung, die Phase 1 des Abbaus sowie die Errichtung und der Betrieb eines Lagers für radioaktive Abfälle (LarA) wurde im Juli 2001 gestellt und am 7. September 2005 vom Niedersächsischen Umweltministerium genehmigt /NMU 05/. Die Genehmigung der Phase 2 des Abbaus folgte am 15. Februar 2006 /NMU 06/. Der Abbau in Phase 3 Teil A beinhaltete den Abbau des Deckels des Reaktordruckbehälters, der Kerneinbauten, des Biologischen Schildes sowie anderer Systeme und Komponenten und wurde am 14. Mai 2008 vom Niedersächsischen Ministerium für Umwelt und Klimaschutz genehmigt /NMU 08/. Die Genehmigung des Abbaus

des Reaktordruckbehälters (Phase 3 B) wurde am 14. Mai 2009 erteilt und der weitere Abbau der Anlage in Phase 4, welche insbesondere Resträume, die Entfernung kontaminierter Betonstrukturen, die Entlassung der Gebäude und des Geländes aus der atomrechtlichen Überwachung beinhaltet wurde am 4. Februar 2011 genehmigt /NMU 09b/, /NMU 11/.

2.1.1.2 Geografische Lage

Das Kernkraftwerk Stade befindet sich am linken Elbeufer in der Gemarkung Stadersand der Stadt Stade, im Kreis Stade (Regierungsbezirk Lüneburg, Niedersachsen). Der Standort (Abb. 2.2) liegt etwa 4 km nordöstlich der Stadt Stade und 45 km westlich von Hamburg. Das KKS befindet sich ca. 700 m zur in Elbmitte gelegenen Landesgrenze mit dem Bundesland Schleswig-Holstein /GRS 19a/.

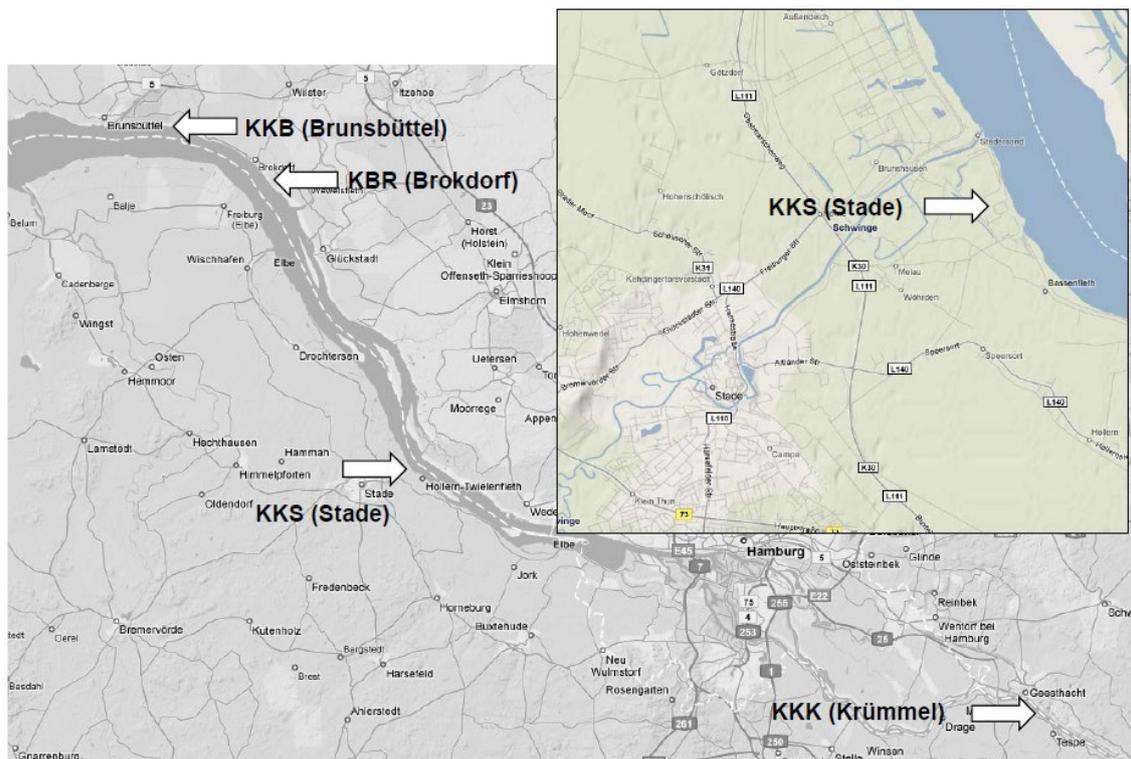


Abb. 2.2 Lage des Kernkraftwerkes Stade und benachbarter Kernkraftwerke /GOO 08/

2.1.1.3 Charakterisierung der Anlage

Ein Überblick über die Gebäudeanordnung des KKS ist in Abb. 2.3 dargestellt. Das Kernstück der Anlage besteht aus dem Reaktorgebäude Z01 mit Ringraum, dem Reaktorhilfsanlagengebäude Z02 mit Nebengebäuden und dem Maschinenhaus Z04. Im Reaktorhilfsanlagenanbau Z02c befindet sich der Fortluftkamin Z14, welcher eine Höhe von etwa 80 m über Grund besitzt. Die Systeme und Einrichtungen zur Steuerung, Überwachung und Regelung der Kraftwerksanlage befinden sich im Schaltanlagengebäude Z05, welches zwischen der Stirnseite des Reaktorhilfsanlagengebäudes Z02 und dem Maschinenhaus Z04 angebaut ist. An die Südostseite des Maschinenhauses Z04 schließen das Betriebsgebäude Z06 und das Notstromdieselgebäude Z17 an und an die Nordwestseite das Fremddampferzeugungssystem Z04a. Die Kühlwasserversorgung erfolgt mithilfe des Kühlwasserentnahmebauwerks Z08 und des Kühlwasserrückgabebauwerks Z09 über die Elbe. Südöstlich vom Reaktorgebäude Z01 befindet sich das Gebäude für die unabhängigen Notstandsanlagen Z16 (UNS-Gebäude) /KKS 03a/, /GRS 19a/.

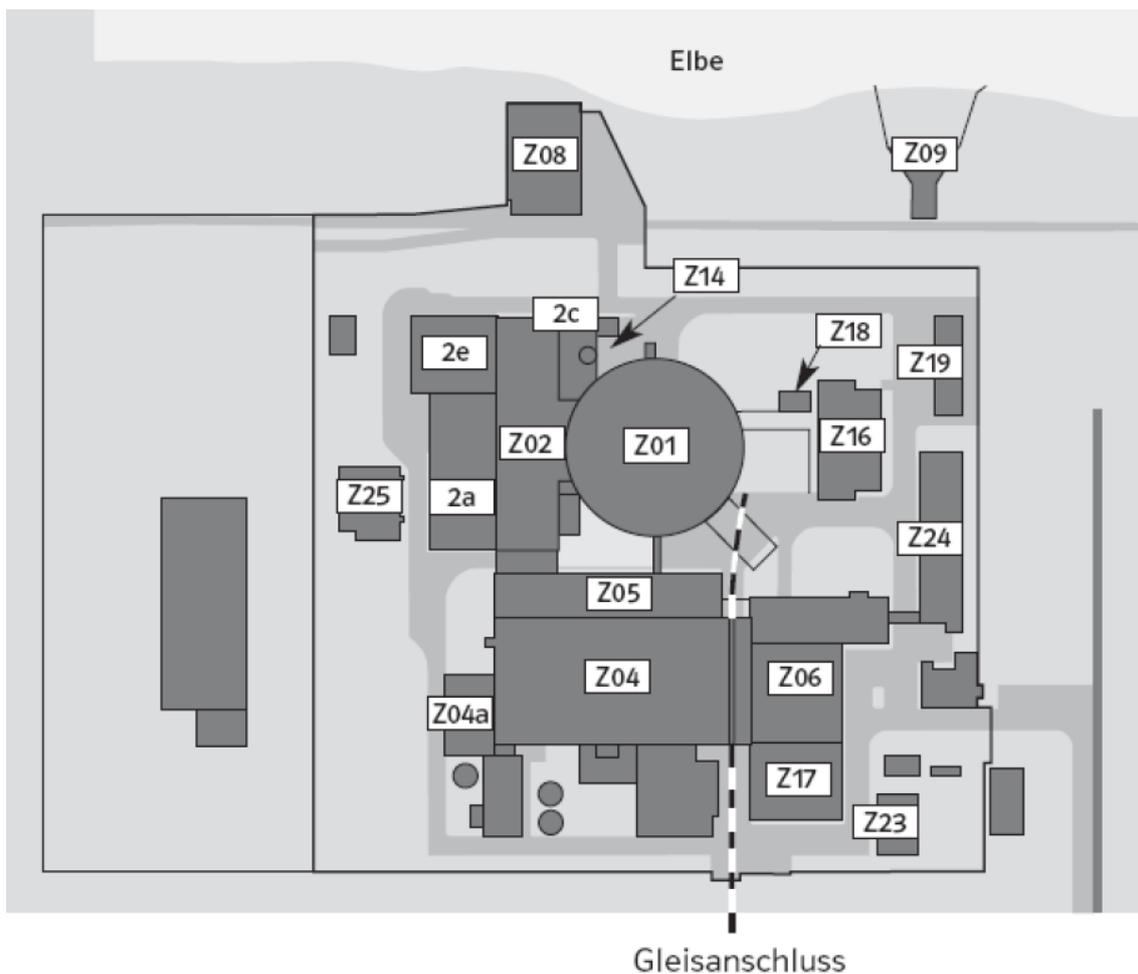


Abb. 2.3 Gebäudeanordnung KKS /KKS 03a/

Der Längsschnitt durch das Reaktorgebäude der Anlage ist in Abb. 2.4 dargestellt. Das Reaktorgebäude (9) besitzt einem äußeren Durchmesser von 52 m und besteht aus bewehrtem Stahlbeton mit einer Wandstärke zwischen 60 cm (obere Kuppel) und 120 cm. Das Reaktorgebäude hat die Funktion als Sekundärabschirmung in Bezug auf die Schutzwirkung der Umgebung gegen ionisierende Strahlung und dient gleichzeitig dem Schutz vor äußeren Einwirkungen wie beispielsweise Druckwellen aus Explosionen von Gasgemischen. Der kugelförmige Sicherheitsbehälter (8) besteht aus Stahl und besitzt eine Wandstärke von mindestens 25 mm. Über Personenschleusen, Materialschleusen und Notschleusen ist der Sicherheitsbehälter mit dem Ringraum (11) verbunden. Der Reaktordruckbehälter (1) befindet sich in seiner Einbaulage im Biologischen Schild (5). Die Frischwasserversorgung des Reaktordruckbehälters erfolgt über die Hauptkühlmitteleitung (2) mit vier Dampferzeugern und vier Hauptkühlmitteleitungen. Eine weitere Komponente des Primärkreislaufes ist der Druckspeicher (6). Die Infrastruktur für die Be- und Entladung der Brennelemente besteht aus der Lademaschine (10), dem Reaktorgebäudekran (7) und dem Reaktorbecken (12) /KKS 03b/, /GRS 19a/.

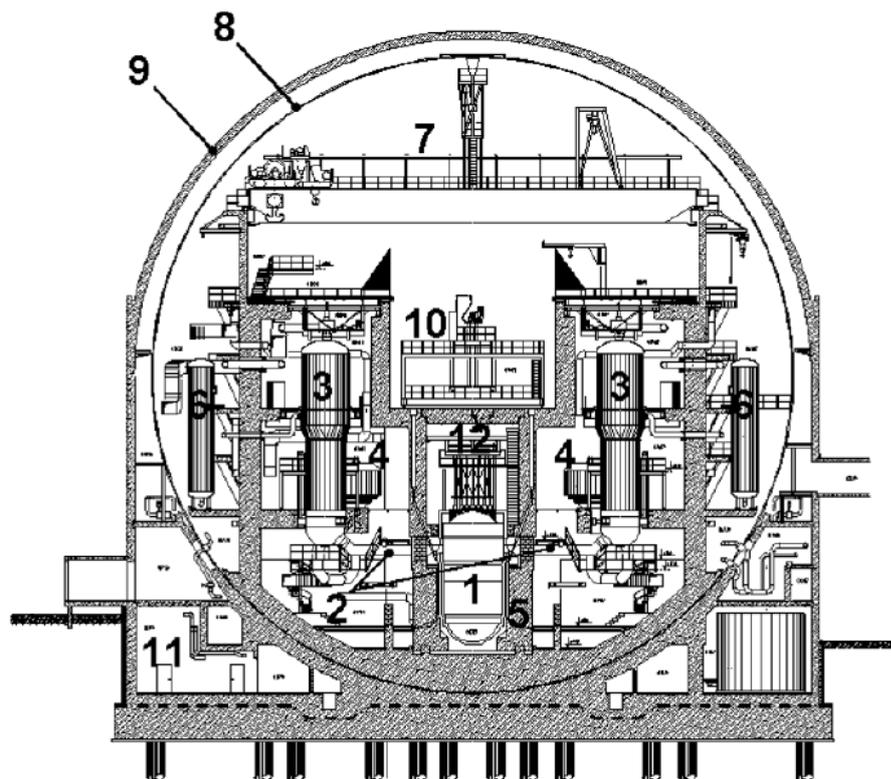


Abb. 2.4 Längsschnitt durch das Reaktorgebäude KKS /KKS 03b/

2.1.2 Kernkraftwerk Würgassen (KWW)

2.1.2.1 Kurzbeschreibung

Baubeginn des Kernkraftwerk Würgassen (KWW, Abb. 2.5) war im Jahr 1968. Das KWW diente als Modellanlage eines Kernkraftwerks mit Siedewasserreaktor mit direkter Dampfeinspeisung vom Reaktor in die Turbine. In abgewandelter Form wurde dieses Modell später in den Großserien in Deutschland realisiert. Die erste Kritikalität erfolgte am 22. Oktober 1971 und die Anlage ging am 18. Dezember 1971 erstmals ans Stromnetz. Nach dem 4-jährigen Probetrieb durch den Hersteller AEG begann der kommerzielle Dauerbetrieb am 11. November 1975 mit der Übergabe an den Betreiber PreussenElektra. Innerhalb 23 Jahren Betriebsdauer erzeugte das KWW 72,9 TWh Strom. Der Siedewasserreaktor besaß eine thermische Leistung von 1.912 MW und erzeugte eine elektrische Nettoleistung von 640 MW /PEL 20a/, /GER 72/. Im Rahmen der geplanten Revision 1994 wurde das KWW vorübergehend abgeschaltet, wobei Risse im Kernmantel und den Kerngitterplatten gefunden wurden. Nach einer Grundsanierung hätte die Anlage bis 2000 weitergetrieben werden können, allerdings wurde aus wirtschaftlichen Gründen am 29. Mai 1995 beschlossen, die Anlage stillzulegen. Somit befand sich das Kernkraftwerk Würgassen von 1994 bis zur Erteilung der Stilllegungs- und Rückbaugenehmigung am 14. Mai 1997 im Stillstandsbetrieb /PEL 20a/, /GRS 19a/. Seit Oktober 1996 ist die Anlage frei von Kernbrennstoffen; die Brennelemente wurden zur Wiederaufarbeitung nach La Hague (Frankreich) gebracht.



Abb. 2.5 Kernkraftwerk Würgassen während der Betriebsphase /GRS 19a/

Die Stilllegung erfolgte nach dem Verfahren des direkten Abbaus der Anlage zur „Grünen Wiese“. Der Rückbau der Anlage wird in sechs Phasen durchgeführt, wobei Phase 6 aus dem konventionellen Abriss der Gebäude, Geländearbeiten, Restarbeiten und Rekultivierung des Kraftwerksgelände zur „Grünen Wiese“ besteht. Jede Phase des Rückbaus muss mit einem atomrechtlichen Antrag bei der zuständigen Genehmigungsbehörde beantragt werden. Der erste Antrag auf Stilllegung, Abbau von Anlagenteilen sowie die Überführung der Anlage in den Restbetrieb (Phase 1) wurde am 25. September 1995 gestellt und am 14. Mai 1997 genehmigt. Die Genehmigung der Phase 2, die im Wesentlichen den Abbau von Anlagenteilen im Reaktorgebäude beinhaltet wurde am 6. Januar 1998 erteilt und die Phase 3 (u. a. Abbau des Sicherheitsbehälters, des Druckabbausystems und der Kondensationskammer) wurde am 14. Juli 1999 genehmigt. Die Phasen 4 und 5 beinhalten den Abbau von der Isolierung des Reaktordruckbehälters, dem Biologischer Schild und dem Brennelementlagerbecken sowie die Entlassung aller Gebäude mit Ausnahme des UNS-Gebäudes und der Transportbereitstellungshalle (TBH) aus dem Kontrollbereich und wurden am 6. September 2002 genehmigt. Am 28. August 2014 wurden Abluftanlagen außer Betrieb genommen. Mit dem Abschluss des nuklearen Rückbaus am 29. August 2014 ist das KWW das erste komplett abgeschlossene Rückbauprojekt eines Leistungsreaktors /PEL 20a/, /GRS 19a/. Bis zur Abgabe des Inventars an ein Endlager bleiben das UNS-Gebäude (Unabhängiges Notkühlsystem) und die Transportbereitstellungshalle als Zwischenlager für radioaktive Abfälle auf

dem Gelände bestehen. Die Genehmigung des Betriebs der Gebäude besteht bis 2033 bzw. 2045 /ASK 12a/. Teile des Anlagengeländes wurden nach Nachweis der Einhaltung der Freigabewerte Ende des Jahres 2017 bereits freigegeben /ASK 18a/.

2.1.2.2 Geografische Lage

Das Kernkraftwerk Würgassen befindet sich am östlichen Weserufer im Stadtteil Würgassen von Beverungen im Kreis Höxter im Bundesland Nordrhein-Westfalen. Der Standort (Abb. 2.6) liegt zwischen Bad Karlshafen und Beverungen /GRS 19a/.

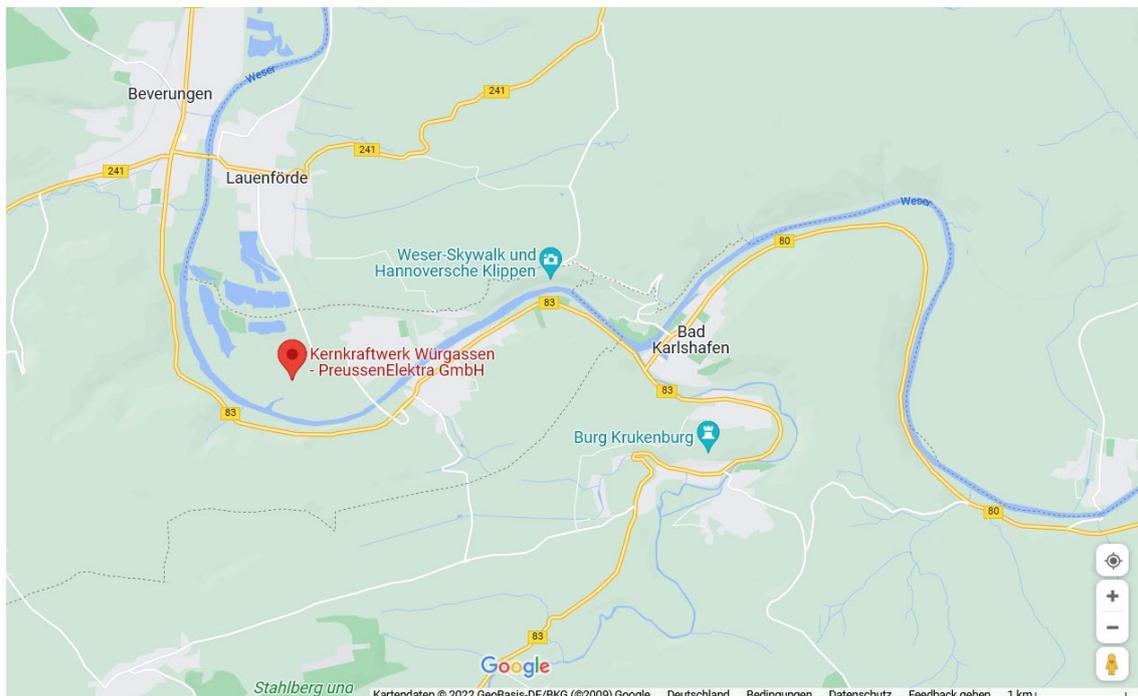


Abb. 2.6 Lageplan des Kernkraftwerks Würgassen /GOO 22/

2.1.2.3 Charakterisierung der Anlage

Ein Überblick über die Gebäudeanordnung ist an Abb. 2.7 dargestellt. Das umzäunte Gelände beläuft sich auf eine Größe von ca. 160.000 m². Die Gebäudestrukturen sind farblich der jeweiligen Rückbauphase zugeordnet. Die Gebäude, die in der ersten Rückbauphase abgebaut wurden, sind grün, die in der zweiten blau und die in der dritten rot markiert. Die orangen markierten Gebäudeteile wurden in der vierten Phase rückgebaut. In der fünften Phase folgen die lila markierten Gebäude. Die Kühltürme wurden in der konventionellen Rückbauphase (gelb) zurückgebaut /GRS 19a/.

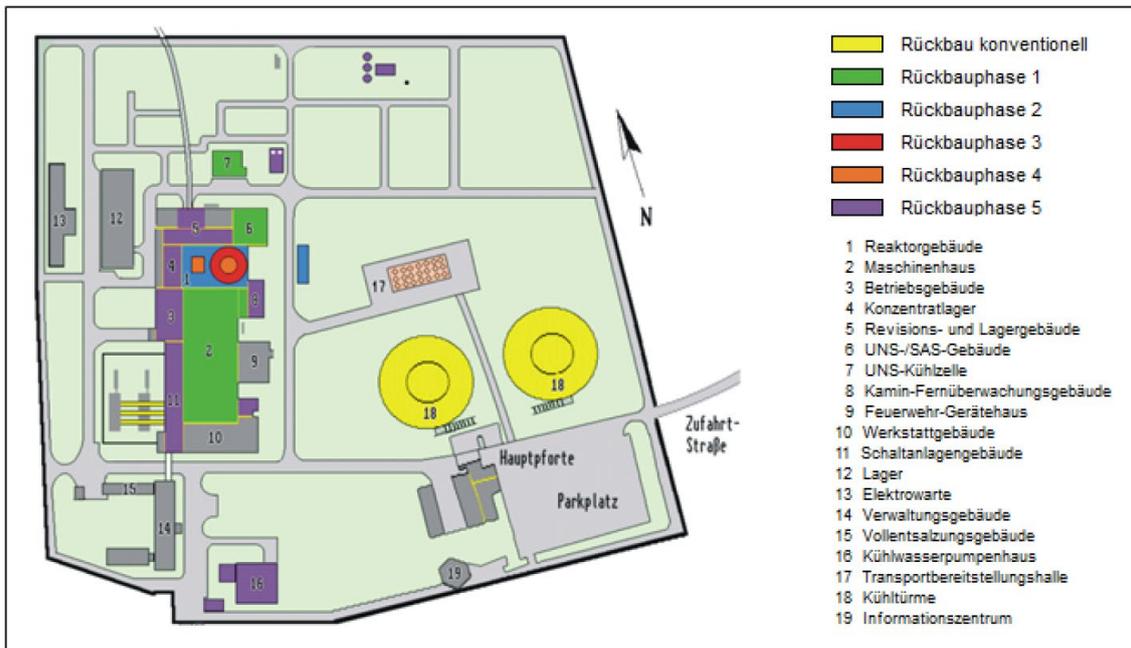


Abb. 2.7 Gebäudeplan des KWW /BFS 02/

Der vereinfachte Längsschnitt durch das Maschinenhaus, das Reaktorgebäude und das UNS-/SAS-Gebäude (UNS: Unabhängiges Nachkühlsystem; SAS: Schnellabschaltsystem) ist in Abb. 2.8 dargestellt.

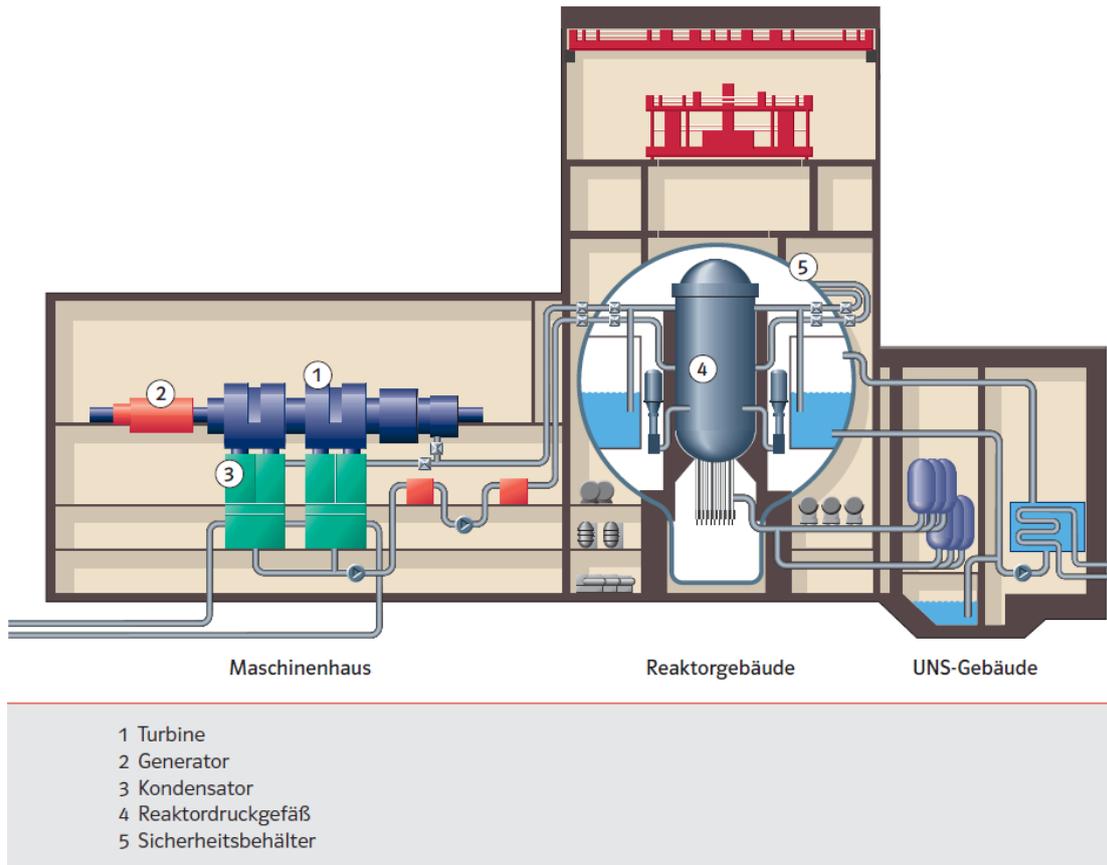


Abb. 2.8 Schematischer Längsschnitt durch die Anlage KWW /EON 03/

Im Reaktorgebäude befindet sich neben der Reaktoranlage auch ein Trockenlager für neue Brennelemente, das Brennelementlagerbecken und die notwendigen Einrichtungen für den Brennelementwechsel. Zudem wurden im Reaktorgebäude Reaktorsicherheitssysteme und die Abwasseraufbereitung installiert /KWW 04/.

Das Grundkonzept der Ein-Block-Siedewasseranlage des KWW zeichnet sich durch mehrere Charakteristika aus, darunter die auf ca. 50 MW/m^3 Kernvolumen erhöhte Leistungsdichte im Kern oder den mittels Wasserstrahlpumpen teilintegrierten Kühlmittelzwangsumlauf. Zudem wird der im Reaktor erzeugte Dampf direkt der Turbine zugeführt. Weiterhin charakteristisch sind die Kompaktheit der Sicherheitshülle durch Druckabbau-systeme und die doppelwandige, leckagefreie Bauart der Sicherheitsumschließung /GRS 19a/.

Die Konzentrataufbereitungsanlage, eine Neuentwicklung in der Anlagentechnik stellte eine weitere Besonderheit des KWW dar. Durch ein spezielles Trocknungsverfahren

wurden die festen, radioaktiven Rückstände aus Filtern und Verdampfern so weit eingedickt, dass diese nach Überführung in Fässer dem Endlager zugeführt werden konnten /GRS 19a/.

2.1.3 Kernkraftwerk Greifswald (KGR)

2.1.3.1 Kurzbeschreibung

Nach dem am 14. Juli 1956 geschlossenen Regierungsabkommen zwischen der DDR und der UdSSR wurde der Bau des Kernkraftwerks Greifswald (KGR, Abb. 2.9) beschlossen. Geplant waren acht Druckwasserreaktorblöcken zu je 440 MW_e mit einer geplanten Gesamtleistung von 3.250 MW_e /VKA 00/.

Die Blöcke 1 bis 4 wurden als Doppelblockanlagen mit Reaktoren vom Typ WWER-440/W-230 errichtet /VKA 00/. Der Block 1 bzw. 2 ging im Jahr 1973 bzw. 1974 in Betrieb und die Blöcke 3 und 4 folgten in den Jahren 1978 und 1979. In der Betriebsdauer bis zum Jahr 1990 erzeugten die Blöcke 1 bis 4 insgesamt 147.919 GWh elektrische Energie. Die Energierückgewinnungsanlage erzeugte zusätzliche 221 GWh. Hinzu kamen 11.188 TJ Wärme, die seit Dezember 1983 Wohnungen, Industriebetriebe und kommunale Einrichtungen der Stadt Greifswald versorgten. Die vier Druckwasserreaktorblöcke erzeugten zusammen eine elektrische Leistung von 1.760 MW, was ca. 11 % des Strombedarfs der DDR abdeckte /GRS 19a/.

Die Blöcke 5 bis 8 sollten als Anlagen vom sicherheitstechnisch weiterentwickelten Typ WWER-440/W-213 betrieben werden. Im Jahr 1989 wurde der Probetrieb des Blockes 5 aufgenommen, allerdings am 29. November 1989 aufgrund einer Störung wieder eingestellt. Die Reaktorleistung betrug bis zu 55 %. Der Block 6 war anlagentechnisch montiert, das Reaktordruckgefäß wurde bereits 1987 eingesetzt und der Block 7 war bautechnisch fertiggestellt, das Reaktordruckgefäß wurde 1990 montiert. Der Block 8 befand sich im fortgeschrittenen Montagezustand /VKA 00/.



Abb. 2.9 Ansicht des Kraftwerkstandorts Greifswald /EWN 09a/

In einer Sicherheitsanalyse der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) GmbH im Auftrag des damaligen Bundesumweltministers wurden westliche Sicherheitsstandards der 90er Jahre mit dem Projektdesign der 60er/70er Jahre verglichen. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden Defizite bei den Blöcken 1 bis 4 in der sicherheitstechnischen Ausrüstung festgestellt /GRS 19a/.

1990 wurden die Blöcke 1 bis 4 nach aufsichtsbehördlichen Anordnungen außer Betrieb genommen. Zur Wiederinbetriebnahme wären umfangreiche Rekonstruktionsmaßnahmen nötig gewesen. Eine Nachrüstung des Blockes 5 wäre aufgrund der technischen Neuerungen möglich gewesen, aus Kostengründen und dem Genehmigungsrisiko wurde jedoch kein Investor gefunden /GRS 19a/. Am 18. Dezember 1990 hat der Aufsichtsrat der Energiewerke Nord AG den Beschluss gefasst die Blöcke 1 bis 4 stillzulegen /VKA 00/. Als letzter Block wurde einen Tag später der Block 1 außer Betrieb genommen. Die EWN GmbH beschloss am 7. Juli 1991 die Einstellung der Errichtung der Blöcke 6 bis 8 und am 11. September 1991 die Stilllegung des Blockes 5 /EWN 95a/.

Der erste Antrag auf Stilllegung und Abbau wurde am 5. März 1993 durch die EWN GmbH beim Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern gestellt, der aufgrund von mangelnden Unterlagen zunächst nicht geprüft werden konnte. Nach Nachtrag umfas-

sender Antragsunterlagen wurde am 30. Juni 1995 die Stilllegungs- und Abbaugenehmigung erteilt. Diese beinhaltet die Genehmigung der Stilllegung der Blöcke 1 bis 6, des Abbaus von Anlagenteilen der Blöcke 1 bis 6 sowie wesentlichen Rahmenbedingungen, auf welche sich die nachfolgenden Genehmigungsanträge zum Abbau von Anlagen und Anlagenteilen beziehen /GRS 19a/.

2.1.3.2 Geografische Lage

Das Kernkraftwerk Greifswald befindet sich in Nähe der Gemeinde Lubmin im Kreis Vorpommern-Greifswald im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern in etwa 1 bis 2 km Entfernung zum Greifswalder Bodden. Der Standort grenzt nordöstlich, abgetrennt durch die Kanalanlagen der Kühlwassereinleitung bzw. des Ableitungsbauwerkes, an die Halbinsel Struck beziehungsweise den Peenestrom. Das Werksgelände grenzt in den anderen Richtungen durch einen 1,5 bis 2,5 km breiten Waldstreifen, der Lubminer Heide (Abb. 2.10 und Abb. 2.11) /GRS 19a/.



Abb. 2.10 Geografische Lage des KKW Greifswald /GOO 08/

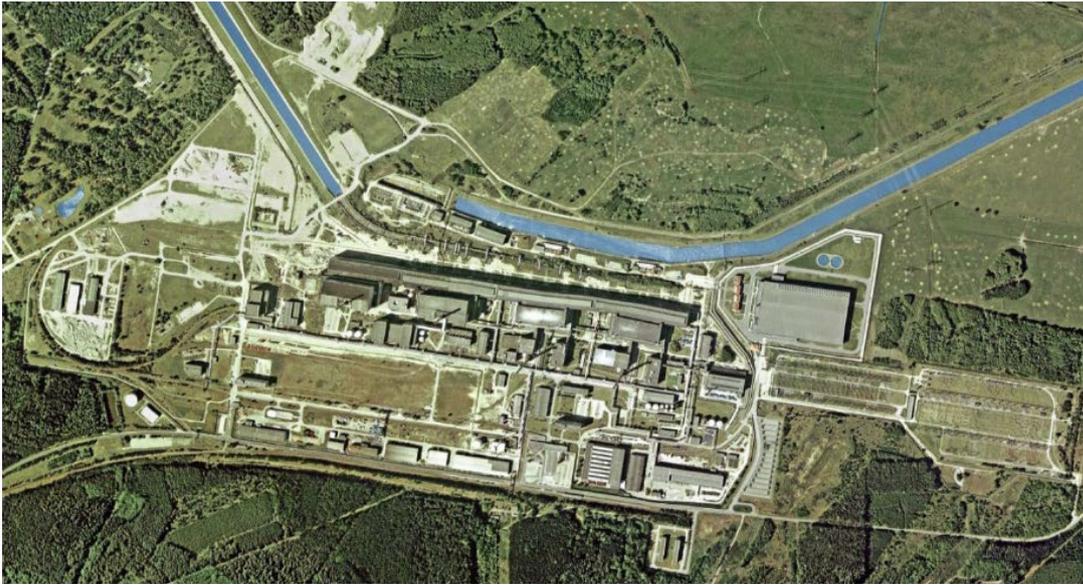


Abb. 2.11 Luftbildansicht des Kernkraftwerkstandortes Greifswald /GOO 08/

2.1.3.3 Charakterisierung der Anlage

Nach ursprünglicher Planung sollte das Kernkraftwerk Greifswald vier Doppelblockanlagen beinhalten.

Ein Überblick über die Gebäudeanordnung ist an Abb. 2.12 dargestellt. Blau markiert ist der Rückbaubereich mit Stand Februar 2008. Die Funktionsgebäude Zentrale Aktive Werkstatt (ZAW) und Zwischenlager Nord (ZLN) sind grün gekennzeichnet und abgebaute Gebäude orange. Die Freimessanlage ist gelb markiert.

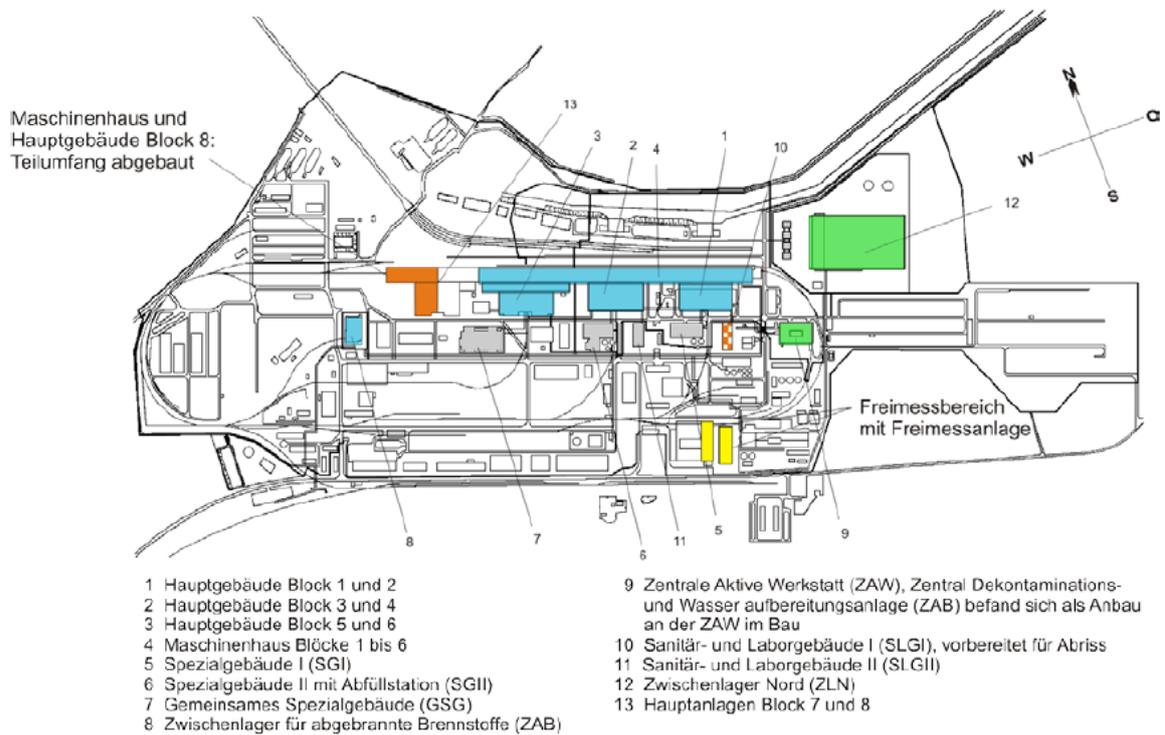
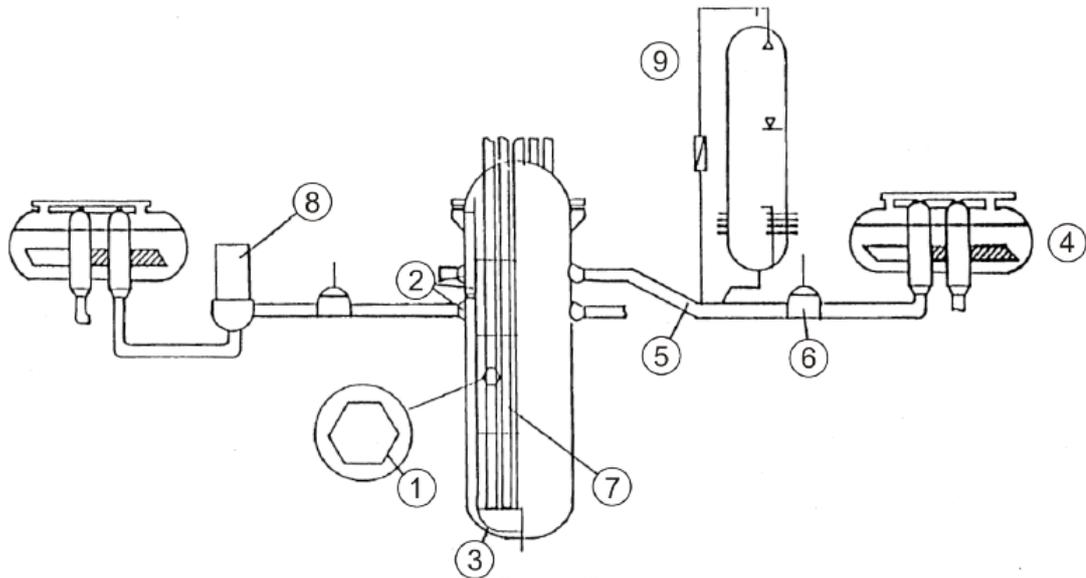


Abb. 2.12 Skizze zur Lage der Gebäude des KRG /GRS 11/

Die russische Reaktorbaulinie WWER-440 (Wodo-Wodjanoi Energetitscheski Reaktor – Wasser-Wasser Energiereaktor) ist ein wassermoderierter und wassergeführter Druckwasserreaktor. Der WWER-440 ist ein heterogener thermischer Reaktor und als Brennstoff wird niedrigangereichertem Uranoxid verwendet /GRS 19a/.

In Hinblick auf die technische Auslegung gibt es wesentliche Unterschiede den Kernkraftwerksbaulinien der alten Bundesländer. Die konstruktiven Besonderheiten sind in Abb. 2.13 dargestellt /GRS 19a/.



Legende:

Alle Typen	1	Sechseckige Brennelemente
	2	Ein- und Austrittsstutzen übereinander, perforierter Schachtring
	3	Elliptischer Siebboden (nicht beim W-230)
	4	Liegende U-Rohrdampferzeuger
WWER-440 allgemein	5	Schleifenabsenkung im heißen Strang
	6	Hauptabsperrschieber, 6 Kühlkreisläufe
	7	Steuerkassetten im Brennelementeunterteil
Nur W-230	8	Vollgekapselte Hauptumwälzpumpe ohne Schwungmasse
	9	Verbindungsleitung heißer Strang - Dampfraum Druckhalter

Abb. 2.13 Konstruktive Besonderheiten der WWER-Anlage /GRS 91/

Im Folgenden werden die anlagen- und systemtechnischen Merkmale der beiden Bautypen WWER-440/W-230 (Blöcke 1 bis 4) und WWER-440/W-213 (Blöcke 5 bis 8) dargestellt /GRS 91/, /GRS 19a/.

Typ WWER-440/W-230

In Abb. 2.14 ist der schematische Gebäudelängsschnitt einer WWER-440/W-230 Anlage dargestellt.

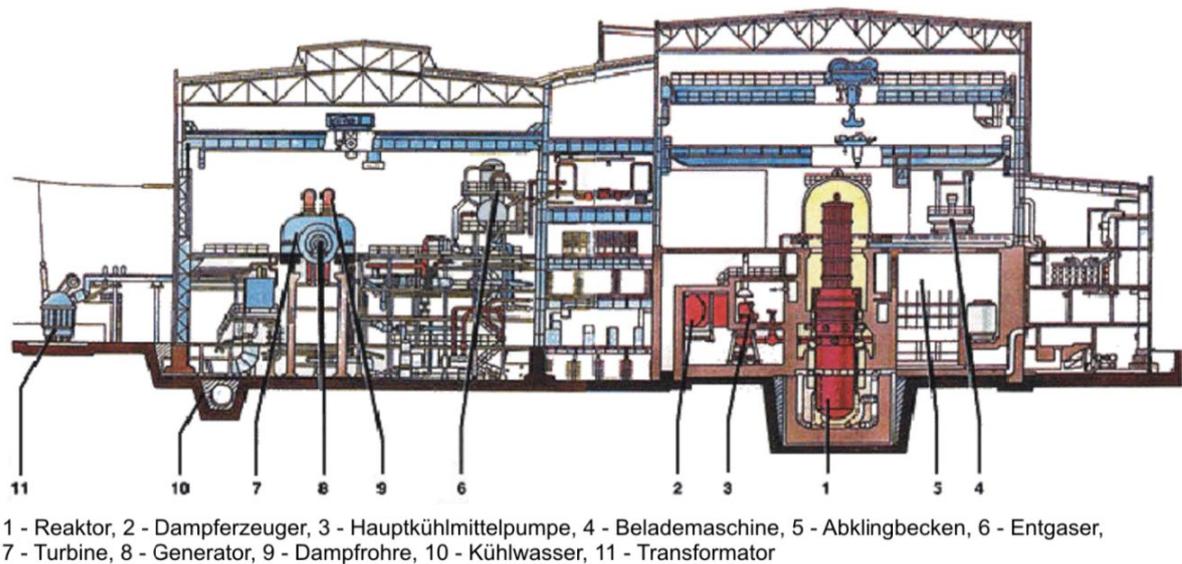


Abb. 2.14 Schematischer Längsschnitt durch den Anlagentyp WWER-440/W-230
/GRS 98/

Primärkreis

Der Reaktorkühlkreislauf besteht aus einem wassergekühlten und wassermoderierten Druckwasserreaktor (DWR) und sechs Hauptumwälzleitungen (HUL) mit einer Nennweite von 500 (DN 500). Der DWR besitzt eine thermische Leistung von 1.375 MW. Die Umwälzschleifen besitzen jeweils eine Hauptumwälzpumpe (HUP), einen Dampferzeuger (DE) und zwei Hauptspreeschieber (HAS). Die HAS dienen der Absperrung der Umwälzschleife am Reaktordruckgefäß (RDG).

Der Druckhalter (DH) im Reaktorkühlkreis besitzt die Funktion Druck- und Volumenschwankungen auszugleichen. Das Wasservolumen im DH ist über zwei Anschlussleitungen DN 200 mit dem nicht absperrbaren Bereich des heißen Stranges einer Hauptumwälzschleife verbunden. An den kalten Strang der Hauptumwälzschleife schließt die DH-Sprühleitung über eine Leitung DN 100 an. Die zusätzliche Verbindungsleitung DN 200 zwischen dem Dampfvolument im DH und dem heißen Strang der Hauptumwälzschleife, die eine Besonderheit der W-230 Anlagen darstellt, ist mit einer Rückschlagklappe ausgestattet und dient bei großen, nicht auslegungsgemäßen Druckschwankungen einen unzulässigen Druckanstieg im Primärsystem zu verhindern. Der DH ist mit zwei Sicherheitsventilen versehen, die in einen Abblasebehälter abblasen, welcher mit einer Berstmembran gegen Überdruck abgesichert ist.

Reaktordruckgefäß

In Abb. 2.15 sind die Reaktordruckgefäße (RDG) der Anlagen W-230 (links) und W-213 (rechts) abgebildet. Die stehenden zylindrischen Behälter mit elliptischem Boden besitzen einen gewölbten Deckel, welcher für die W-230 Anlage nicht abgebildet ist. Im Weiteren wird näher auf das RDG der Anlage W-230 eingegangen. Die untere Zone besteht aus drei nahtlos geschmiedeten Ringen, die im mittleren Bereich an zwei Stützenringe anschließen. Der Flansch befindet sich oberhalb davon. Auf dem Flansch sitzt innen der Reaktorschacht und außen der Reaktordeckel, der mit 60 Stiftschrauben befestigt ist.

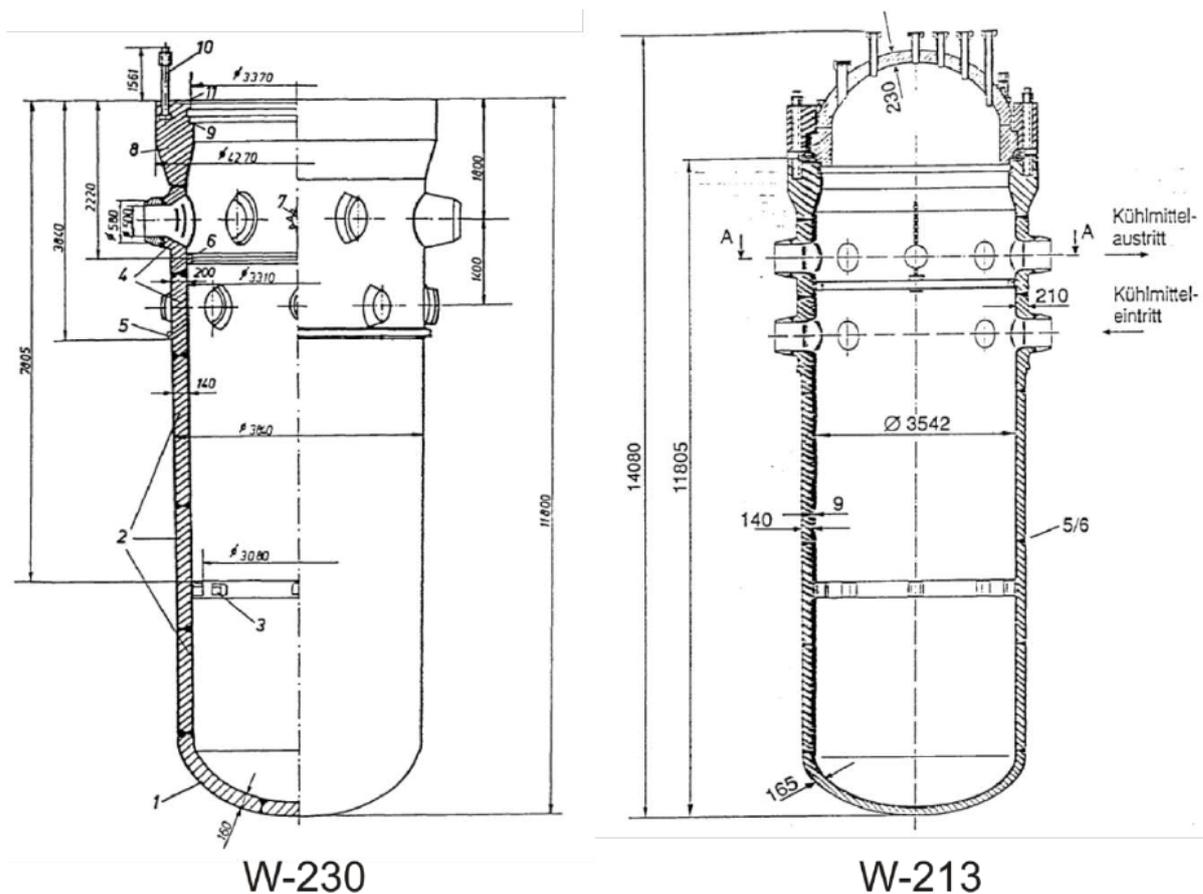


Abb. 2.15 Reaktordruckgefäße der Anlagen W-230 (links) und W-213 (rechts)
/GRS 91/

Der Druckbehälter besteht aus niedriglegiertem CrMoV-Stahl und ist in den Blöcken 1 und 2 teilweise und in den Blöcken 3 und 4 vollständig mit einer austenitischen Plattie- rung ausgekleidet. An der unteren Stutzebene sind sechs Eintrittsstutzen DN 500 zum Anschluss der kalten Stränge und an der oberen Stutzebene sind sechs Austrittsstutzen DN 500 zum Anschluss der heißen Stränge der Hauptumwälzschleifen angebracht. Der

Anschluss von Messleitungen erfolgt über einen Stutzen DN 100 an der oberen Stutzebene.

Hauptumwälzpumpen

Die Hauptumwälzpumpe einer W-230 Anlage ist eine vertikale stopfbuchslose Radialpumpe. Die Kühlung des Pumpenlagers und des Rotors erfolgt durch einen autonomen Kühlkreislauf und die der Wickelköpfe der Statorwicklung über einen Luftkühlkreislauf. Durch einen zusätzlichen Zwischenkühlkreislauf (ZKKL-HUP) wird die Wärmeabfuhr aus den beiden Kühlkreisläufen und gleichzeitig die direkte Kühlung des HUP-Stators erreicht.

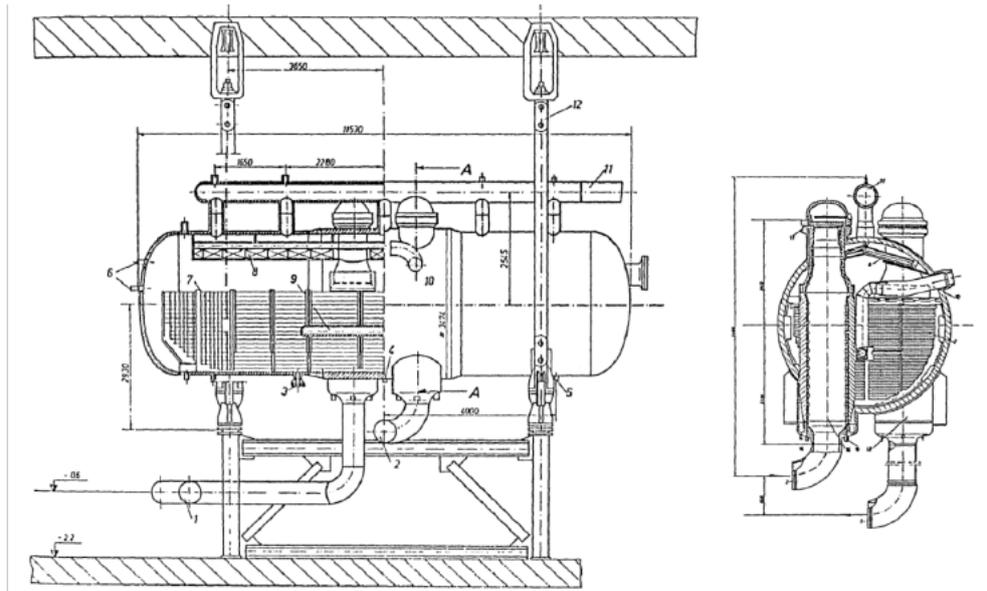
Am Motor der Pumpen sind keine zusätzlichen Schwungmassen angebracht. Dadurch kann im Falle eines Ausfalls der Stromversorgung der hinreichend langsame Abfall des Kühlmitteldurchsatzes nicht durch das Trägheitsmoment der Schwungmassen, sondern nur durch ein spezielles elektromechanisches Auslaufverhalten gewährleistet werden.

Hauptabsperrschieber

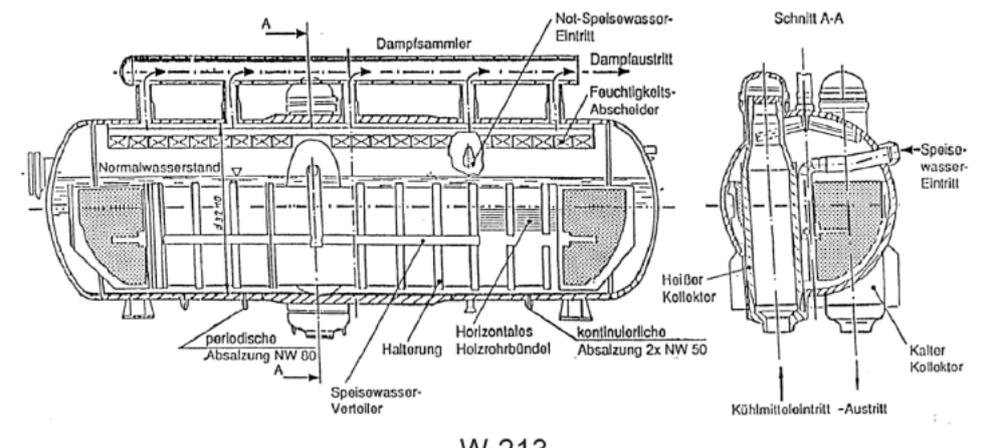
In den Anlagen des Typs WWER-440 kann durch Zufahren der jeweiligen Absperrschieber eine Hauptumwälzschleife vom übrigen Teil des Primärkreises abgesperrt werden. Die Schließzeit beträgt dabei 70 s. Diese Methode stellt eine Besonderheit der WWER-440 Anlagen dar und ermöglicht lokalisierte Lecks in bestimmten Bereichen, wie im DE absperren zu können.

Dampferzeuger

In Abb. 2.16 ist ein Dampferzeuger einer W-230 (oben) sowie einer W-213 Anlage (unten) dargestellt. Die Dampferzeuger sind großvolumige Behälter, die in sogenannten Dampferzeuger-Boxen liegen mit horizontal verlaufenden Wärmetauscherrohren (Siederohre). Die Aufsicht dieser räumlichen Anordnung ist in Abb. 2.17 zu sehen.



W-230



W-213

Abb. 2.16 Dampferzeuger der Anlagen W-230 (oben) und W-213 (unten) /GRS 91/

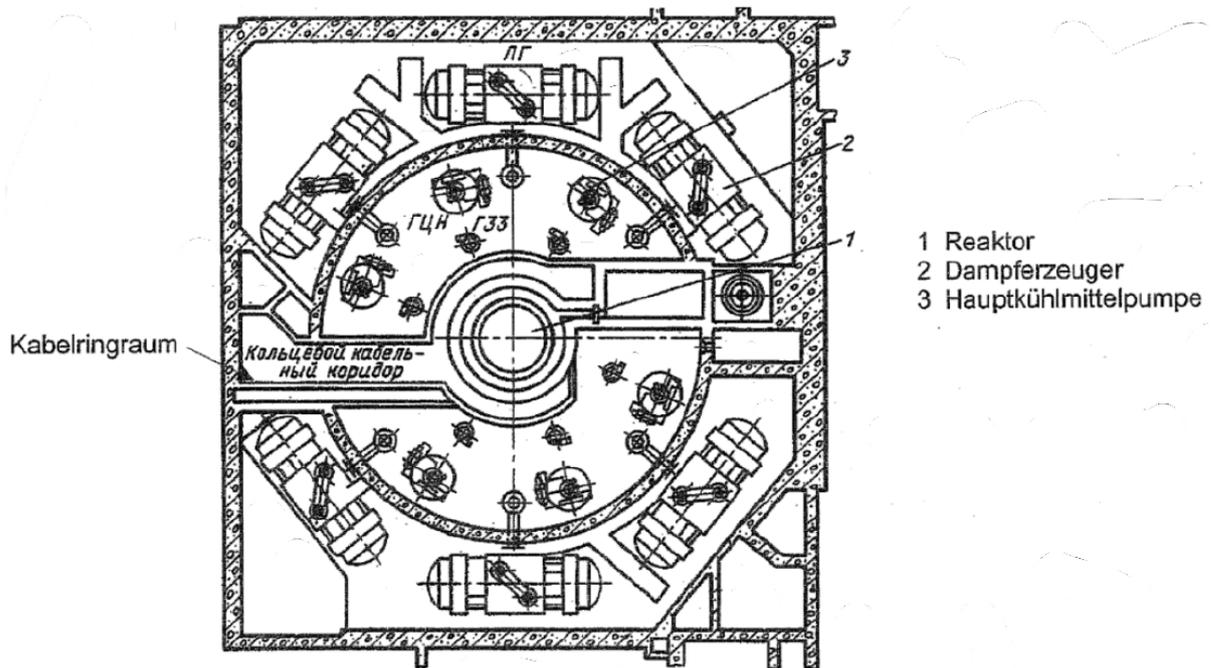


Abb. 2.17 Aufsicht der räumlichen Anordnung eines WWER-Reaktors /BFS 02/

Zwei von unten einbindende Kollektoren ermöglichen den Ein- und Austritt des primärseitigen Kühlmittels. Das Kühlmittel strömt vom Eintrittskollektor durch 5.536 U-förmige, liegende Siederohre zu dem Austrittskollektor. Der Dampfsammler ist oberhalb des Dampferzeugers durch fünf Stützen mit dem Dampfsammelraum des DE verbunden. Über ein Verteilerrohr wird das Speisewasser mit dem DE-Inhaltswasser vermischt. Die Speisewasserversorgung für die Sekundärseite des Dampferzeugers und die Notspeisewasserversorgung erfolgen über eine Leitung DN 250.

Sekundärkreis

Auf der 14,7 m-Bühne werden die Leitungen des Frischdampf- und Speisewassersystems aus dem sowie in das Druckraumsystem geführt. Die zugehörigen Armaturen, wie die Abblasestation, die Sicherheitsventile, schnellschließende Absperrventile und Speisewasser-Regelventile befinden sich ebenfalls auf der 14,7 m-Bühne.

Frischdampfsystem

Die Frischdampfversorgung der beiden Turbogeneratoren (TG) erfolgt über eine Frischdampfleitung (FD-Leitung) aus den Dampferzeugern. Jeder Dampferzeuger verfügt über eine FD-Leitung. Einem TG sind je 3 DE mit der jeweiligen FD-Leitung zugeordnet. Die FD-Leitungen sind ohne Absperrung mit einem FD-Sammler verbunden. Dieser verfügt

über eine Doppelabsperrung, die im Normalbetrieb geöffnet ist, womit der FD-Sammler in zwei Halbwerte getrennt werden kann. Jeder Dampferzeuger besitzt zwei eigenmediumgesteuerte Sicherheitsventile (2 x 50 %) mit je einem Steuerventil, welches mit einer elektromagnetischen Zusatzbelastung ausgestattet ist. Jede FD-Leitung verfügt über ein Absperrschieber hinter den Dampferzeugern sowie über einen Motorschieber, ein Regelventil und ein Turbinenschnellschlussventil vor der Turbine.

Um den Druckausgleich zwischen den sechs Schleifen zu gewährleisten, führen Verbindungsleitungen mit jeweils einer schnellschließenden Armatur von den Frischdampfleitungen zum Frischdampfsammler. Im Bereich des Frischdampfsammlers sind zwei FD-Abblasestationen (BRU-A) mit Dampfabströmung in die Atmosphäre (Abblasen über Dach) eingebaut. Im Falle eines Ausfalls des Turbinenkondensators, insbesondere im Notstromfall übernehmen die notstromversorgten FD-Abblasestationen die sekundärseitige Wärmeabfuhr.

Zwei Umleitstationen (BRU-K) je Halbwerk sorgen bei Turbinenschnellschluss für die Umleitung des Frischdampfs in die Turbinenkondensatoren, sofern diese verfügbar sind. Die Umleitstationen besitzen eine Leistung von ca. 70 % der Nennleistung der DE.

Speisewassersystem

Das Speisewassersystem beinhaltet zwei Speisewasserbehälter mit Entgaser, fünf Speisewasserpumpen (SWP) und sechs Hochdruckvorwärmer. Das Havariespeisewassersystem ist nicht vom Betriebsspeisewasser getrennt. Alle SWP sind saug- und druckseitig über je eine Sammelleitung miteinander verbunden. Vier der fünf SWP sind betriebsbereit und eine dient als Reserve. Das Wasser fließt ausgehend von den zwei Speisewasserbehältern über den Speisewassersammler zu den Saugstutzen der fünf Speisewasserpumpen und der zwei Havariespeisewasserpumpen. Der Speisewassersammler, der von SWP über zwei Druckleitungen gespeist wird, ist ebenso wie der Frischdampfsammler in zwei Halbwerte aufgeteilt, die während des Normalbetriebs nicht getrennt sind. Ausgehend vom Sammler führen die einzelnen Speisewasserleitungen zu den Dampferzeugern.

Pro Halbwertsstrang befindet sich vor den Hochdruckvorwärmern (HDV) ein Regelventil für Normal- und Schwachlast. Die Regelgröße ist dabei der Speisewasserdurchsatz. Für die Regelung des Füllstandes in den einzelnen Dampferzeugern sind in jedem Strang zwei weitere Speisewasserregelventile für Normal- und Schwachlast montiert.

Betriebs- und Kondensatsystem

Das Betriebskondensatsystem stammt aus der speziellen und der chemischen Wasseraufbereitung und dient der Auffüllung des Speisewassersystems sowie der Ergänzung durch betriebliche Verluste.

Das Kondensat wird mittels Kondensattiefbehälterpumpe aus dem Kondensattiefbehälter in den Kondensator geleitet. Mithilfe der Kondensatpumpen wird das Kondensat über ein Regelventil, welches für die Füllstandshaltung im Turbinenkondensator zuständig ist in die Speisewasserbehälter befördert.

Kühlwassersystem

Jede Turbine im Hauptkühlwassersystem besitzt eine Hauptkühlwasserpumpe, die Seewasser aus dem Einlaufbauwerk ansaugt und in die Turbinenkondensatoren befördert.

Zudem gibt es die zwei Nebenkühlwassersysteme, das Technisch-Wasser-System und den Zwischenkühlkreislauf KKW. Das Technisch-Wasser-System ist für die Versorgung von sicherheitstechnisch relevanten und betrieblichen Verbrauchern, wie die Kühlung von Pumpen, Kühlern, Betriebskondensatoren oder Notstromdiesel zuständig.

Sicherheitstechnische Einrichtungen

Die sicherheitstechnischen Auslegungen der W-230 Anlagen entsprechen den damaligen Anforderungen für den Bau und die Planung in der UdSSR. Verglichen zu heutigen Sicherheitsanforderungen an Druckwasserreaktoren ergeben sich Defizite in Bezug auf den Sicherheitseinschluss, die Kapazität, Redundanz und Entmaschung der Sicherheitssysteme, die Vermaschung von Betriebs- und Sicherheitssystemen, die räumliche Trennung redundanter Systeme, sowie bezüglich der Unabhängigkeit der Langzeitnotkühlung.

Störfälle mit Ausgangsereignissen, wie der Abriss großer Rohrleitungen (DN 200 und DN 500) sowie entsprechender Großausrüstungen (Reaktordruckgefäß, Pumpen- und Schiebergehäuse) wurden nicht berücksichtigt. Ebenso wurde die Behandlung von Störfallsituationen bei Versagen von Teilsystemen oder passiven Ausrüstungen Störfallsituationen nicht untersucht.

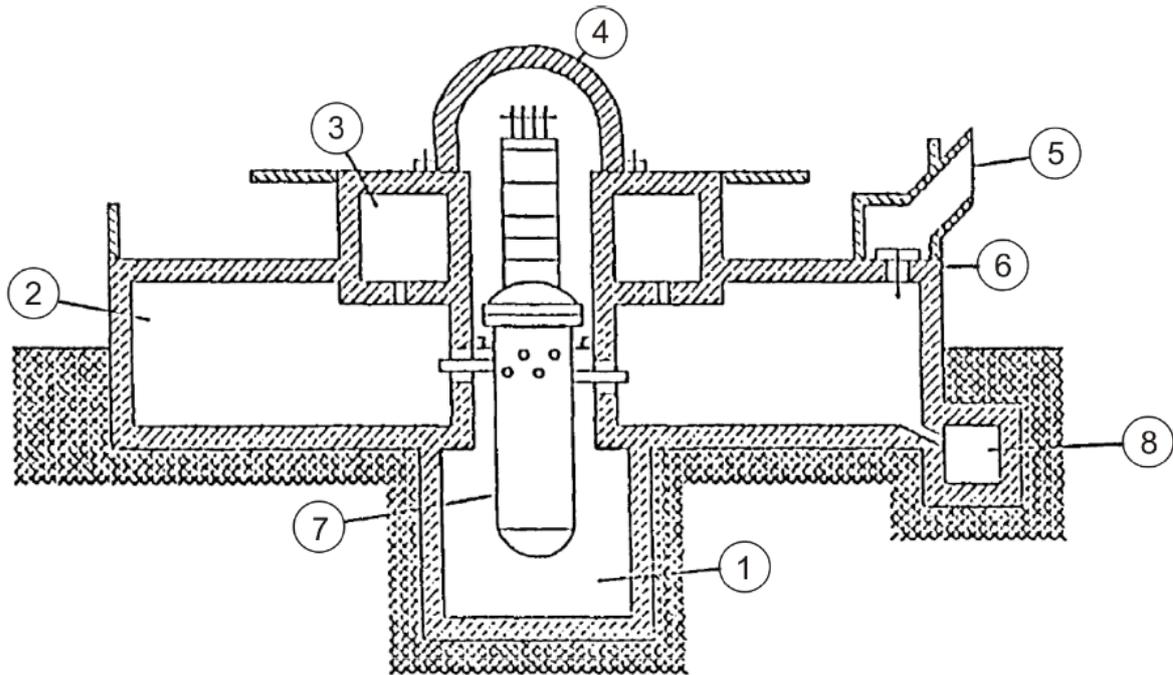
Sicherheitstechnische Vorteile hingegen entstehen durch die Absperrbarkeit der einzelnen Schleifen des Primärkreislaufs, die verhältnismäßig kurze Spaltzone mit verhältnismäßig geringer Leistungsdichte, das stark gedämpfte Schwingungsverhalten der Leistung innerhalb des Kerns und das große Wasservolumen der DE.

Notkühlsystem (Havarie-Boreinspeisesystem)

Das Notkühlsystem besitzt einen Borwasserbehälter, sechs nebeneinander aufgestellte Boreinspeisepumpen und drei Sprinklerpumpen mit je zwei Kühlern. Drei der Boreinspeisepumpen bilden jeweils eine Einheit und befördern Borwasser aus dem Borwasserbehälter über zwei Sammler in den 1. Kreislauf. Die Sprinklerpumpen begrenzen bei Leckstörfällen den Druckaufbau, indem sie Borwasser aus dem Borwasserbehälter ansaugen und in das Druckraumsystem des Reaktorgebäudes einsprühen.

Sicherheitseinschluss (Druckraumsystem)

Das Druckraumsystem einer W-230 Anlage ist in Abb. 2.18 dargestellt. Dieses abgeschlossene Raumsystem dient dem Sicherheitseinschluss der Hauptanlagen des Primärkreislaufs mit dem Reaktordruckgefäß, dem Dampferzeuger, den Hauptumwälzpumpen, dem Hauptabsperrschieber, dem Druckhalter, dem Havarie-Borbehälter und der Primärwassereinspeisungsanlage. Das Gesamtnettovolumen beträgt etwa 14.000 m³ und die Räume sind für einen Überdruck von 1 bar ausgelegt. Lüftungsanlagen sorgen für einen gestaffelten Unterdruck zwischen den nicht begehbaren Räumen, den begehbaren Räumen und der Atmosphäre. Umluftanlagen mit Kühlern führen die Verlustwärme ab. In dem Raum mit dem Dampferzeuger und den Hauptumwälzpumpen sind drei Düsenstränge eines Sprinklersystems für den Druckabbau und die Jodbindung installiert.



1 - Reaktor, 2 - Dampferzeuger, 3 - Raum für Antriebe, 4 - Schutzhaube, 5 - Ausblaseschacht, 6 - Überdruckklappen, 7 - Reaktorschacht, 8 - Vorratsbehälter der Reaktornotkühlung / Sumpf

Abb. 2.18 Druckraumsystem der W-230-Anlage /GRS 91/

Das Druckraumsystem besitzt neun Überdruckklappen, die mit der Umgebung verbunden sind. Im Falle des maximalen Auslegungsstörfalls „Abriss einer Anschlussleitung an den Primärkreislauf DN 100 mit Ausflussbegrenzer DN 32“ mit unterstellter Wirksamkeit der Sprinkleranlage bleiben die Klappen geschlossen. Beim Auslegungsstörfall und Versagen der Sprinkleranlage werden die Klappen geöffnet. Dies schützt die Druckräume beim Bruch der größten Anschlussleitung DN 200 an der Hauptumwälzleitung im nicht absperrbaren Bereich.

Notspeisewasserversorgung (Havarie-Speisewassersystem)

Das Havarie-Speisewassersystem besitzt zwei Pumpen, welche sich neben den Hauptspeisewasserpumpen im Maschinenhaus befinden. Die Rohrleitungen des Speisewasser- und Notspeisewassersystems sind saug- und druckseitig vermascht.

Kühlwasserversorgung (Technisch-Wasser-System)

Das Technisch-Wasser-System besitzt fünf Pumpen für einen Doppelblock, welche sich in einem gemeinsamen Raum befinden. Die Pumpen speisen druckseitig auf einen

Sammler und versorgen davon ausgehend alle Betriebs- und Sicherheitssysteme eines Blocks über einen Strang mit Kühlwasser.

Elektrische Energieversorgung

Netzanbindung

Es ist ein Anfahrnetzanschluss vorhanden. Für eine zuverlässige Trennung des Generators vom Netz wurden Generatorschalter für die Hauptnetzanschlüsse nachgerüstet. Die Leistungsabgabe der Blöcke erfolgt in das 220 kV- und das 380 kV-Netz.

Eigenbedarfsanlage

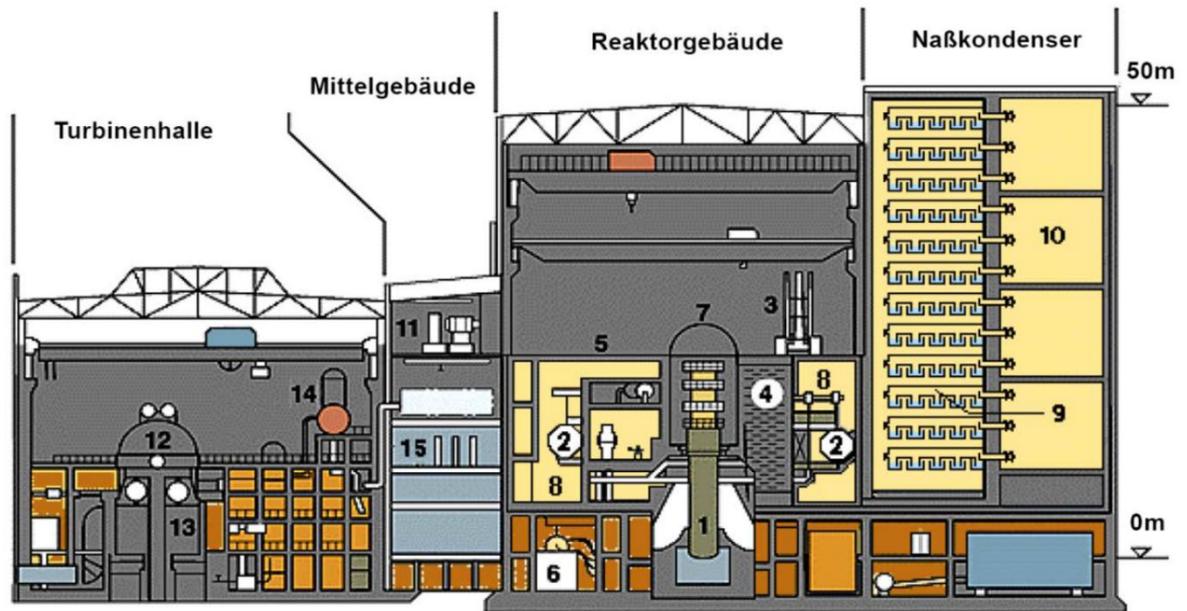
Es sind Verbindungsmöglichkeiten zum Nachbarblock vorhanden. Im Notstromfall werden die Hauptkühlmittelpumpen durch die Auslaufenergie der Turbogeneratoren für einen begrenzten Zeitraum weiterbetrieben.

Notstromsystem

Das Notstromsystem ist größtenteils zweisträngig aufgebaut und es ist auf verschiedenen Ebenen, wie mit Dieselaggregaten, Schaltanlagen oder Gleichstromanlagen vermascht.

Typ WWER-440/W-213

In Abb. 2.19 ist der schematische Gebäudelängsschnitt einer WWER-440/W-213 Anlage dargestellt.



1 - Reaktordruckbehälter, 2 - Dampferzeuger, 3 - Belademaschine, 4 - Abklingbecken, 5 - Reaktorhalle, 6 - Speisewassersystem, 7 - Schutzhaube, 8 - Druckraum, 9 - Naßkondensator, 10 - Luftfallen, 11 - Frischluftanlage, 12 - Turbine, 13 - Kondensator, 14 - Speisewasserbehälter mit Entgaser, 15 - E- und Leittechnik

Abb. 2.19 Schematische Längsquerschnitt durch den Anlagentyp WWER-440/W-213
/GRS 98/

Primärkreis

Der Reaktorkühlkreislauf der W-213 Anlage besteht wie auch die der W-230 Anlage aus einem wassergekühlten und wassermoderierten Druckwasserreaktor (DWR) und sechs Hauptumwälzleitungen (HUL) mit einer Nennweite von 500 (DN 500). Die W-213 Anlage besitzt ebenfalls eine thermische Leistung von 1.375 MW. Die Umwälzschleifen besitzen jeweils eine Hauptumwälzpumpe (HUP), einen Dampferzeuger (DE) und zwei Hauptspreeschieber (HAS). Die HAS dienen der Absperrung der Umwälzschleife am Reaktordruckgefäß (RDG).

Der Druckhalter (DH) im Reaktorkühlkreis besitzt die Funktion Druck- und Volumenschwankungen auszugleichen. Das Wasservolumen im DH ist wie auch beim W-230 über zwei Anschlussleitungen DN 200 mit dem heißen Strang einer Hauptumwälzschleife verbunden. Im Gegensatz zum W-230 ist beim W-213 keine dritte Ausgleichsleitung zwischen dem heißen Strang und dem Dampfraum des Druckhalters vorhanden. An dem kalten Strang der Hauptumwälzschleife schließt die DH-Sprühleitung über eine Leitung DN 100 an. Der DH ist mit zwei Sicherheitsventilen versehen, die in einen Abblasebehälter abblasen, welcher mit einer Berstmembran gegen Überdruck abgesichert ist.

Reaktordruckgefäß

In Abb. 2.15 sind die Reaktordruckgefäße (RDG) der Anlagen W-230 (links) und W-213 (rechts) abgebildet. Die stehenden zylindrischen Behälter mit elliptischem Boden besitzen einen gewölbten Deckel. Im Weiteren wird näher auf das RDG der Anlage W-213 eingegangen. Der Zylinder besteht aus drei nahtlos geschmiedeten Ringen, welche durch Rundnähte miteinander verschweißt sind.

Der Druckbehälter besteht aus niedriglegiertem ferritischem Stahl und ist mit einer austenitischen Plattierung ausgekleidet. An der unteren Stutzebene sind sechs Eintrittsstützen DN 500 zum Anschluss der kalten Stränge und an der oberen Stutzebene sind sechs Austrittsstützen DN 500 zum Anschluss der heißen Stränge der Hauptumwälzschleifen angebracht. Die vier Kernflutbehälter sind auf beiden Stutzebenen jeweils über zwei Stützen DN 250 angeschlossen. Der Anschluss von Messleitungen erfolgt über einen Stützen DN 250 an der oberen Stutzebene.

Hauptumwälzpumpen

Die Hauptumwälzpumpen der W-213 Anlagen besitzen erhebliche konstruktive Unterschiede zu denen der W-230 Anlagen. Die Hauptumwälzpumpe ist eine vertikale, einstufige Kreiselpumpe und besitzt eine mechanische, sperrwasserbeaufschlagte Wellendichtung. Die Motorenlager und das obere Pumpenlager werden durch ein notstromversorgtes Ölsystem geschmiert und das untere Pumpenlager wird durch einen eigenen Kühlkreislauf mit Wasser geschmiert und gekühlt.

Im Gegensatz zu den Pumpen der W-230 Anlagen besitzen die der W-213 Anlagen eine zusätzliche Schwingmasse am Motor. Dadurch kann im Falle eines Ausfalls der Stromversorgung der hinreichend langsame Abfall des Kühlmitteldurchsatzes durch das Trägheitsmoment der Schwungmassen gewährleistet werden.

Dampferzeuger

Der Dampferzeuger einer W-213 Anlage ist in Abb. 2.16 dargestellt. Es handelt sich ebenso wie bei den W-230 Anlagen um großvolumige, liegende Behälter mit horizontal verlaufenden U-förmigen Wärmetauscherrohren. Zwei von unten einbindende Kollektoren ermöglichen den Ein- und Austritt des primärseitigen Kühlmittels. Der Dampf aus

dem Dampfsammelraum des Dampferzeugers wird über fünf Stutzen über die Frischdampfleitung DN 400 zur Turbine geleitet. Der Unterschied zu den Dampferzeugern der W-230 Anlagen liegt in der Notspeisewasserversorgung. Während die Speisewasser- und Notspeisewasserversorgung in W-230 Anlagen über eine gemeinsame Leitung erfolgt, wird der DE in W-213 Anlagen über eine Leitung DN 250 mit Speisewasser und über eine davon getrennte Leitung DN 80 mit Notspeisewasser versorgt.

In westlichen Druckwasserreaktoren werden vertikale Dampferzeuger eingesetzt. Ein wesentlicher Vorteil der horizontalen Dampfdruckerzeugern der WWER-440 Anlagen im Vergleich zu den vertikalen DE ist die vergleichsweise große Ausdampffläche und die damit verbundene geringe Ausdampfgeschwindigkeit und einfache Wasserabscheidung. Dies erschwert jedoch die Messung des Dampferzeugerfüllstandes und damit die Speisewasserregelung.

Sekundärkreislauf

Die Leitungen des Frischdampf- und Speisewassersystems werden wie auch bei den W-230 Anlagen gemeinsam auf der 14,7 m-Bühne aus dem sowie in das Druckraumsystem geführt. Die zugehörigen Armaturen (Abblasestation, Sicherheitsventile, schnellschließende Absperrventile und Speisewasser-Regelventile) befinden sich ebenfalls auf der 14,7 m-Bühne.

Frischdampfsystem

Prinzipiell ist der Aufbau des Frischwassersystems ähnlich zu der einer W-230 Anlage. Auch des Frischwassersystems der W-213 Anlagen verfügt über sechs Dampferzeuger und zwei Turbogeneratoren, wobei jedem Turbogenerator drei Dampferzeuger mit drei Frischdampfleitungen zugeordnet sind. Die FD-Leitungen sind ohne Absperrung mit einem FD-Sammler verbunden. Dieser verfügt über eine Doppelabspernung, die im Normalbetrieb geöffnet ist, womit der FD-Sammler in zwei Halbwerke trennbar ist. Jeder Dampferzeuger besitzt zwei eigenmediumgesteuerte Sicherheitsventile (2 x 50 %) mit je einem federbelasteten Steuerventil, welches mit einer elektromagnetischen Zusatzbelastung ausgestattet ist. Die Steuerventile und damit auch die Hauptventile lassen sich von der Blockwarte aus ansteuern. Jede FD-Leitung verfügt in Strömungsrichtung über eine schnellschließende Armatur, eine Rückschlagklappe und ein Absperrschieber.

Im nicht absperrbaren Bereich der Frischdampfleitung ist für jeden Dampferzeuger eine FD-Abblasestationen (BRU-A) mit Dampfabströmung in die Atmosphäre (Abblasen über Dach) eingebaut. Im Falle eines Ausfalls des Turbinenkondensators, insbesondere im Notstromfall übernehmen die notstromversorgten FD-Abblasestationen die sekundärseitige Wärmeabfuhr.

Zwei Umleitstationen (BRU-K) je Halbwerk sorgen bei Turbinenschnellschluss für die Umleitung des Frischdampfs in die Turbinenkondensatoren, sofern diese verfügbar sind. Die Umleitstationen besitzen eine Leistung von ca. 70 % der Nennleistung der DE.

Speisewassersystem

Die fünf Speisewasserpumpen sind saug- und druckseitig über je eine Sammelleitung miteinander verbunden. Diese Sammelleitungen sind in zwei Halbwerke aufgeteilt, die während des Normalbetriebes durch Absperrarmaturen getrennt sind. Drei Dampferzeugern werden jeweils zwei SWP mit einem Speisewasserbehälter zugeordnet. Die fünfte SWP dient der Reserve und kann je nach Bedarf aus einem der beiden Speisewasserbehälter fördern. Das Wasser wird von den Pumpen je Halbwerk über eine Druckleitung hinter den Hochdruckvorwärmern in den oberen Speisewassersammler befördert. Der Speisewassersammler ist ebenso wie der Frischdampfsammler in zwei Halbwerke aufgeteilt, die während des Normalbetriebs nicht getrennt sind. Ausgehend vom Sammler führen die einzelnen Speisewasserleitungen zu den Dampferzeugern.

Pro Halbwerksstrang befinden sich vor den Hochdruckvorwärmern (HDV) zwei parallele Regelventile für Normal- und Schwachlast. Als Regelgröße dienen der Speisewasserdurchsatz in Abhängigkeit von der Turbinenleistung und zusätzlich der Füllstand des jeweiligen Speisewasserbehälters für den Fall, dass der Füllstandsgrenzwert im Speisewasserbehälter unterschritten wird. Für die Regelung des Füllstandes in den einzelnen Dampferzeugern ist in jedem Strang auf der 14,7 m-Bühne ein weiteres Speisewasser-Regelventil montiert.

Zusatzspeisewasser- und Kondensatsystem

Das Zusatzspeisewassersystem stammt aus der zentralen Speisewasserversorgung und der chemischen Wasseraufbereitung und dient der Auffüllung des Speisewassersystem sowie der Ergänzung durch betriebliche Verluste.

Über Regelventile gelangt das Zusatzspeisewasser in den Kondensattiefbehälter. Die Regelgröße ist dabei der Füllstand im jeweiligen Speisewasserbehälter. Das Kondensat wird aus dem Kondensattiefbehälter in den Kondensator geleitet. Mithilfe der Kondensatpumpen wird das Kondensat über ein Regelventil, welches für die Füllstandshaltung im Turbinenkondensator zuständig ist in die Speisewasserbehälter befördert.

Kühlwassersystem

Jede Turbine im Hauptkühlwassersystem besitzt eine Hauptkühlwasserpumpe.

Zudem gibt es die zwei Nebenkühlwassersysteme NKW-A und NKW-C. NKW-A ist für die Versorgung von sicherheitstechnisch relevanten Verbrauchern und NKW-C von betrieblichen Verbrauchern zuständig. Beide Systeme kühlen unter anderem die Zwischenkühlkreise NKW-B und NKW-D.

Sicherheitstechnische Auslegung

Verglichen mit denen der W-230 Anlagen wurden die sicherheitstechnischen Einrichtungen der W-213 Anlagen deutlich verbessert. Die Sicherheitssysteme verfügen über eine höhere Kapazität, sind größtenteils redundant als 3 x 100 % Systeme ausgelegt und weitgehend getrennt von den Betriebssystemen ausgeführt.

Das Not- und Nachkühlssystem der Anlagen des Typs W-213 sind mehrsträngig und redundant aufgebaut. Zudem verfügen die Anlagen über ein Druckraumsystem mit einer Nasskondensationsanlage.

Not- und Nachkühlssystem

Das Not- und Nachkühlssystem des Primärkreises ist für die Einspeisung von boriiertem Kühlmittel und die Wärmeabfuhr vor allem bei Kühlmittelverluststörfällen zuständig. Es besteht sowohl aus passiven als auch aktiven Systemen.

Das passive Kernflutsystem beinhaltet vier Druckspeicher mit je 40 m³ Kühlmittelinventar. Bei einem Ansprechdruck von 5,5 MPa, der durch ein Stickstoffposter aufgebaut wird, speisen die Druckspeicher das Kühlmittel über separate Leitungen direkt in das Reaktordruckgefäß ein.

Das aktive System beinhaltet die Hochdruck-Einspeisung (HD) und die Niederdruck-Einspeisung (ND). Im Falle eines Kühlmittelstörfalls wird durch ein Sprinklersystem der Druck im Druckraumsystem aufgebaut. Die einzelnen Systemstränge sind dabei weitgehend entmascht. Je ein Strang des HD-, des ND- und des Sprinklersystems bilden dabei eine Einheit mit gemeinsamer Notstrom- und Kühlwasserversorgung. Jeder Strang der HD-Einspeisung verfügt über einen 65 m³-Borwasserbehälter (40 g Bor pro kg Wasser) und jeder Strang der ND-Einspeisung über einen 500 m³-Borwasserbehälter (12 g Bor pro kg Wasser). Die HD-Einspeisung funktioniert über den gesamten Druckbereich zwischen 12,4 bis 0,1 MPa. Womit im ND-Bereich (< 0,7 MPa) neben den ND-Pumpen eine weitere Einspeisung zur Verfügung steht.

Ist der Borwasserbehälter der HD-Einspeisung leer wird automatisch auf den Borwasserbehälter der ND-Einspeisung umgeschaltet. Ist auch dieser entleert, schalten die ND- und HD-Einspeisungen auf Sumpfumwälzbetrieb um. In diesem Betrieb können die ND- und HD-Einspeisungen die Nachwärme langfristig an das Nebenkühlwassersystem NKW-A abgeben. Die Pumpen des Sprinklersystems saugen zunächst aus den Borwasserbehältern des ND-Systems an, nach Umschaltung auf Sumpfumwälzbetrieb aus dem Gebäudesumpf.

Notspeisewassersystem

Das Notspeisewassersystem ist druckseitig dreisträngig aufgebaut und speist Wasser bei Ausfall des Hauptspeisewassersystems mittels einer Notspeisewasserpumpe in den Dampferzeiger ein. Jeder Strang verfügt über eine Notspeisewasserpumpe. Einer der Stränge wird über die 14,7 m-Bühne in das Druckraumsystem geführt und die anderen beiden Stränge sind durch den Gleiskorridor zwischen den Blöcken 5 und 6 verlegt. Die drei Pumpen saugen über eine gemeinsame Leitung aus einem 1.000 m³-Deionatbehälter. Der Deionatbehälter ist im Freien aufgebaut und besitzt eine Heizung, die eine Abkühlung unter 5 °C verhindert. Die Pumpen befinden sich im Maschinenraum, wobei eine im Bereich der Speisewasserpumpen auf der Höhenknote -2,1 m und zwei im Bereich des Generators auf der Höhenknote 0 m aufgebaut sind.

Eine zusätzliche Pumpe, die Betriebsspeisewasserpumpe wird für das An- und Abfahren der Anlage verwendet. Die Betriebsspeisewasserpumpe befördert das Wasser aus dem Speisewasserbehälter auf den oberen Speisewassersammler. Diese Pumpe ist notstromversorgt und wird nicht automatisch angesteuert.

Nebenkühlwassersystem und Zwischenkühlkreislauf

Das Nebenkühlwassersystem NKW-A und der Zwischenkühlkreislauf NKW-B sorgen für die Kühlung sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen. Die Pumpen von NKW-A und NKW-B befinden sich im gemeinsamen Einlaufbauwerk eines Doppelblocks.

Das Nebenkühlwassersystem NKW-A ist ein offenes System und besitzt 2 x 150 % Einlaufstrecken, welche über mechanische Reinigungsanlagen verfügen. Die beiden Einlaufstrecken laufen in einen Sammelkanal. Aus dem Sammelkanal saugt das dreisträngige System, wobei jeder Strang über zwei notstromversorgte Pumpen (2 x 100 %) verfügt.

Der Zwischenkühlkreislauf NKW-B ist ein einsträngiges System mit notstromversorgten Pumpen und Kühlern (jeweils 3 x 50 %). Der Druck im NKW-B liegt über dem in den zu kühlenden Systemen.

Druckraumsystem

Das Druckraumsystem ist in Abb. 2.19 zu sehen. Dabei handelt es sich um ein Bauwerk, welches den Primärkreis zur Verhinderung der Freisetzung von radioaktiven Stoffen bei Kühlmittelverluststörfällen umschließt. Die Nasskondensationsanlage des Druckraumsystems begrenzt dabei den Druckaufbau in Falle eines Kühlmittelverluststörfalls. Das System ist für einen maximalen Druckaufbau bei einem 2F-Bruch der Hauptumlaufleitung ausgelegt. Verglichen mit dem Druckraumsystem der W-230 Anlagen ergeben sich erhebliche Unterschiede.

Das Nasskondensationssystem ist in Abb. 2.19 mit der Nummer 9 gekennzeichnet. Diese Kondensationseinrichtung besteht aus einem Einströmschacht, aus zwölf quer zum Schacht übereinander angeordneten Wannern, welche mit boriiertem Wasser befüllt sind und aus Luftfallen. Die Verbindung zu dem Primärkreis umschließenden Teil des Druckraumsystems erfolgt über vier größere und zwei kleinere Öffnungen, welche mit Berstmembranen verschlossen sind. Der Strömungsweg zum Schacht öffnet bei einer Druckdifferenz über 5.000 Pa.

Bei einem Störfall gelangt der Dampf durch den Einströmschacht in die wassergefüllten Wannern und kondensiert dort. Wenn der Druck oberhalb der Wannern 500 Pa übersteigt,

strömt das Dampf-Luft-Gemisch über doppelte Rückschlagklappen DN 500 in die Luftfallen, wo es zurückgehalten wird. Jede Wanne ist mit zwei Überströmklappen DN 250 ausgestattet, die nur in Richtung des Schachtes öffnen können. Steigt der Druck im Schacht auf 0,16 MPa an, verriegeln diese Klappen im geschlossenen Zustand. Bei kleinen Lecks wird der Druck von 0,16 MPa nicht erreicht, dadurch kann über die Überströmklappen ein Druckausgleich zwischen Schacht und Wanneneinbauten erreicht werden. Der Wasservorrat bleibt für eventuell nachfolgende größere Lecks erhalten.

Die Kondensation des Dampfes in der Wasservorlage der Wanneneinbauten und an den Strukturen im Druckraumsystem führt zur Druckumkehr, sodass der Druck im Schacht unter dem Druck oberhalb der Wanne liegt. Dadurch wird ein Teil des Wassers aus den Wanneneinbauten in den Schacht gedrückt, welches unterhalb der Wanne über Lochbleche verregnet wird, was wiederum zu einer zusätzlichen Kondensation führt. Weiter sorgt die Sprinkleranlage im Wesentlichen für den weiteren Druckabbau bis zum Erreichen eines Unterdrucks gegenüber der Außenatmosphäre.

Zu den lufttechnischen Anlagen zählen Anlagen des Druckraumsystems, Anlagen außerhalb des Druckraumsystems im Reaktorgebäude, Anlagen zur Wärmeabfuhr aus elektrischen Betriebsräumen und Warten sowie Anlagen zur Kühlung von Sicherheitsversorgungssystemen, wie beispielsweise Batterieräume und Räume zur sicheren Wechselstromversorgung. Die Anlagen des Druckraumsystems haben vorrangig die Funktion einen Unterdruck zwischen 150 und 200 Pa während des Normalbetriebes und einen gerichteten Luftstrom aufrechtzuhalten sowie die Luft zu reinigen, zu konditionieren und zu filtern.

Elektrische Energieversorgung

Netzanschluss

Die Netzanbindung erfolgt über zwei 380 kV- und drei 220 kV-Doppelleitungen in das Verbundnetz. Die Turbogeneratoren besitzen Generatorleistungsschalter. Der Eigenbedarf des Blocks kann über den Reservetransformator aus dem 220 kV-Netz bezogen werden. Auch die Reservetransformatoren der anderen Blöcke können über Querverbindungen genutzt werden. Das Kraftwerk ist für den Inselbetrieb ausgelegt.

Eigenbedarfs- und Notstromversorgung

Die Eigenbedarfsanlage besteht aus drei 6 kV-Schaltanlagen. Die Notstromversorgung ist dreisträngig (3 x 100 %) und räumlich getrennt aufgebaut. Die Versorgung der Gleichstrom-Hauptverteilungen im Normalbetrieb erfolgt von den sicheren Hauptverteilungen. Die unterbrechungsfreie Stromversorgung im Notstromfall wird durch eine Batterie gewährleistet, bis die Versorgung durch Dieselgeneratoren wirksam ist.

Leittechnik

Die Leittechnik beinhaltet die Einrichtungen des Normalbetriebs und die Sicherheitsleittechnik (Steuer- und Schutzsystem des Reaktors (SUS), Steuersystemen für die Sicherheitseinrichtungen). Die in den W-213 Anlagen verwendete Basistechnologie ist veraltet und die Leittechnik in der Block- und Reservewarte entspricht nicht dem Standard westlicher Anlagen.

Das Sicherheitsleitsystem ist ebenso wie die verfahrenstechnischen Sicherheitssysteme dreisträngig aufgebaut. Die einzelnen Stränge des Sicherheitsleitsystems sind räumlich getrennt und die elektrische Versorgung erfolgt durch separate Systeme.

Das Reaktorschutzsystem ist zweisträngig aufgebaut. Die Stränge sind räumlich getrennt und werden unabhängig elektrisch versorgt.

Die Sicherheitsleittechnik ist weitgehend unabhängig von der betrieblichen Leittechnik aufgebaut.

Für die Blöcke 1 bis 4 befinden sich die Anlagen zur Aufbereitung radioaktiver Medien und zur Lagerung der Betriebsabfälle für jeweils zwei Blöcke in den Hauptgebäuden zwischen den Blöcken und in den Spezialgebäuden (SG). Für die Blöcke 5 bis 8 befinden sich die Anlagen im Gemeinsamen Spezialgebäude (GSG). Das SG II besitzt einen Anbau (Abfüllstation). In diesem Anbau sind Anlagen zur Konditionierung und Transportbereitstellung von Betriebsabfällen des Standortes vorgesehen.

In den Sanitär- und Laborgebäuden befinden sich Labore, Personenschleusen für die Blöcke 1 bis 4 sowie die Wäscherei für Körperschutzmittel aus dem Kontrollbereich für alle Objekte des KGR. Die Personenschleuse für den Kontrollbereich der Blöcke 5 bis 8 befindet sich im GSG /BFS 02/.

2.1.3.4 Betriebshistorie

In den 50er Jahren fand parallel zu der Entwicklung der leichtwassergekühlten graphitmoderierten Druckröhrenreaktoren (RBMK) die Entwicklung von wassergekühlten und wassermoderierten energetischen Druckwasserreaktoren (WWER) in der Sowjetunion statt. Die Errichtung des ersten Druckwasserreaktors dieser Art erfolgte in den 60er Jahren in Nowo-Woronesh. Im selben Jahrzehnt wurde ein ähnlicher Reaktor mit geringerer elektrischer Leistung in Rheinsberg errichtet, gefolgt von zwei Druckwasserreaktoren des Typs WWER-440/W-230 und einem des Typs WWER-1000 in Nowo-Woronesh. Die beiden Reaktoren des Typs WWER-440/W-230 sind seit Aufnahme des Probetriebs 1971 bzw. 1972 bis heute in Betrieb. Zudem wurden vier dieser Anlagen der ersten Generation mit einer elektrischen Leistung von 440 MW in die ehemalige DDR, vier nach Bulgarien und zwei in die ehemalige Tschechoslowakei exportiert. In den 70er Jahren wurde der Reaktortyp WWER-440/W-213, eine technisch verbesserte Konstruktion des WWER-440 entwickelt. Dieser wurde in der ehemaligen Sowjetunion und einigen anderen osteuropäischen Ländern erbaut /GRS 19a/.

Der langfristige Plan war neben der Braunkohleverstromung 30 bis 40 % des Strombedarfs der DDR durch Kernenergie abzudecken. Nach der Inbetriebnahme im Jahr 1966 des Kernkraftwerks Rheinsberg mit einem sowjetischen Druckwasserreaktor der „WWER“-Linie und einer elektrischen Leistung von 70 MW wurde 1967 mit dem Bau des Kernkraftwerkes in Lubmin, ca. 20 km entfernt von der Stadt Greifswald begonnen. Geplant waren acht Kernkraftwerksblöcke aus sowjetischer Serienfertigung mit einer elektrischen Leistung von jeweils 440 MW. Durch den Betrieb der ersten vier Blöcke im Kernkraftwerk Greifswald konnten ca. 11 % des Strombedarfs der DDR abgedeckt werden. Zum Zeitpunkt der Wiedervereinigung waren zudem zwei Blöcke des Typs WWER-1000/W-320 am Standort Stendal zu etwa 40 % und 15 % fertiggestellt /GRS 19a/.

2.1.4 Forschungsstandort Rossendorf (FSR)

2.1.4.1 Kurzbeschreibung

Dieses Unterkapitel 2.1.4.1 wurde von VKTA verfasst.

Der Forschungsstandort Rossendorf (FSR) liegt am Ostrand von Dresden. Er wurde in den 1950er Jahren als „Zentralinstitut für Kernphysik“, später „Zentralinstitut für Kernforschung“ der Akademie der Wissenschaften der DDR gegründet. Auf ihm waren wesentliche Teile der Kernforschung der DDR vereint.

Zentrale Elemente waren:

- Forschungsreaktoren zur Durchführung von Experimenten (Reaktivitätsexperimente,
- Strahlungs-/Teilchenquelle) sowie zur Produktion von radioaktiven Stoffen
- Beschleunigeranlagen zur Durchführung von Experimenten (Strahlungs-/Teilchenquelle), untergeordnet zur Produktion von radioaktiven Stoffen
- Isotopenproduktionsanlagen für die Herstellung fester und flüssiger Radionuklidverbindungen für Forschung, Technik und Medizin
- Laborgebäude (vorwiegend zur Erfüllung radiochemischer und radioanalytischer Aufgaben)
- Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs
- Sammel- und Behandlungsanlagen für feste und flüssige radioaktive Stoffe
- Einrichtungen des zentralen Strahlen- und Objektschutzes sowie der Kernmaterialkontrolle
- Forschungs- und Bürogebäude

2.1.4.2 Charakterisierung der Anlage

Die RFR-Anlagen (Abb. 2.20) bestehen aus dem „Rückbaukomplex RFR“, welcher eine Fläche von etwa 9.000 m² besitzt mit dem Objekten 1 bis 6 sowie aus den Objekten außerhalb des Komplexes 7 bis 12. Zudem stand außerhalb noch die Sammelbehälteranlage mit der Pumpbedienstation, für die radioaktiven Abwässer des RFR. Diese Anlagen befanden sich im Kontrollbereich der Entsorgungswirtschaft. Im Rahmen dieses Rückbaukomplexes wurden diese aus der atomrechtlichen Aufsicht entlassen /KNA 19/.

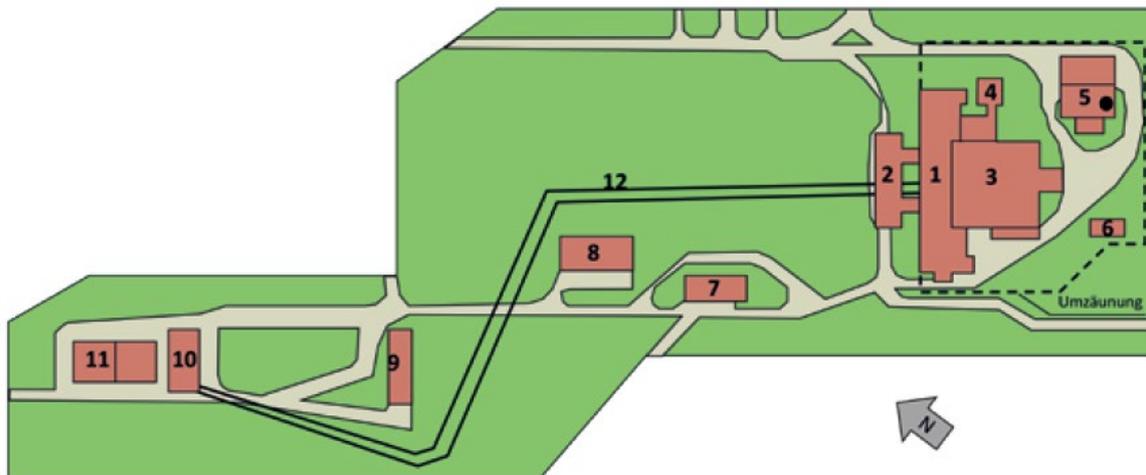


Abb. 2.20 Territoriale Lage der RFR-Anlagen; Labortrakt (1) mit Reaktorwarte (2), Reaktorhalle mit Vorhalle und Anbau (3), Pavillon und einen weiteren Anbau (4), Ventilations- und Filtergebäude mit Fortluftschornstein (5), Schauer (6), Trafostation (7), Notstromgebäude (8), Altes Armaturenhaus (9), Armaturenhaus (10), Trockenkühlturm 1 und 2 (11), Rohrleitungen des 2. Kühlkreislaufs (12) /KNA 19/.

Im Betriebshof befanden sich befestigte Verkehrsflächen, Rohre der Regen- und Schmutzwasserkanalisation sowie Leitungen für kontaminationsverdächtige Abwässer bis zu einer Tiefe von 5 m, unterirdische Abluftleitungen, Heizungskanäle, Schächte sowie Medienleitungen /KNA 19/.

In dem vierstöckigen Labortrakt (1) befanden sich ursprünglich Laboratorien, die Reaktorwarte und Büroräume. Mit den Erneuerungen des FRF wurde die Reaktorwarte (2) nordöstlich an den Labortrakt angebaut. In der Reaktorhalle (3), einem unterkellerten Ziegel-Stahl-Skelettbau befanden sich unter anderem der Reaktor, die Brennelementlagerbecken (AB 1 und AB 2) und im Kellergeschoss vier Heiße Kammern. In dem Gebäudebereich „Pavillon“ (4) befanden sich ein radiochemisches Labor und eine Gamma-Bestrahlungsanlage. Unter dem Gebäudebereich verliefen Abluftkanäle zum Filter- und Ventilationsgebäude sowie Rohrleitungen für kontaminierte Abwässer. Auf dem Ventilations- und Filtergebäude (5) befand sich der etwa 33 m hohe Fortluftschornstein und im Gebäude waren Ventilationskammern mit den dazugehörigen Filteranlagen untergebracht. Das alte Armaturenhaus (9) besaß eine ca. 3,5 m tiefe Grube mit dem Pumpenfundament. Im Zuge der Erneuerungen der RFR wurde 1985 das Armaturenhaus (10) erbaut, in welchem sich Pumpen, Armaturen und eine Reinigungsanlage für das

Sekundärkühlsystem befanden. Die Trockenkühltürme (11) mit einer Größe von ca. 23,3 m x 13,2 m x 8,0 m bestanden aus mit Leichtmetallelement verkleidetem Trägergerüst aus Stahl /KNA 19/.

Die umbaute Fläche des RFR ohne Ventilations- und Filtergebäude (5) belief sich auf etwa 2.100 m². Der Kontrollbereich beinhaltete die Reaktorhalle mit Kellergeschoss, Teile des Kellergeschosses des Anbaus der Reaktorhalle und Teile des Kellergeschosses des Labortraktes (1). In Abb. 2.21 ist ein Längsschnitt des RFR-Gebäudekomplexes dargestellt. Abb. 2.22 zeigt eine Detaildarstellung des Längsschnitts durch den Reaktor nach den Rekonstruktionsarbeiten /KNA 19/.

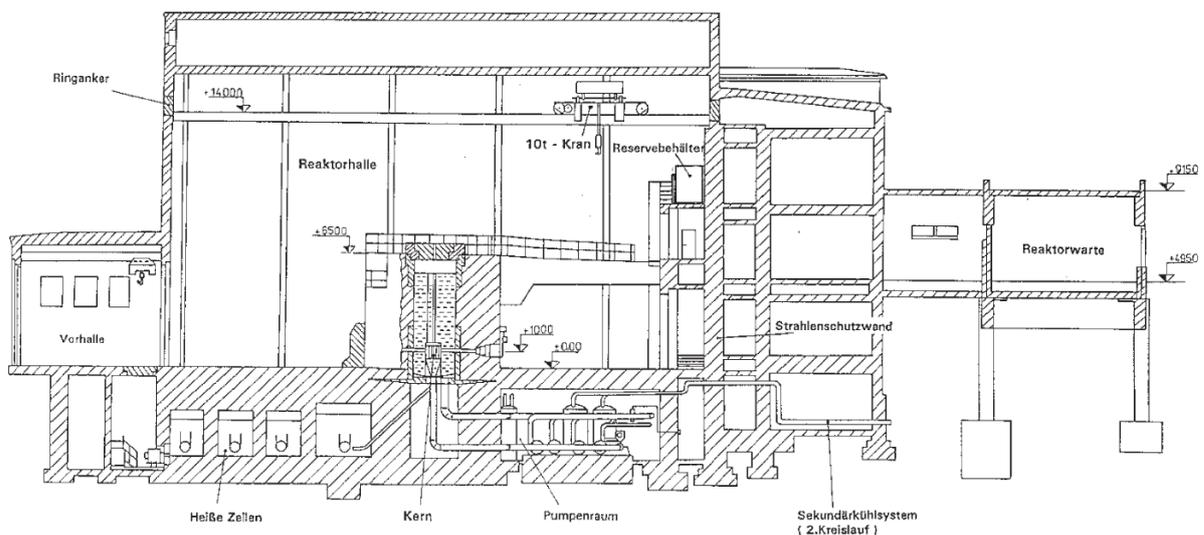


Abb. 2.21 Längsschnitt des RFR-Gebäudekomplexes /KNA 19/

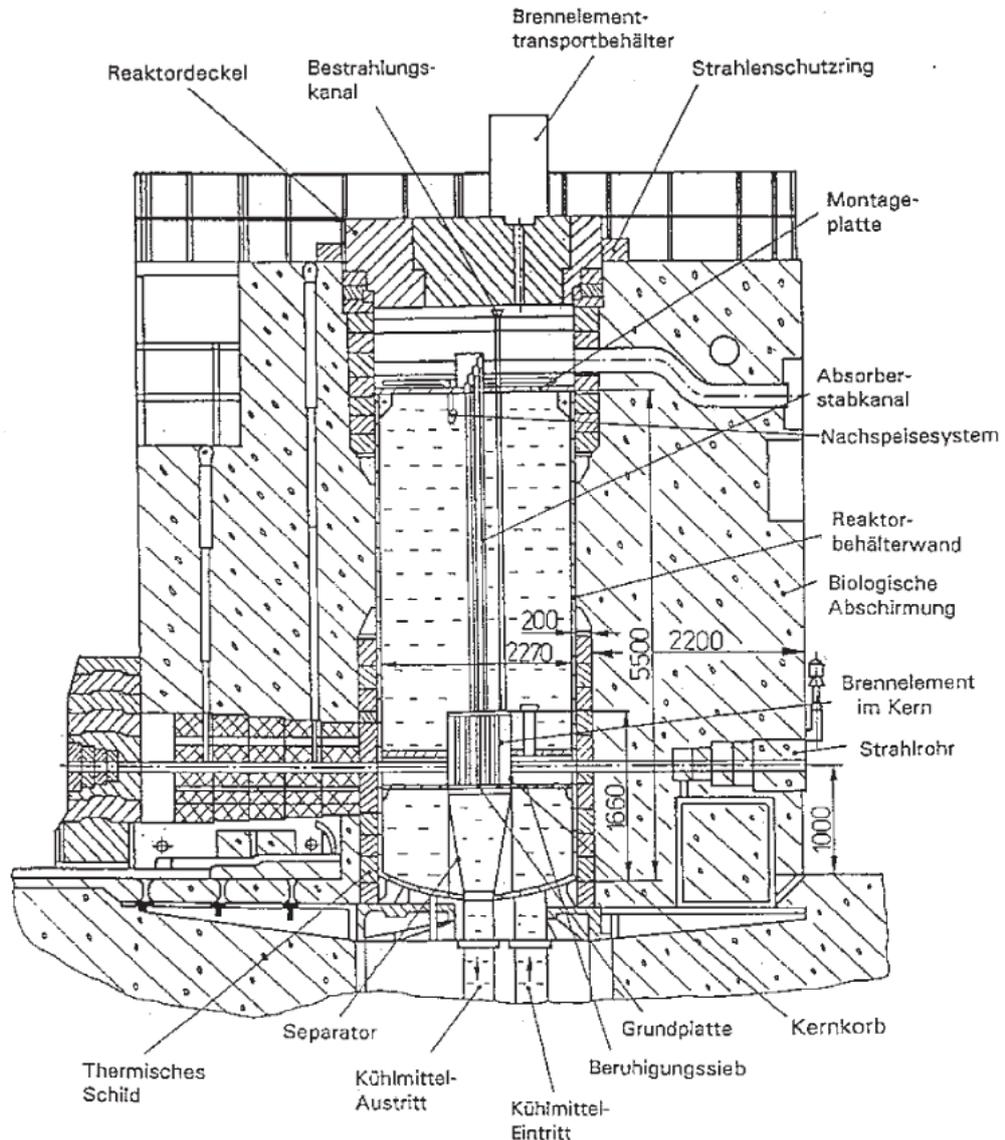


Abb. 2.22 Detaildarstellung des Längsschnitts durch den Reaktor /KNA 19/

2.1.4.3 Betriebshistorie

Mit dem am 28. April 1955 geschlossen „Abkommen über die Hilfeleistung der Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken an die Deutsche Demokratische Republik bei der Entwicklung der Forschung auf dem Gebiet der Physik des Atomkerns und der Nutzung der Kernenergie für die Bedürfnisse der Volkswirtschaft“ wurde die Geschichte der Forschungsstandortes Rossendorf (FSR) bei Dresden (jetzt Dresden-Rossendorf) begonnen. An diesem Standort wurde das Zentralinstitut für Kernphysik (später Zentralinstitut für Kernforschung, ZfK) am 1. Januar 1956 als größte Kernforschungseinrichtung der DDR gegründet. Auf Grundlage des Abkommens zwischen der UdSSR und der DDR wurden dem Institut zwei kerntechnische Großgeräte, ein 2 MW Forschungsreaktor vom

Typ WWR-S und ein 25 MeV-Zyklotron an das Zentralinstitut für Kernphysik geliefert. Der Rossendorfer Forschungsreaktor (RFR), bei dem es sich um einen leichtwassermorierten und gekühlten Tankreaktor sowie um den ersten Forschungsreaktor der DDR handelt, wurde am 16. Dezember 1957 offiziell in Betrieb genommen. Nach stufenweiser Erhöhung der Leistung begann ab 1981 der Dauerbetrieb mit einer thermischen Leistung von 10 MW. Zwischen 1986 und 1989 fand eine umfassende Rekonstruktion des RFR mit der Wiederinbetriebnahme am 27. Januar 1990 statt. Innerhalb etwa 105.000 Stunden Leistungseinsatz erzeugte das RFR eine Gesamtenergie von 28.000 MWd und während des gesamten Betriebszeitraums ereignete sich kein strahlenschutzrelevantes Ereignis. Im Rahmen der Weiterentwicklung des Forschungsstandortes Rossendorf kam eine Vielzahl an neuen Anlagen und Einrichtungen zur kerntechnischen Nutzung hinzu. Im Jahr 1991 wurden sämtliche Reaktoren außer Betrieb genommen. Der nukleare Betrieb des RFR wurde bereits am 27. Juni 1991 aufgrund der befristeten Genehmigung zum Versuchsbetrieb endgültig eingestellt. Mit der Wiedervereinigung und der Auflösung der Akademie der Wissenschaften wurde das ZfK, wie alle Institute der Akademie der Wissenschaften zum 31. Dezember 1991 aufgelöst /KNA 19/, /FRZ 06/.

Am 01. Januar 1992 wurde am Forschungsstandort Rossendorf der Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA) (Umbenennung in VKTA-Strahlenschutz und Analytik & Entsorgung Rossendorf e. V. im Dezember 2014) sowie das Forschungszentrum Rossendorf e.V. (FZR) gegründet. Das FRZ erhielt die Aufgabe ausgewählte Forschungsschwerpunkte des ZfK weiterzuführen sowie neue Forschungsaufgaben im naturwissenschaftlichen, ingenieurtechnischen und medizinischen Bereich. Der VKTA wurde vom Freistaat Sachsen beauftragt die Kernreaktoren und die zugehörigen Einrichtungen stillzulegen, schrittweise abzubauen und den Standort von Kernmaterial und radioaktivem Abfall zu entsorgen. Im Folgenden werden die wichtigsten Rückbauprojekte erwähnt, darunter zählen der Rückbau der Rossendorfer Anordnung für kritische Experimente (RAKE) im Jahr 1998, des Urantechnikums im Jahr 2000 sowie des Rossendorfer Ringzonenreaktors (RRR) im selben Jahr. Die Teilentlassungen aus dem Atomgesetz der speziellen Kanalisation am Forschungsstandort erfolgte in den Jahren 2010, 2013 und 2018. Das Rückbauprojekt der Objekte und Anlagen der Isotopenprodukten wurde zwischen 2009 und 2014 und das der Anlagen und Gelände der Entsorgungswirtschaft des ehemaligen ZfK wurde in den Jahren 2005, 2011 und 2018 durchgeführt. Zuletzt wurde der RFR schrittweise in den Jahren 2009, 2010 und 2019 aus dem Atomgesetz entlassen /KNA 19/, /FRZ 06/.

Die Sächsische Staatsregierung fasste am 13. Juli 1993 den Kabinettsbeschluss zur endgültigen Stilllegung und zum Rückbau des FRF. Zwischen 1992 und 1999 wurden die Voraussetzungen für die sichere Verwahrung der Kernbrennstoffe bzw. Kernmaterialien und Zwischenlagerung, Behandlung, Analyse und Freigabe der radioaktiven Abfälle und Reststoffe geschaffen. Es mussten zahlreiche atom- und strahlenschutzrechtliche Genehmigungen eingeholt und diese baulich umgesetzt werden. Bereits am 21. Dezember 1994 stellte die VKTA den ersten Antrag auf Genehmigung zur Stilllegung und zum Abbau der RFR beim Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung (SMUL), dieser wurde am 30. Januar 1998 genehmigt. Der zweite Antrag auf Stilllegung wurde im Oktober 1997 gestellt und am 30. Oktober 1998 genehmigt. Von 1998 bis 2001 konnte mit den ersten beiden Genehmigungen die Anlagen kernbrennstoff- und kernmaterialfrei gefahren werden sowie mit dem Rückbau des 2. Kühlwasserkreislaufes der Abschluss der Stilllegungsphase erreicht werden. Die dritte und die vierte Genehmigung zur Stilllegung und zum Abbau folgten am 3. April 2001 bzw. am 01. Februar 2005 und beinhalteten den zwischen 2011 und 2018 erfolgten Rückbau sowie die Geländesanierung mit abschließender Flächenprofilierung.

2.1.5 „Small Facility“

In diesem Forschungsvorhaben werden Proben aus dem Rückbau eines radiochemischen Labors (international auch „*small facility*“) genommen und mittels Beschleuniger-massenspektrometrie (Accelerator Mass Spectrometry, AMS) untersucht (siehe Abschnitt 2.3.9). Diese Untersuchungen wurden durch den Unterauftragnehmer Universität zu Köln durchgeführt. Bei der *small facility* handelt es sich um ein radiochemisches Labor der Abteilung Nuklearchemie der Universität zu Köln in der Otto-Fischer-Straße 12-14 in Köln. Abb. 2.23 zeigt die Lage der *small facility* in der Stadt Köln.

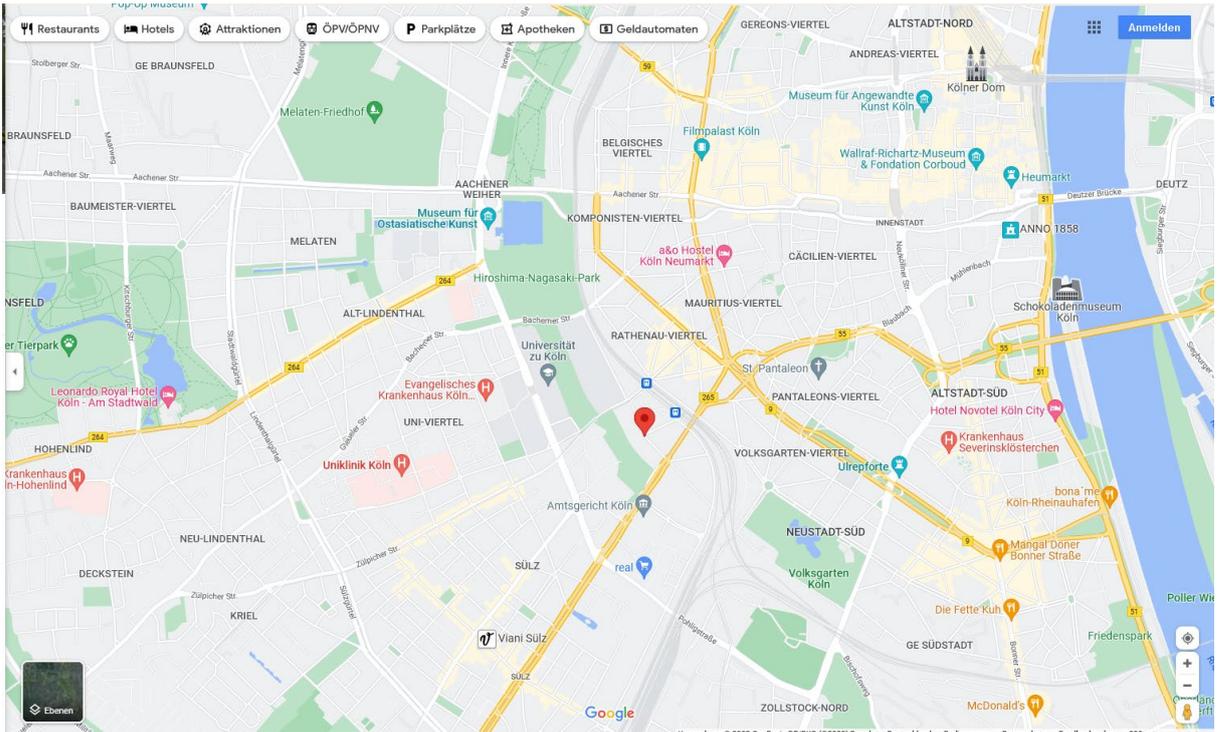


Abb. 2.23 Lage der small facility in Köln /GOO 22a/

2.2 AP 2: Vergleichsmaßstab: Referenzkonzept Stilllegung Leichtwasserreaktoren

In diesem AP wird aus der zur Verfügung stehenden Literatur ein allgemeines Referenzkonzept zur Stilllegung eines Kernkraftwerkes entwickelt. Relevante Daten und Angaben werden zusammengestellt. Diese dienen als Vergleich hinsichtlich der recherchierten Daten der untersuchten KKW's.

2.2.1 Abzubauende Massen einer kerntechnischen Anlage

2.2.1.1 Allgemeines

Im Rahmen dieses Arbeitspaket wurde das Referenzkonzept Stilllegung Leichtwasserreaktoren /NIS 12/ für die Entwicklung einer Systematik zur Erfassung der Massen, die bei der Stilllegung einer kerntechnischen Anlage anfallen, ausgewertet. In der Studie /NIS 12/ werden zwei Referenzkraftwerke definiert, eines mit Druckwasserreaktor (DWR) und eines mit Siedewasserreaktor (SWR). Die vorgenannte Studie ist aus dem Jahre 2012 und bisher nicht veröffentlicht worden. Da der GRS mittlerweile aus einigen Stilllegungsprojekte geschätzte Abbaumassen vorliegen werden, werden in diesem Bericht die abzubauenden Massen aus diesen aktuellen Daten durch Mittelwertbildung abgeschätzt. Das Ergebnis sind die Massen für ein „repräsentatives“ Kraftwerk, je eines für einen Druckwasserreaktor (DWR) und eines Siedewasserreaktors (SWR).

Die abzubauenden Massen einer kerntechnischen Anlage ergeben sich aus den zu Beginn der Stilllegung vorhandenen Komponenten und Einrichtungen (**Primärmassen**) und den während des Abbaus anfallenden Materialien und Einrichtungen (**Sekundär- und Zusatzmassen**) abgeschätzt.

Primärmassen sind alle zu Beginn der Stilllegung vorhandene Massen von Komponenten, Systemen und Gebäudestrukturen. Sie werden nach Komponentenart (Behälter, Rohrleitung, Armatur...), nach Gebäudezugehörigkeit und Kontaminationsgrad erfasst. Die Erfassung erfolgt über die Auswertung von:

- Konstruktions- oder Einbauzeichnungen,
- Vor-Ort-Aufnahmen oder
- Plausibilitätsannahmen.

Unter dem Begriff „Sekundärmassen“ sind all jene Stoffe und Materialien zu verstehen, die während der Abbaumaßnahmen zur Unterstützung des Abbaus und der Bearbeitung der Reststoffe in die Anlage eingebracht werden. Weiterhin werden die von Bauteilen, Komponenten und Systemen abgetragenen Stoffe (beispielsweise Staub, Späne, Fugenmaterial, Schlacke, Filter) den Sekundärmassen zugerechnet.

Die Sekundärmassen sind weitgehend als radioaktive Abfälle zu entsorgen, müssen aber vorher durch eine adäquate Behandlung in eine endlagerfähige Form gebracht werden, z. B. durch Verdampfen, Trocknen, Dekantieren, Verbrennen, Zementieren usw. Hierbei können sich sowohl die Materialeigenschaften als auch die Massen und die Volumina der Sekundärmassen ändern, die aufgrund dessen nach der Behandlung als Sekundärabfälle bezeichnet werden.

Zusatzmassen werden während der Durchführung der Stilllegungsarbeiten in den Kontrollbereich eingebracht, wie z. B. Zerlege- und Dekontaminationseinrichtungen, Abschirmmaterialien, Stahlbau.

2.2.1.2 Kernkraftwerk mit DWR

Das repräsentative Kraftwerk des Typs DWR entspricht dem Anlagenkonzept und der Systemauslegung der KWU DWR-Baulinien 2 und 3 mit einer elektrischen Leistung von 1.200 MW. Abb. 2.24 zeigt den schematischen Aufbau des repräsentativen DWR.

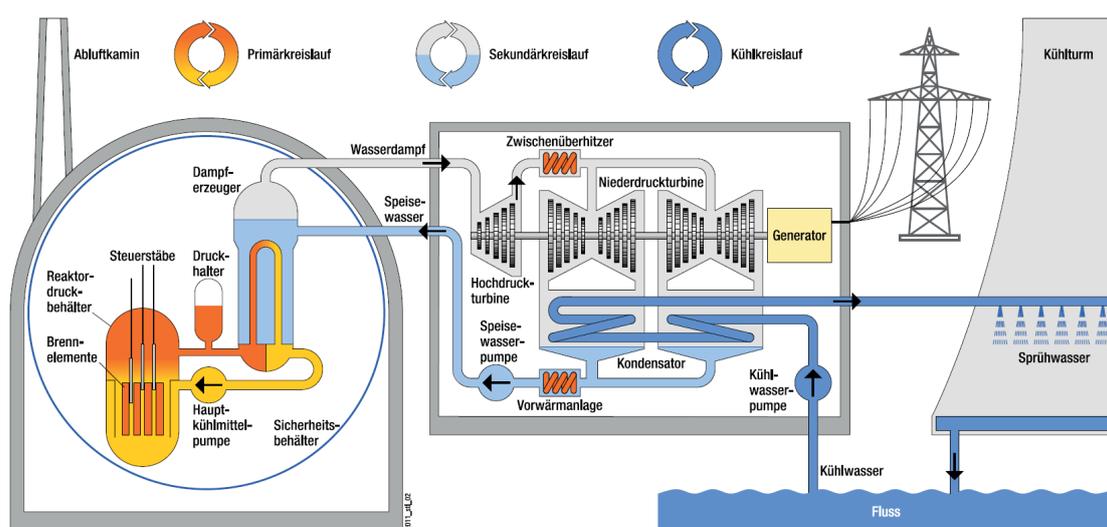


Abb. 2.24 Schematischer Aufbau repräsentativer DWR /GRS 17/

Abb. 2.25 zeigt den Lageplan des Referenz-DWR aus /WEB 2015/, der auch für den repräsentativen DWR gilt. Dabei sind die zum Kontrollbereich gehörenden Gebäude rot eingezeichnet und die Gebäude des Überwachungsbereichs bzw. des Sonstigen Bereiches sind grün eingezeichnet.

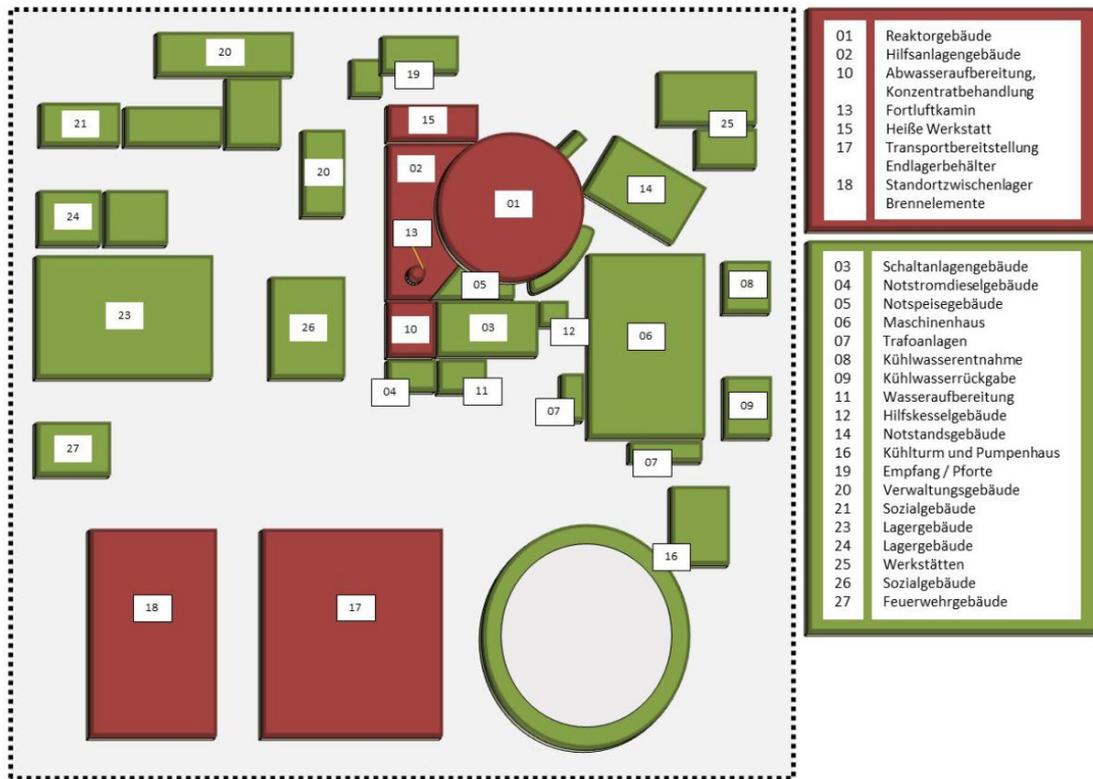


Abbildung 9: Lageplan DWR

Abb. 2.25 Lageplan des Referenz-DWR /WEB 2015/

Für den repräsentativen DWR ergeben sich die in Tab. 2.1 für Kontroll-, Überwachungs- und Sonstigem Bereich dargestellten Massen.

Tab. 2.1 Massen in Kontroll-, Überwachungs- und Sonstigem Bereich (repräsentativer DWR)

	Primärmasse (Mg)			Gesamt (Mg)
	KB	ÜB	SB	
DWR	178.129	373.050	34.086	585.264

Hinzu kommen 276 Mg Sekundärmasse und 474 Mg Zusatzmasse. Die Massen im Kontrollbereich setzen sich zusammen aus den Gebäudemassen und den Massen für

die Einbauten wie z. B. Komponenten und Hilfssysteme, Stahlbau, elektrische und maschinentechnische Einrichtungen. Auf die Gebäudemassen entfallen dabei ca. 91 - 94 % der Massen des Kontrollbereiches.

2.2.1.3 Kernkraftwerk mit SWR

Das repräsentative Kraftwerk des Typs SWR entspricht dem Anlagenkonzept und der Systemauslegung der KWU SWR-Baulinie 69 (Abb. 2.26).

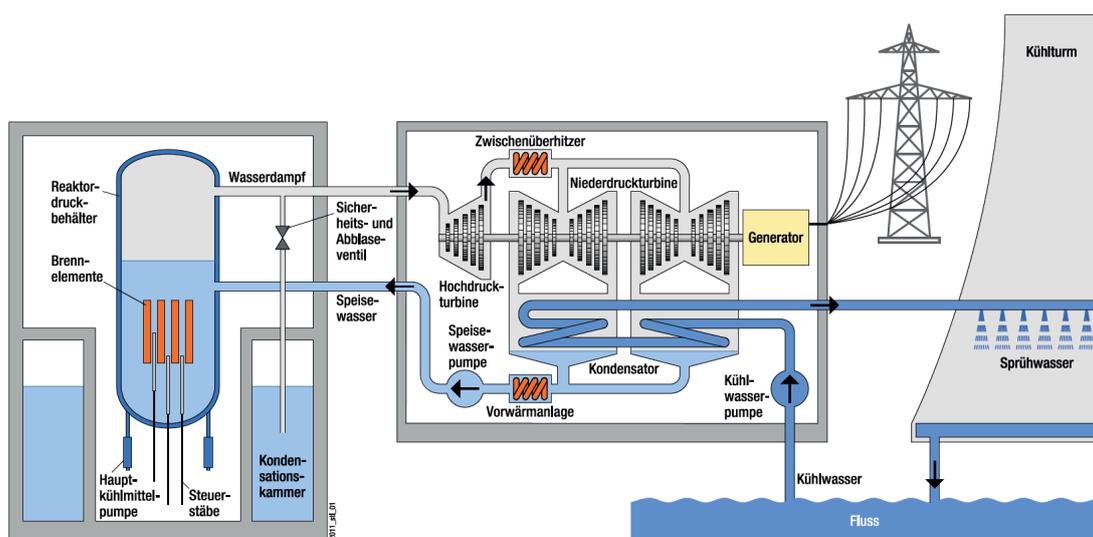


Abb. 2.26 Schematischer Aufbau repräsentative Anlage SWR /GRS 17/

Abb. 2.27 zeigt den Lageplan des repräsentativen SWR. Dabei sind die zum Kontrollbereich gehörenden Gebäude rot markiert, während die Gebäude des Überwachungsreiches bzw. des Sonstigen Bereiches in Rot gekennzeichnet sind.

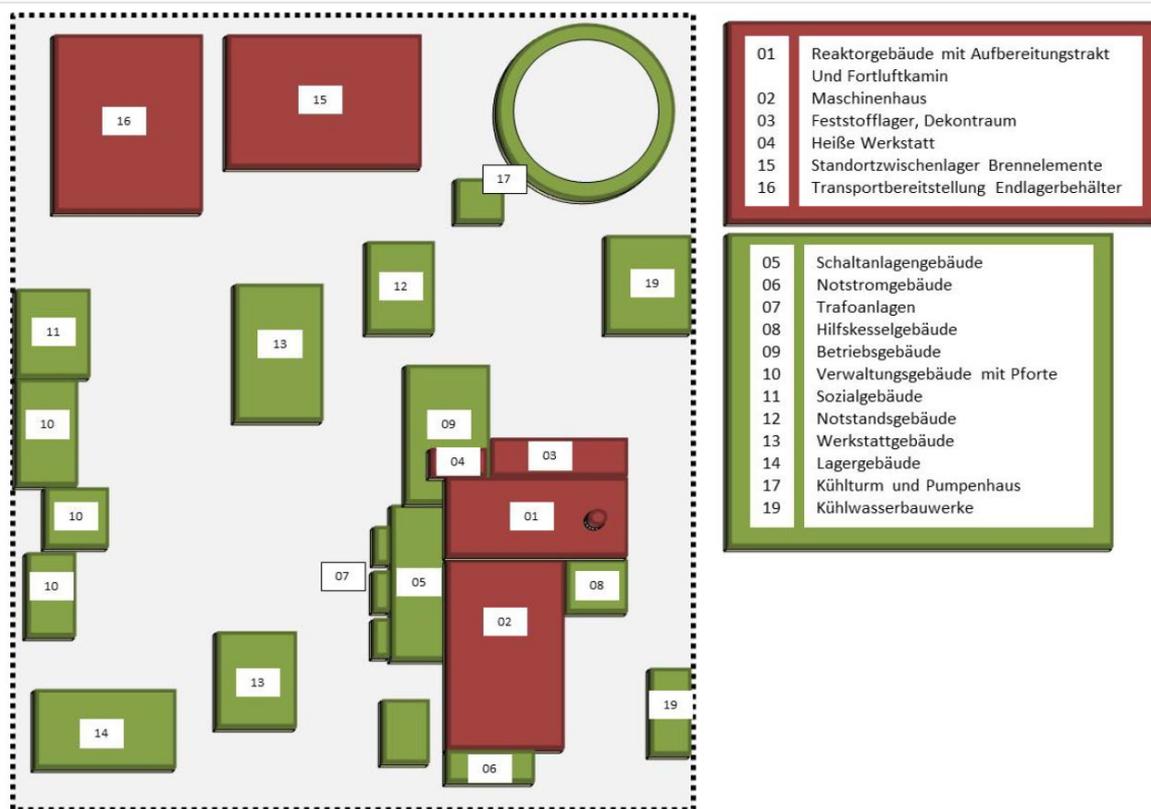


Abb. 2.27 Lageplan des repräsentativen SWR /WEB 2015/

Für den repräsentativen SWR ergeben sich die in Tab 2.2 dargestellten Massen für Kontroll-, Überwachungs- und Sonstigem Bereich.

Tab. 2.2 Massen in Kontroll-, Überwachungs- und Sonstigem Bereich (repräsentativer SWR)

	Primärmasse (Mg)			Gesamt (Mg)
	KB	ÜB	SB	
SWR	248.833	164.247	21.280	433.577

Hinzu kommen 337 Mg Sekundärmasse und 497 Mg Zusatzmassen. Die Massen im Kontrollbereich setzen sich zusammen aus den Gebäudemassen und den Massen für die Einbauten wie z. B. Komponenten und Hilfssysteme, Stahlbau, elektrische und maschinentechnische Einrichtungen. Auf die Gebäudemassen entfallen dabei ca. 83 - 90 % der Massen des Kontrollbereiches.

2.2.1.4 Abbau

2.2.1.4.1 Maßnahmen im Rahmen der Betriebsgenehmigung

Im Rahmen der Betriebsgenehmigung können bereits einige stilllegungsgerichtete Maßnahmen durchgeführt werden, wie z. B.:

- Abklinglagerung und Abtransport der Brennelemente
- Zerlegung, Konditionierung und Verpacken der Corebauteile
- Entsorgung von Betriebsmedien und -abfällen
- Systemdekontamination
- Außerbetriebnahme von Systemen
- Demontagemaßnahmen
- Anpassung der Infrastruktur
- Herstellung von Bereitstellungs- und Lagerflächen, Lager für radioaktive Abfälle

Der letzte Punkt der Liste betrifft auch die Freigabe. Unter diesem Punkt fallen die Umwidmungen oder Umbauten von Einrichtungen zur Bearbeitung und Lagerung. Solche Einrichtungen können sein:

- Lager- und Bereitstellungsbereiche für demontierte Teile und radioaktive Abfälle
- Werkstätten
- Bereiche für Materialbearbeitung
- Bereich für die Nachzerlegung
- Freimessanlagen und Lager für freigemessene Teile bis zur endgültigen Bestätigung der Freigabe

2.2.1.4.2 Maßnahmen im Rahmen der Stilllegungs- und Abbaugenehmigung

Die bereits begonnenen stilllegungsgerichteten Maßnahmen werden fortgeführt. Dies sind u. a.:

- Weiterführung der Außerbetriebnahme von Systemen

- Anpassung und Installation von Ersatzsystemen
- Anpassung der Infrastruktur
- Einrichtung eines „Servicebereiches“ zur Nachzerlegung, Konditionierung und Dekontamination von Reststoffen und Abfälle
- Weiterführung der Einrichtung des Lagerbereiches für Reststoffe und Abfälle
- Durchführung von Demontagen

2.2.1.4.3 Demontage aktivierter Komponenten

Die Demontagen erfolgen, um einerseits Platz für die Durchführung der Arbeiten an den Großkomponenten und für den Transport der demontierten Komponenten zur internen und externen Nachbearbeitung zu schaffen und andererseits, um möglichst frühzeitig Komponenten mit höherer Radioaktivität zu entfernen, um Ortsdosisleistungen in den Arbeitsbereichen zu senken. Die Demontage aktivierter und kontaminierter Komponenten kann parallel durchgeführt werden. Die Vorgehensweise erfolgt so weit wie möglich raumweise. In bestimmten Situationen kann es allerdings erforderlich sein, systemweise vorzugehen.

Die Teile werden bei der Demontage auf Transportgröße zerkleinert und zur Nachzerlegung bzw. Verpackung in den zentralen Servicebereich gebraucht.

Bei einem Druckwasserreaktor (DWR) sind die Komponenten des Hauptkühlmittelkreislaufs bzw. Primärkreislaufs wie Dampferzeuger, Hauptkühlmittelrohrleitungen und -pumpen, Druckhalter und Abblasebehälter die am höchsten kontaminierten Teile im Kontrollbereich. Die Demontage dieser Teile kann im Ganzen erfolgen, z. B. zur externen Weiterbearbeitung oder in möglichst großen Stückgrößen, zur weiteren Zerlegung im Nachzerlegebereich.

Die übrigen Einrichtungen im Kontrollbereich, dazu gehören beim SWR im Maschinenhaus auch die Turbine, die Kondensatoren sowie die Kondensatreinigungsanlage mit Vorratsbehälter, das Reaktorspeisewassersystem und die Hauptkondensatpumpen, werden vorwiegend manuell demontiert.

Der Abbau der Einrichtungen im Überwachungsbereich ist meistens nicht terminkritisch und kann entsprechend verfügbarer Demontagekapazität durchgeführt werden.

2.2.1.4.4 Demontage der RDB-Einbauten

Die Demontage der aktivierten RDB-Einbauten erfolgt bei DWR und SWR weitgehend ähnlich. Aufgrund der starken Aktivierung der unteren RDB-Einbauten werden diese fernbedient, vorwiegend unter Wasser mit einem geeigneten thermischen oder mechanischen Verfahren, wie z. B. WASS-Verfahren, Plasmaschneiden, zerlegt.

Nach der Zerlegung und Verpackung der RDB-Einbauten wird der geflutete Bereich – BE-Lagerbecken, Flutraum und RDB – entleert und dekontaminiert.

2.2.1.4.5 Zerlegung des RDB

Die Demontage des RDB erfolgt bei beiden Reaktortypen und bei beiden Stilllegungsvarianten „an Luft“. Über dem Flutraum und dem angrenzenden Lagerbecken wird ein eingehauster, abgeschirmter Arbeitsbereich (Caisson) errichtet.

Nach Ablösung der im Kernbereich aktivierten RDB-Isolierung wird der hängend angeordnete RDB des DWR fixiert. Zuerst wird der RDB-Flansch abgetrennt. Anschließend wird der Restteil des RDB in mehreren Schnitten zerschnitten und abtransportiert. Eine Variante ist der Transport des RDB als Ganzes zu einem Nachzerlegeplatz, um ihn dort fernbedient zu zerlegen.

Im Unterschied dazu ist der RDB des SWR stehend angeordnet. Die Demontage erfolgt deshalb in mehreren Schüssen von oben nach unten. Die abgetrennten Schüsse werden dann zum Nachzerlegeplatz transportiert und dort zerlegt.

2.2.1.4.6 Zerlegung des biologischen Schildes

Der biologische Schild des DWR wird mittels Seilsägeverfahren zerlegt. Im Beton befindliche Durchführungen und Armierungen werden dabei zertrennt. Bei diesem Verfahren werden große Betonblöcke herausgetrennt. Blöcke, die freigegeben werden können, werden separiert und Entscheidungsmessungen unterzogen. Die übrigen Blöcke werden zerlegt, verpackt und als radioaktiver Abfall zur Endlagerung bereitgestellt. Mit der gleichen Vorgehensweise werden die Betonstrukturen des BE-Lagerbeckens und des Flutraums abgebaut.

2.2.1.4.7 Restabbau

Der Restabbau umfasst die Demontage und Zerlegung der System- und Anlagenteile, die bis zu diesem Zeitpunkt noch benötigt wurden. Dies sind u. a. Lüftungsanlagen, Wasserversorgungs- und Entwässerungsanlagen, Brandschutzanlagen, Elektrische Einrichtungen, Stahlbau, Türen, Kabel und Hebezeuge.

Die Teile werden manuell demontiert und zur weiteren Bearbeitung in den Nachzerlegebereich verbracht.

2.2.1.4.8 Dekontamination und Freigabe der Gebäude und des Geländes

Parallel zur raumweisen Demontage der Einrichtungen in den Gebäuden können Arbeiten zur Dekontamination von Gebäudestrukturen beginnen und es kann mit Entscheidungsmessungen der Nachweis erbracht werden, dass die Freigabewerte der StrISchV unterschritten werden.

Je nach Gebäude, Raum und ehemals darin enthaltenen Systemen stellt sich der Aufwand für die Dekontamination und der Umfang der Messungen unterschiedlich dar.

Böden, Wände, Decken und noch vorhandene Einbauten im Kontrollbereich werden entweder flächendeckend vermessen und stichprobenweise beprobt. Hot Spots werden abgetragen sowie kontaminierte Gullys, Sümpfe und einbetonierte Rohrleitungen werden ausgestemmt. Nachbearbeitete Flächen werden erneut ausgemessen.

Gebäude im Überwachungsbereich können nach einem mit Behörde und Gutachter abgestimmten Verfahren und stichprobenhafter Beweissicherungsmessungen freigegeben oder herausgegeben und entlassen werden. Gleiches gilt für Außenanlagen und Gelände im Überwachungsbereich.

2.2.1.5 Entsorgungspfade

Radioaktive Reststoffe sind alle Reststoffe, die wahrscheinlich kontaminiert oder aktiviert sind und während des Abbaus einer kerntechnischen Anlage anfallen. Im Allgemeinen muss nur ein geringer Teil der radioaktiven Reststoffe als radioaktiver Abfall endgelagert werden. Der Betreiber einer im Abbau befindlichen Anlage hat gemäß § 9a Absatz 1 AtG

dafür zu sorgen, dass anfallende radioaktive Reststoffe sowie ausgebaute oder abgebaute Anlagenteile schadlos verwertet oder als radioaktive Abfälle geordnet beseitigt werden. Anhand unterschiedlicher Kriterien wird entschieden, welchem Entsorgungspfad der Reststoff zugeordnet wird. Je nach Art (Aktivierung oder Kontamination) und Höhe der radioaktiven Kontamination, der Art des Materials, der Geometrie und der eventuellen Dekontaminierbarkeit ergeben sich für die Primärmassen aus der Stilllegung im Folgenden dargestellten Möglichkeiten zur Entsorgung, Verwendung oder Verwertung (Entsorgungspfade). Abb. 2.28 zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der Reststoffentsorgung. Der Bereich mit blauem Hintergrund zeigt den Entsorgungsweg der nicht-radioaktiven Reststoffe, der Bereich mit rotem Hintergrund die Entsorgungspfade der radioaktiven Reststoffe. Der blau gekennzeichnete Bereich stellt den Gültigkeitsbereich des konventionellen Abfallrechts dar (hier des Kreislaufwirtschaftsabfallgesetzes (KrWG)), während rot den Gültigkeitsbereich der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) darstellt. Der Abb. 2.28 liegt die StrlSchV von 2001 /SSV 01/ zugrunde, in der die Freigabe in § 29 geregelt wurde. Am 31.12.2018 trat die neue StrlSchV in Kraft, die bezüglich der Entsorgungspfade einige Unterschiede hinsichtlich der Freigabeoptionen mit sich brachte. In der neuen StrlSchV wird die Freigabe in den §§ 31 bis 42 geregelt und es gibt nur noch die Möglichkeit, feste Stoffe und brennbare Flüssigkeiten uneingeschränkt freizugeben. Bodenflächen, Gebäude zur Wiederverwendung oder Bauschutt können nun nicht mehr uneingeschränkt freigegeben werden. Diese Optionen wurden in der neuen Verordnung der spezifischen Freigabe zugeordnet.

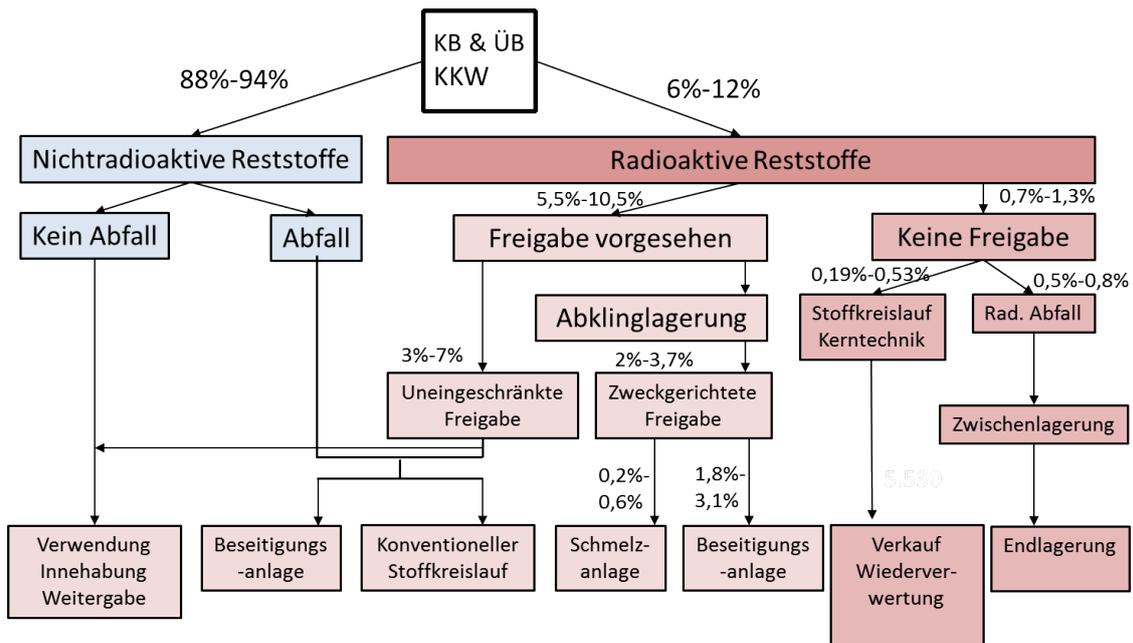


Abb. 2.28 Mögliche Pfade der Verwertung von Reststoffen aus Kontrollbereich (KB) und Überwachungsbereich (ÜB) bei der Stilllegung eines KKW /BRU 17/

Der obigen Abbildung Abb. 2.28 liegt noch die StrlSchV von 2001 (StrlSchV (alt)) zugrunde. Hier wurde die Freigabe in § 29 StrlSchV(alt) geregelt. Am 31. Dezember 2018 trat die neue Strahlenschutzverordnung in Kraft, die in Bezug auf die Entsorgungspfade einige Unterschiede in Bezug auf die Freigabeoptionen mit sich brachte. In der neuen StrlSchV wird die Freigabe in den §§ 31 bis 42 StrlSchV geregelt und es gibt nur noch die Möglichkeit feste Stoffe und brennbare Flüssigkeiten uneingeschränkt freizugeben. Bodenflächen, Gebäude zur Wiederverwendung oder Bauschutt können nun nicht mehr uneingeschränkt freigegeben werden. Diese Optionen wurden in der neuen Verordnung der spezifischen Freigabe zugeordnet.

Bei der Stilllegung einer kerntechnischen Anlage wird statt von Stoffklassen allgemeiner von Entsorgungspfaden gesprochen. Die Bedeutung der einzelnen Entsorgungspfade wird in den folgenden Kapiteln kurz beschrieben.

Herausgabe

Nicht radioaktive Stoffe, die nicht kontaminiert oder aktiviert sind, unterliegen nicht dem Anwendungsbereich nach § 29 StrlSchV (alt) /SSV 01/ oder den Freigaberegeln § 31 bis 42 StrlSchV (alt) /SSV 18/. Für Anlagen mit einer Genehmigung nach § 7 StrlSchV (alt) können derartige Stoffe herausgegeben werden und dem konventionellen

Stoffkreislauf zugeführt werden. Die Herausgabe stellt sicher, dass es sich bei diesen nicht kontaminierten und nicht aktivierten Stoffen, beweglichen Gegenständen, Gebäuden/Gebäudeteilen, Bodenflächen, Anlagen und Anlagenteilen, auch tatsächlich nicht um radioaktive Stoffe mit künstlichen Radionukliden bzw. nicht um radioaktive Stoffe handelt, deren Aktivierung oder Kontamination aus dem Betrieb, dem Restbetrieb oder dem Abbau von Anlagenteilen stammen. Diese Stoffe können daher ohne behördlichen Freigabebescheid verwendet, verwertet, beseitigt, innegehabt oder an Dritte weitergegeben werden. Um auf möglichst gesicherter Grundlage eine Entscheidung zum weiteren Vorgehen treffen zu können, ist die Herausgabe in ein Auswahlverfahren und in ein Prüfverfahren untergliedert. Hierbei werden Plausibilitätsbetrachtungen unter Berücksichtigung der Betriebshistorie auf die Kontaminationsfreiheit der Stoffe, die einer Herausgabe zugeführt werden sollen, durchgeführt. Über stichprobenhafte Beweissicherungsmessungen muss die Kontaminationsfreiheit dann messtechnisch belegt werden. Die Erkennungsgrenzen der beweissichernden Messungen sollten sich hierbei unter Berücksichtigung der messtechnischen Machbarkeit an 10 % der bei einer uneingeschränkten Freigabe zulässigen Werte orientieren.

Entsorgungspfad A: uneingeschränkte Freigabe

Bis zum Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung am 31. Dezember 2018 war die uneingeschränkte Freigabe der Entsorgungspfad mit dem größten Massenaufkommen. Dies lag vor allem an den damaligen Spalten 6 und 8 für die uneingeschränkte Freigabe von Bauschutt und Gebäuden zur Wieder- und Weiterverwendung. Nach 2018 werden diese Spalten und zusätzlich die Spalte 7 uneingeschränkte Freigabe von Bodenflächen dem Entsorgungspfad B zugerechnet. Somit werden diesem Entsorgungspfad nur noch feste und flüssige Stoffe zur uneingeschränkten Freigabe zugeordnet.

Entsorgungspfad B: zweckgerichtete Freigabe

Bis zum 31. Dezember 2018 wurden dem Entsorgungspfad B nur die folgenden zweckgerichtet freigebbaren Reststoffe nach § 29 Anlage III Spalten 9a bis 9d, 10 und 10a StrlSchV (alt) zugeordnet:

- feste Stoffe zur Beseitigung auf Deponien (Getrennte Werte nach Menge (< 100 Mg/a und < 1.000 Mg/a))
- (feste und flüssige) Stoffe zur Beseitigung in einer Verbrennungsanlage (Getrennte Werte nach Menge (< 100 Mg/a und < 1.000 Mg/a))

- Gebäude zum Abriss
- Metallschrott zur Rezyklierung (z. B. Stahl, Kupfer, Aluminium zum Einschmelzen)

Seit dem 31. Dezember 2018 werden nun auch die aktuellen Spalten 6, 7 und 12

- Bauschutt von mehr als 1.000 Mg/a in Bq/g (bisherige Spalte 6)
- Bodenflächen in Bq/g (bisherige Spalte 7)
- Gebäuden zur Wieder-, Weiterverwendung in Bq/cm² (bisherige Spalte 8))

zugeordnet.

Entsorgungspfad C: Abklinglagerung

Den beiden vorgenannten Entsorgungspfaden A und B kann eine Abklinglagerung vorgeschaltet werden, um den natürlichen Zerfall der radioaktiven Nuklide auszunutzen. Der Pfad C umfasst radioaktive Reststoffe, die aufgrund einer Überschreitung der Freigabewerte erst nach Ablauf einer bestimmten Abklingzeit, in der eine Verringerung der Aktivität durch radioaktiven Zerfall eintritt, einer uneingeschränkten oder zweckgerichteten Freigabe zugeführt werden können. Die Abklinglagerung stellt einen Zwischenschritt zum Erreichen der Entsorgungsziele A oder B dar. Sie erfolgt, soweit sie technisch und wirtschaftlich sinnvoller ist als eine Dekontamination des radioaktiven Reststoffs oder als eine Beseitigung als radioaktiver Abfall.

Entsorgungspfad D: Stoffkreislauf Kerntechnik

Material, das nicht freizugeben ist, kann im kerntechnischen Stoffkreislauf verbleiben. Dies kann zum einen die Wiederverwertung von Metallen mit einer Restaktivität, für die eine Freigabe nicht vorgesehen oder möglich ist und die einer atomrechtlich kontrollierten Verwertung zugeführt werden können, umfassen. Hierzu gehören insbesondere Metalle, die nach dem Einschmelzen z. B. für die Produktion von Abschirmungen oder Abfallbinden zur Lagerung radioaktiver Abfälle verwendet werden können. Zum anderen kann dies die Wiederverwendung von Anlagenteilen, Gegenständen oder Geräten sein, die einer Wiederverwertung in anderen kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen zugeführt werden können.

Entsorgungspfad E: Stoffkreislauf Kerntechnik

Wenn keine Freigabe oder kerntechnische Verwendung sinnvoll oder möglich ist, wird der Reststoff als radioaktiver Abfall deklariert und für die geordnete Beseitigung, ggf. nach einer internen oder externen Zwischenlagerung, zur Endlagerung verbracht.

Tab. 2.3 zeigt, wie sich die Massen aus der Stilllegung der repräsentativen Reaktoren auf die einzelnen Entsorgungspfade aufteilen.

Tab. 2.3 Aufteilung der Massen auf die einzelnen Entsorgungspfade in [Mg] aus dem Rückbau des Repräsentativer-DWR und -SWR

Entsorgungspfad					
	A	B	D	E	Herausgabe
Repräsentativer Reaktor	Uneingeschränkte Freigabe	Zweckgerichtete Freigabe	Stoffkreislauf Kerntechnik	Endlagerung als radioaktiver Abfall	
DWR	17.875	185.229	500	3.671	253.770
SWR	108.183	136.567	500	4.567	158.900

Im Mittel entfallen auf den Entsorgungspfad A 7 %, auf den Entsorgungspfad B 91 % und auf den Pfad E 2 %. Vergleicht man dies mit der Zuordnung nach alter StrlSchV wie z. B. in aus der ESK-Präsentation „Vergleich der Massenströme bei der Stilllegung von Kernkraftwerken in Deutschland und Frankreich“ vom 04.12.2014, so kehrt sich der Anteil der Entsorgungspfade A (92 %) und B (5 %) praktisch um. Der in Tab. 2.3 nicht aufgeführte Entsorgungspfad C „Abklinglagerung“ ist bereits in den Pfaden A und B integriert.

In folgender Tabelle werden Daten zur Stilllegungsmassen und Entsorgungspfaden zusammengestellt. Die Stilllegungsmassen ausgewählter (anonymisierter) Anlagen werden mit dem repräsentativen SWR bzw. repräsentativen DWR verglichen. Ursprünglich sollten hier typische Vertreter der DWR- und SWR- Baulinien mit den repräsentativen Anlagen verglichen werden. Leider sagten die angefragten Betreiber eine Teilnahme am Forschungsvorhaben ab. Die in der Tabelle Tab. 2.4 aufgeführten Anlagen sind DWR oder SWR eigener Bauart. Die Stilllegungsmassen der repräsentativen Anlagen können daher nur als Orientierung und Hilfe zur Einordnung dienen.

Tab. 2.4 Abschätzung der Stilllegungsmassen und Entsorgungspfade für ausgewählte (anonymisierte) Leistungsreaktoren in Deutschland. Pfad C (Abklinglagerung) ist nicht aufgeführt, da davon auszugehen ist, dass diese Massen in die Pfade A und B einfließen.

Anlage	Primärmassen [Mg]				Sek. Massen [Mg]	Zusatzmassen [Mg]	Gesamt [Mg]	Pfad A	Pfad B	Pfad D	Pfad E	Herausgabe
	KB	ÜB	SB	Summe								
Repr. DWR	178.129	373.050	34.086	581.036	276	474	586.387	17.875	185.229	500	3.671	253.770
Repr. SWR	248.833	164.247	21.280	433.577	337	497	435.193	108.183 ¹	136.567	500	4.567	158.900
Anlage 1 (DWR)	566.400	1.233.600		1.800.00			1.800.000	511.100	2.500	4.150	16.500	1.237.350
Anlage 2 (DWR)	117.585	272.100	0	389.685	9.465	490	399.640	19.175	104.830	545	2.990	
Anlage 3 (SWR)	218.000	156.250	18.600	392.850	35.750		428.600	13.400	205.950			
Anlage 4 (DWR)	294.000	196.000	0	490.000		1.000	491.000	10.995	281.417			

¹ Diesen Massen liegen noch die Massenaufteilungen aus der StrISchV (alt) /SSV 01/ zugrunde.

2.2.1.6 Freigabeverfahren im Betriebshandbuch

Schon während des Normalbetriebes eines Kernkraftwerkes fallen laufend Abfälle an, die entsorgt werden müssen. Die entsprechenden Abfallbehandlungsinstruktionen sind im Betriebshandbuch der kerntechnischen Anlage festgelegt. Bei der späteren Stilllegung werden die entsprechenden Verfahren übernommen oder für die größeren anfallenden Massen entsprechend modifiziert.

Für die Freigabe sind sowohl ein massenspezifischer als auch ein oberflächenspezifischer Freigabewert zu unterschreiten, wobei die Prüfung eines oberflächenspezifischen Grenzwertes jedoch nur dann erforderlich ist, wenn die Materialarten eine feste Oberfläche besitzen, an der eine Kontaminationsmessung durchgeführt werden kann. Das Freigabeverfahren kann im Kraftwerk sowie von externen Stellen (z. B. Konditionierungsstellen der GNS oder Technologiezentrum Gundremmingen (TZG)) durchgeführt werden. Die Basis für die Freigabe der Wertstoffe und Abfälle mit geringfügiger Aktivität ist die Entscheidungsmessung.

In den folgenden Kapiteln werden die Passagen aus dem Betriebshandbuch von KKE für die wichtigsten Stoffklassen beschrieben.

2.2.1.6.1 Metallische Reststoffe

Metallische Stoffe werden nach Möglichkeit für eine uneingeschränkte Freigabe qualifiziert. Ist die Restaktivität für eine uneingeschränkte Freigabe zu hoch, wird die Möglichkeit der Freigabe als rezyklierter Metallschrott betrachtet. In diesem Fall ist ein Verwertungsnachweis (Erzeuger, Bezeichnung der Materialart, Gewicht, Abtransportdatum) der Dokumentation beizufügen und der zuständigen atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde vorzulegen.

Liegt die Restaktivität oberhalb der Freigabewerte für die Rezyklierung, so verbleibt als Entsorgungspfad die Beseitigung als nichtradioaktiver Abfall. Hierzu müssen die Freigabewerte für die Beseitigung unterschritten werden. Bei Verwertung innerhalb einer anderen atomrechtlichen Genehmigung müssen die Umgangsgenehmigung des Verwerter bezüglichen der zulässigen Aktivitätskonzentration und Oberflächenkontamination be-

achtet werden. Weiterhin ist eine vertragliche Vereinbarung mit dem Verwerter vorzulegen, um nachzuweisen, dass die Verwertung entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen erfolgt.

2.2.1.6.2 Abfälle

Abfälle werden bei Unterschreitung der Freigabewerte zur Beseitigung als nicht radioaktive Abfälle auf einer Deponie oder in einer thermischen Behandlungsanlage entsorgt, d. h. eine Verwertung oder Wiederverwendung wird ausgeschlossen. Der Nachweis wird der Dokumentation beigelegt (Erzeuger, Bezeichnung der Materialart, Gewicht, Abtransportdatum) und der atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde vorgelegt.

2.2.1.6.3 Sonstige Reststoffe

Sonstige Reststoffe werden nach Möglichkeit für die uneingeschränkte Freigabe qualifiziert. Ist dies nicht möglich oder sinnvoll, werden diese Reststoffe dem Abfall zugeordnet.

2.2.1.6.4 Gebäude

Der Begriff Gebäude umfasst einzelne Gebäude, Räume, Raumteile sowie Gebäudeteile. Die Entscheidungsmessung zur Freigabe von Gebäuden soll grundsätzlich an der stehenden Struktur erfolgen. In diesem Fall ist der oberflächenspezifische Freigabewert zu unterschreiten. Für die Beurteilung der vorhandenen Radioaktivität ist die Summe aus festhaftender, nicht festhaftender und eingedrungener Aktivität zu berücksichtigen. Bei Volumen getragener Aktivität durch Aktivierung sind bei der Freimessung von Gebäudeteilen zusätzlich massenbezogene Freigabewerte zu berücksichtigen. Loser Bauschutt ohne definierte Oberfläche wird massenspezifisch bewertet und entsprechend den Freigabewerten entweder für die uneingeschränkte Freigabe oder für die Beseitigung freigegeben.

2.2.1.7 Freigabeverfahren

Das Ziel des Freigabeverfahrens ist die Entlassung der radioaktiven Stoffe aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes und dessen nachgeordneten Vorschriften. Das Freigabeverfahren kann einzelteil-, chargen-, kampagnenbezogen oder für eine Stoffart freizugebener Reststoffe durchgeführt werden. Soweit im Rahmen des Freigabeverfahrens

erforderlich, werden weitere Verfahrensschritte in Innerbetrieblichen Anweisungen festgelegt.

Zur Festlegung des Verfahrens der Behandlung radioaktiver Reststoffe mit dem Ziel der Freigabe werden Freigabepläne erstellt. In den Freigabeplänen wird das gesamte Freigabeverfahren für ein Einzelteil, eine Charge, eine Kampagne oder eine Stoffart festgelegt.

In den Freigabeplänen sind u. a. die folgenden Schritte des Freigabeverfahrens festgelegt. Einzelne Schritte können im Einzelfall je nach Stoffart und Entsorgungsziel entfallen.

- Trennen und Sammeln
- Voruntersuchung auf vorhandene Aktivität
- Vorbehandlung
- Information der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde
- Orientierungsmessung
- Entscheidungsmessung
- Kontrollmessung
- Feststellung der Übereinstimmung mit dem Freigabebescheid
- Anzeige bei der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde
- Freigabe durch die atomrechtliche Aufsichtsbehörde
- Abtransport

Durch die Erteilung des Freigabebescheides der atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde gemäß § 33 Absatz 2 StrlSchV /SSV 18/ kann das Kraftwerk nach den festgelegten Bestimmungen und den festgelegten Freigabeverfahren die tatsächliche Freimessung (Entscheidungsmessung) durchführen.

Daraufhin hat der Strahlenschutzbeauftragte des Kraftwerkes die Übereinstimmung mit den im Freigabebescheid festgelegten Bestimmungen gem. § 33 Absatz 3 StrlSchV

/SSV 18/ festzustellen. Diese Feststellung ist in der Freigabedokumentation zu dokumentieren. Auf Basis der Freigabedokumentation erteilt die zuständige atomrechtliche Aufsichtsbehörde in der Regel auf Basis einer Stellungnahme des hinzu gezogenen Sachverständigen die Freigabe der angezeigten Kampagne, Charge oder des Einzelteils.

2.3 AP 3: Vorgehensweise der Stilllegung im Falle der ausgewählten Anlagen

2.3.1 Einleitung

Die in den ausgewählten Kernkraftwerken angewandten Rückbauverfahren und Messtechniken werden in diesem Arbeitspaket zusammengestellt und, wenn möglich, Vergleiche angestellt.

Daneben werden die zusammengetragenen Informationen für den Forschungsstandort Rossendorf zusammengestellt (Abschnitt 2.3.8).

Weiterhin werden die Untersuchungen in einer Small Facility (durchgeführt durch den Unterauftragnehmer Universität zu Köln) beschrieben.

Für die Datenakquise bzgl. der Kernkraftwerke und des Forschungsstandorts Rossendorf wurde (maßgeblich vom Unterauftragnehmer TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG, im Folgenden „TÜV NORD“) ein Fragenkatalog erstellt. Diese sind in folgenden Abbildungen dargestellt (siehe Abschnitt 2.3.2 bis 2.3.4). Die Fragebögen sind in folgende übergeordnete Kapitel gegliedert:

1. Allgemein
2. Prozesse
3. Rückbautechniken/Strategien
4. Radiologische Charakterisierung
5. Messtechnik
6. Dekontaminationstechniken

2.3.2 Fragenkatalog zur Datenakquise (Leistungsreaktoren)

Im Folgenden sind Bilder des an die Betreiber von Leistungsreaktoren gerichteten Fragenkatalogs dargestellt.

1. ALLGEMEIN												
Pos.	Frage	Einfluss auf Massenstrom der Freigabe nach eigener Einschätzung (1 gar nicht 2 wenig 3 mäßig 4 hoch 5 sehr hoch)										
1.1.	Betriebszeit von - bis? Nachbetrieb von - bis? Restbetrieb von - bis? (geplanter Termin)	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	<input type="checkbox"/>				
1	2	3	4	5								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.2.	Wann wurde die Genehmigung (Stilllegung und Abbau) erteilt? Gab es darin Auflagen/Anforderungen im Hinblick auf die Freigabe?	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.3.	Inwieweit wurden während des Leistungsbetriebs bzw. des Nachbetriebs Anpassungen des Freigabeverfahrens an die Belange des Rückbaus vorgenommen? Wurden schon während des Nachbetriebs Arbeiten/Vorbereitungen durchgeführt, die das spätere Freigabeverfahren erleichtern sollten?	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.4.	Gab es Probleme mit der Berücksichtigung der Änderungen von Regelwerken (z. B. DIN ISO 11929 etc.) oder Gesetzgebung (neue StrlSchV) hinsichtlich des Freigabeverfahrens? - Zeitangabe für eventuelle Verzögerungen - Lösungsansätze	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.5.	Wurden spezifisch für den Rückbau neue Freigabebescheide erwirkt? - wenn ja welche, zu welchem Zeitpunkt und mit welchem Gegenstand?	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.6.	Wurde bei der Erwirkung von Freigabebescheiden für bestimmte Stoffströme Optimierungsbedarf festgestellt, im Sinne, dass noch nicht gangbare Freigabepfade den Abbaufortschritt verzögern?	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.7.	Gab es ein Verfahren zur Herausgabe? - Wenn ja, welche Reststoffe und welche Massen wurden herausgegeben?	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.8.	Wie war das Aufsichtsverfahren im Hinblick auf die Freigabe geregelt? Gab es definierte Haltepunkte für die behördlichen Entscheidungen oder war ggf. Testat eines Sachverständigen erforderlich (z.B. in Freigabeablaufplänen) ?	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.9.	Gestaltung des Freigabeverfahrens: Welche Schritte waren im Freigabeverfahren zwingend durchzuführen (wie z. B. Voruntersuchung, Orientierungsmessung, Entscheidungsmessung)?	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								

Abb. 2.29 Block „Allgemein“ des Fragenkatalogs

2. PROZESSE		
Pos.	Frage	Einfluss auf Massenstrom der Freigabe nach eigener Einschätzung (1 gar nicht 2 wenig 3 mäßig 4 hoch 5 sehr hoch)
2.1.	Welche Prozesse, vor allem in der Freigabe, wurden standardisiert und in welcher Form? - Standardpläne - Prozess- oder Ausführungs-/Arbeitsanweisungen - Änderungen im Verlauf des Rückbaus	1 2 3 4 5 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.2.	Interner Erfahrungsrückfluss / Kommunikation im Freigabeverfahren - Definition von Kommunikationsprozessen unter den Beteiligten? - Probleme/Verbesserungspotenzial? - Wurde ein Wissensmanagement eingeführt?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.3.	Erfolgte ein Mehrschichtbetrieb? - Wenn ja, ab wann und mit wieviel Personal? - Welche Bereiche?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2.4.	Wie wurde die Entsorgungslogistik im Hinblick auf die Freigabe gestaltet? - Grundlegende Strategie (wie wurde die Entsorgung gestaltet, um Reststoffabfluss sicherzustellen)? - Gab es aus logistischen Gründen Einschränkungen bei der Freigabe/ Reduzierung der freigegebenen Stoffmengen?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Abb. 2.30 Block „Prozesse“ des Fragenkatalogs

3. RÜCKBAUTECHNIKEN / STRATEGIEN		
Pos.	Frage	Einfluss auf Massenstrom der Freigabe nach eigener Einschätzung (1 gar nicht 2 wenig 3 mäßig 4 hoch 5 sehr hoch)
3.1.	In wie viele Phasen wurde der Rückbau eingeteilt?	1 2 3 4 5 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.2.	Wie wurde der Rückbau strategisch eingeteilt (z. B. RDB und aktivierte Komponenten zuerst oder zuletzt)?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.3.	Wurden bei der Planung des Rückbaus explizit Aspekte der Freigabe berücksichtigt, die in die Abbaustrategie oder -reihenfolge eingeflossen sind? - Wenn ja, welche? - Hat sich dies in der Praxis bewährt?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.4.	Wurden über Einzelfallbetrachtungen Freigabeverfahren bzw. -strategien eingeführt, um den Massendurchsatz, z. B. durch Reduzierung von Messaufwand, zu erhöhen? - Wenn ja, welche und mit welchem Ergebnis?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.5.	Musste die Infrastruktur für den Rückbau zunächst geschaffen/verändert werden? - Wenn Ja, was wurde vorgenommen und wann/wie lange? (z. B. Einrichten Zerlegebereiche, Transportwege, Stau-/Puffer-/Stellflächen, Beschaffung/Anpassung von Hebezeugen)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.6.	Welche Zerlegeverfahren wurden angewandt? - Hatten diese Einfluss auf die Freigabe?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.7.	Gab es Probleme, die Freigabestrategien hinfällig machten (z. B. aufgrund der Gebäudestatik bei der Gebäudefreigabe)? - Wenn ja, welche, wie wurden diese Probleme gelöst?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.8.	Wie wurden Betonstrukturteile freigegeben? (als Block oder als Schüttgut) Wo wurden diese gemessen? (in Einbaulage, ortsnah oder im Überwachungsbereich)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.9.	Wie erfolgte oder wie ist die Gebäudefreigabe vorgesehen? Waren hier Einzelfallnachweise erforderlich, um z. B. radiologisch bzw. messtechnisch kaum zu erfassende Bereiche einer Freigabe zuzuführen?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.10.	Wie erfolgte die Freigabe von Metallen - Eigene Messungen? - Einschmelzen/Verarbeitung bei externen Dienstleistern? - Uneingeschränkte Freigabe/Freigabe zur Beseitigung oder Recyklierung? - Massenfluss der Pfade	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Abb. 2.31 Block „Rückbautechniken/Strategien“ des Fragenkatalogs

4. RADIOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG		
Pos.	Frage	Einfluss auf Massenstrom der Freigabe nach eigener Einschätzung (1 gar nicht 2 wenig 3 mäßig 4 hoch 5 sehr hoch)
4.1.	<p>Wie erfolgte die Charakterisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wie viele Proben (Sondernuklidanalysen/ Proben insgesamt)? - Wie wurden die Proben/ Probenanzahl festgelegt? - Welche sonstigen Untersuchungen erfolgten zur radiolog. Charakterisierung (z. B. Aktivierungsrechnungen, Abbrandrechnungen)? - Zeitraum (vorlaufend/abbaubegleitend)? Gab es bei der Charakterisierung Probleme, die die Freigabe verzögerten? 	<p>1 2 3 4 5</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
4.2.	<p>Wie erfolgte die Bestimmung von Nuklidvektoren/ Hochrechnungsfaktoren/Korrelationsfaktoren?</p> <ul style="list-style-type: none"> - anlagenweit/systemweise/ aus Dekontaminationsabtrag? - konservativ/realitätsnah? <p>Gab es Änderungen im Laufe des Rückbaus hinsichtlich ihrer Bestimmung?</p> <p>Gibt es verfahrensfestlegende Unterlagen wie z. B. Anweisungen oder Technische Berichte?</p>	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
4.3.	<p>Anzahl Nuklidvektoren/Hochrechnungsfaktoren/ Korrelationsfaktoren?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kam es zu Problemen bei der konkreten Anwendbarkeit der Nuklidvektoren? - Wie wurden diese gelöst? 	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
4.4.	<p>Wurde eine FSD (Full System Decontamination) durchgeführt oder einzelne Teilsysteme, z. B. während einer Revision, bzw. vor der Demontage dekontaminiert?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wenn Ja, wann und wo? - Hat dies zu Änderungen an den Nuklidverhältnissen oder sonstigen Randbedingungen für die Freigabe geführt? - Hat dies zu einer Erhöhung der insgesamt freigegebenen Massen geführt? 	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
4.5.	<p>Gab es Brennelementschäden? Wenn ja, gab es Brennelementschäden mit messbaren Eintrag von Kernbrennstoff in das Primärkühlmittel?</p> <p>Hat dies zu Einflüssen auf die Freigabe geführt, z. B. Einflüsse auf die Nuklidverhältnisse?</p>	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>

Abb. 2.32 Block „Radiologische Charakterisierung“ des Fragenkatalogs

5. MESSTECHNIK												
Pos.	Frage	Einfluss auf Massenstrom der Freigabe nach eigener Einschätzung (1 gar nicht 2 wenig 3 mäßig 4 hoch 5 sehr hoch)										
5.1.	Welche Messtechnik wurde für Freigabeverfahren eingesetzt, (Art und Anzahl von Messgeräten allgemein, ab wann eingesetzt)? - Voruntersuchungen - Orientierungsmessungen (soweit im Verfahren vorgesehen)? - Entscheidungsmessungen - Spezielle Messtechnik für bestimmte Reststoffe/Materialien?	<table border="0"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	<input type="checkbox"/>				
1	2	3	4	5								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
5.2.	Wurde zu einem späteren Zeitpunkt hinsichtlich der Messtechnik (VU/ OM/ EM) aufgestockt? - Wenn Ja ab wann und wieviel? - Gründe für Aufstockung?	<table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
5.3.	Gab es Probleme hinsichtlich der Kalibrierung/ Nachweisempfindlichkeit der Messtechnik? (z. B. bei hohem Anteil von Alphastrahlern im Nuklidvektor oder zu konservativem Nuklidvektor)? - Wenn ja, wie wurden diese gelöst?	<table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
5.4.	Welche Messtechnik wurde eigens angeschafft, welche wurde von Fremdfirmen eingesetzt?	<table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
5.5.	Wurden externe (Mess)-Labore hinzugezogen? Wenn Ja wofür? Wie wurden die Labore für die Messaufgaben qualifiziert?	<table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
5.6.	Wie wurde die Messtechnik kalibriert? (konservativ/abdeckend/realistisch)	<table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
5.7.	Wurde ein Hintergrundabzug für natürliche Radionuklide durchgeführt? Wie wurde der Hintergrund in diesem Fall bestimmt?	<table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								

Abb. 2.33 Block „Messtechnik“ des Fragenkatalogs

6. DEKONTAMINATIONSTECHNIKEN		
Pos.	Frage	Einfluss auf Massenstrom der Freigabe nach eigener Einschätzung (1 gar nicht 2 wenig 3 mäßig 4 hoch 5 sehr hoch)
6.1.	Welche Dekontaminationstechniken wurden eingesetzt und wofür (z. B. Abrasivstrahlen, Säurebäder o. Ä., Schmelzen von Metallen etc.)?	1 2 3 4 5 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.2.	Welche/wie viele Geräte wurden zur Dekontamination eingesetzt (z. B. Muldenbandstrahlanlage, Sandstrahlbox, Ultraschallbad)? - Ab welchem Zeitpunkt wurden die Geräte eingesetzt? - Gab es Änderungen im Verlauf des Rückbaus?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.3.	Welche Stoffe /Stoffmengen wurden dekontaminiert? (insgesamt, wenn möglich zeitlich aufgeschlüsselt)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.4.	Bis zu welchem Aktivitätsniveau erfolgte die Dekontamination und wie wurde der Dekontaminationserfolg überprüft?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.5.	Inwieweit konnten standardisierte Dekontaminationsverfahren eingesetzt werden, die ggf. den Aufwand zum Nachweis des Dekontaminationserfolgs reduzierten? Wie wurden diese Verfahren qualifiziert?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.6.	Welche Maßnahmen wurden hinsichtlich einer möglichen Nuklidvektorverschiebung getroffen? (z. B. Überwachung des Strahlguts etc., pauschale Verfahrensqualifizierung)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.7.	Gab es besonders positive oder negative Erfahrungen mit eingesetzten Dekontaminationstechniken?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Abb. 2.34 Block „Dekontaminationstechniken“ des Fragenkatalogs

2.3.3 Erläuterungen zum Fragenkatalog (Leistungsreaktoren)

Im Folgenden wird der fachliche Hintergrund zu den jeweiligen Fragen im Fragenkatalog (siehe Abschnitt 2.3.2) näher erläutert. Die folgenden Erläuterungen wurden vom Unterauftragnehmer TÜV NORD erstellt.

2.3.3.1 Block „Allgemein“

1.1. Betriebszeit von – bis? *Restbetrieb von – bis? *Rückbau von – bis? (geplanter Termin)

Die Betriebszeiten können Auskunft darüber geben, über welchen Zeitraum sich Routinen einspielen konnten. Die Dauer des Restbetriebes kann Auskunft darüber geben, wieviel Zeit der Betreiber der jeweiligen kerntechnischen Anlage hatte, sich auf den Rückbau und die damit verbundenen Prozesse einzustellen und ggfs. vorbereitende

Maßnahmen durchführen konnte. In erster Linie muss die Stilllegungs- und Abbaugenehmigung beantragt und erteilt werden. Die Genehmigung zum Leistungsbetrieb deckt bei Kernkraftwerken den Leistung- und den Nachbetrieb nach der Abschaltung ab, ein Rückbau im Rahmen dieser Genehmigung ist im Regelfall nicht zulässig. Zum anderen müssten die Prozesse für den Abbau geplant, vorbereitet und zum Teil erprobt werden. Auch mit Erteilung der Stilllegungs- und Abbaugenehmigung und dem damit einsetzenden Beginn des Restbetriebs kann es zu Verzögerungen kommen. In einigen Anlagen konnte der eigentliche Rückbau aufgrund fehlender Vorbereitung nicht unmittelbar begonnen werden.

1.2. Wann wurde die Genehmigung (Stilllegung und Abbau) erteilt? *Gab es darin Auflagen/Anforderungen im Hinblick auf die Freigabe?

Wenn viele Auflagen/Anforderungen in der Genehmigung im Hinblick auf die Freigabe erteilt wurden, kann dies ein Hinweis darauf sein, dass das Freigabeverfahren noch nicht ausreichend gut etabliert war oder auch noch sicherheits-technische/organisatorische Defizite aufweist. Hier ist dann damit zu rechnen, dass das Freigabeverfahren noch konkret festgelegt werden muss. Dies kann unter Umständen einige Zeit in Anspruch nehmen und es ist davon auszugehen, dass viele Prozesse erst erprobt und etabliert werden müssen. Lange Zeiträume, die für die Etablierung des Freigabeprozesses benötigt werden, bedeuten erfahrungsgemäß in diesem Zeitraum geringe freigegebene Massen.

1.3. Nachbetrieb von - bis/Restbetrieb ab? *Inwieweit wurden während des Leistungsbetriebs bzw. des Restbetriebs Anpassungen des Freigabeverfahrens an die Belange des Rückbaus vorgenommen?

Die Anpassung an die Belange des Rückbaus umfasst z. B. die Einrichtung von Logistik sowie Lagerflächen (Stau-/Puffer-/Stellflächen), die Einrichtung und Erprobung von Reststoffbearbeitungseinrichtungen, Einrichtung/Anschaffung von Messtechnik und die Sicherstellung der endgültigen Entsorgung (Deponie, Verbrennungsanlage, Reststoffhändler, etc.). Inwieweit Vorbereitungen für den Rückbau getroffen werden können, hängt auch von der Betriebsgenehmigung ab. Erfahrungsgemäß sollte auch der Zeitraum des Nachbetriebs für eine derartige Vorbereitung genutzt werden, um Verzögerungen bei der Etablierung des Freigabeverfahrens (bzw. allgemein: der Entsorgungslogistik) zu vermeiden.

- 1.4. Gab es Probleme mit der Berücksichtigung der Änderungen von Regelwerken (z. B. DIN ISO 11929 etc.) oder Gesetzgebung (neue StrlSchV) hinsichtlich des Freigabeverfahrens? * Zeitangabe für eventuelle Verzögerungen *Lösungsansätze

Es hat in den vergangenen Jahren einige Änderungen von kerntechnischen Regelwerken gegeben. Insbesondere die Einführung der DIN ISO 11929 hat für Änderungen bzgl. der heranzuziehenden Messunsicherheiten gesorgt. Es war teils vonnöten, die Software der einzelnen Messgeräte anzupassen oder die Erfüllung der Anforderungen in separaten Anweisungen zu regeln oder darzustellen. Ein Problem kann hier eine veränderte Nachweisgrenze von Messgeräten sein, so dass diese für den eigentlich vorgesehenen Messzweck nicht mehr oder nur noch teils geeignet sind. Auch die letzte Novellierung der Strahlenschutzverordnung 2018 kann sich auf die Freigabeprozesse ausgewirkt haben. Die Veränderung z. B. von einzelnen Freigabewerten kann in einigen Bereichen die ursprüngliche Freigabestrategie hinfällig gemacht haben. Je eher die Betreiber sich auf die Auswirkungen der Regelwerksänderung eingestellt haben und die Anforderungen erfüllten, desto eher konnten auch die Prozesse in der Freigabe weiterlaufen.

- 1.5. Wurden spezifisch für den Rückbau neue Freigabebescheide erwirkt? *wenn ja welche, zu welchem Zeitpunkt und mit welchem Gegenstand?

Viele der gemäß Strahlenschutzverordnung möglichen Freigabepfade sind während der Betriebsphasen der Kernkraftwerke nicht in Anspruch genommen worden (z. B. spezifische Freigabe von Gebäuden zur Wiederverwendung oder zum Abriss, Freigabe von Bodenflächen oder Freigabe von Bauschutt > 1.000 Mg) und daher in bestehenden Freigabebescheiden ggf. nicht berücksichtigt. Hier ist es dann notwendig neue Freigabebescheide oder Erweiterungen zu den bestehenden Freigabebescheiden zu beantragen. Die bestehenden Freigabebescheide sind im Regelfall für die Freigabe der während des Betriebs des jeweiligen Kernkraftwerkes anfallenden radioaktiven Reststoffe erteilt worden und nicht im Hinblick auf die großen und davon abweichenden Reststoffmengen und -arten im Rückbau (wie z. B. Bauschutt, Gebäude und Bodenflächen). Bei diesen können Anpassungen in Bezug auf die im Rückbau anfallenden größeren Massen an Materialien und in Bezug auf den Stand von Wissenschaft und Technik notwendig sein. Da beim Rückbau viele Materialien zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen ist es allerdings möglich, Freigabebescheide für bestimmte Pfade (vor allem Gebäude- und Bodenfreigaben) erst zu einer späteren Phase des Rückbaus zu beantragen. Hier ist es

jedoch wichtig, dass derartige Bescheide rechtzeitig beantragt werden, da erfahrungsgemäß die Etablierung von Freigabeverfahren vor allem für Gebäude einen erheblichen Vorlauf für Beantragung, Erteilung des Freigabebescheids und die Erprobung der Verfahren erfordert.

- 1.6. Wurde bei der Erwirkung von Freigabebescheiden für bestimmte Stoffströme Optimierungsbedarf festgestellt, im Sinne, dass noch nicht gangbare Freigabepfade den Abbaufortschritt verzögern?

Im Falle, dass ein Entsorgungsweg in absehbarer Zeit nicht zur Verfügung steht, weil z. B. keine Entsorgungsanlage verfügbar ist, können sich Freigabestrategien verändern. Dann kann z. B. eine uneingeschränkte Freigabe Vorzug vor einer spezifischen Freigabe erhalten, obwohl gemäß konventionellem Recht der Entsorgungsweg vorgegeben ist (z. B. Isolierstoffe, die auch aufgrund von konventionellem Recht auf Basis öffentlich-rechtlicher Vorschriften einer Deponierung bedürfen). Unter Umständen bedeutet dies auch einen Mehraufwand bei der Reststoffbearbeitung und bei den Entscheidungsmessungen.

- 1.7. Gab es ein Verfahren zur Herausgabe? *Wenn ja, welche Reststoffe und welche Massen wurden herausgegeben?

Erste Überlegungen zur Herausgabe gab es ab dem Jahr 2004 (siehe z. B. das zusammenfassende Positionspapier des Fachverbands für Strahlenschutz in der Zeitschrift Strahlenschutzpraxis, Heft 01/2008). Anforderungen an die Herausgabe wurden im Jahr 2015 in die ESK-Leitlinien zur Stilllegung und im Jahr 2016 in den Leitfaden zur Stilllegung des BMU aufgenommen. Die Herausgabe ist ein vereinfachtes Verfahren für die Entlassung nicht kontaminierter oder aktivierter Stoffe aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes. Die Anwendung eines Herausgabeverfahrens kann den Anteil an Stoffen, die freigegeben werden müssen, reduzieren und so den Aufwand für den Genehmigungsinhaber reduzieren.

- 1.8. Wie war das Aufsichtsverfahren im Hinblick auf die Freigabe geregelt? *gab es definierte Haltepunkte für die behördlichen Entscheidungen oder war ggf. Testat eines Sachverständigen erforderlich?

In vielen Freigabeverfahren ist die atomrechtliche Aufsichtsbehörde, teils in Form hinzugezogener Sachverständiger, an den einzelnen Prozessen beteiligt. Durch Haltepunkte

im Verfahren kann es zu einer zeitlichen Verzögerung der Prozesse kommen, da die Prüfprozesse für die behördlichen Entscheidungen Zeit und Personalkapazität bei der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde wie auch bei der zugezogenen Sachverständigenorganisation binden. Gleichzeitig können Haltepunkte für alle Beteiligten Verfahrenssicherheit gewährleisten. Derartige Haltepunkte wären beispielhaft die abschließende Bestätigung der Freigabefähigkeit durch die zuständige Behörde oder das Erfordernis, dass die radiologische Charakterisierung vor Demontage und Bearbeitung radioaktiver Reststoffe abgeschlossen sein und bestätigt werden muss. In solchen Fällen ist eine effiziente Gestaltung des Freigabeverfahrens angeraten (z. B. durch Vereinfachung von Prüfprozessen und weitgehend standardisiertes Vorgehen).

- 1.9. Gestaltung des Freigabeverfahrens: Welche Schritte waren im Freigabeverfahren zwingend durchzuführen (wie z. B. Voruntersuchung, Orientierungsmessung, Entscheidungsmessung)?

Die gewählten Freigabestrategien und die Regelungen im Freigabebescheid geben die im Freigabeverfahren zwingend durchzuführenden Schritte vor. Im Hinblick auf den Einfluss auf die freigegebenen Massen, ist es wichtig, diese Schritte zu kennen und ihren Einfluss auf den Ablauf des Verfahrens zu verstehen (z. B. im Hinblick auf zwingend durchzuführende Messungen oder Nachweise). Die Frage zielt auch darauf ab, Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Ablauf der Verfahren zu verstehen.

2.3.3.2 Block „Prozesse“

- 2.1. Welche Prozesse, vor allem in der Freigabe, wurden standardisiert und in welcher Form? * Standardpläne * Prozess- oder Ausführungs-/Arbeitsanweisungen * Änderungen im Verlauf des Rückbaus

Im Rückbau fallen große Mengen der gleichen Reststoffarten an. Von daher bietet eine Standardisierung von Prozessen die Möglichkeit einen qualitativ und quantitativ gleichmäßigen Massenstrom zu erzeugen (s. o.).

- 2.2. Interner Erfahrungsrückfluss/Kommunikation im Freigabeverfahren * Definition von Kommunikationsprozessen unter den Beteiligten? * Probleme/Verbesserungspotenzial? * Wurde ein Wissensmanagement eingeführt?

Gerade der Erfahrungsrückfluss/die Kommunikation zwischen den Organisationseinheiten die für die Entsorgung (Freigabe) bzw. für den Abbau zuständig sind, ist enorm wichtig. Die für Entsorgung zuständige Organisationseinheit ist darauf angewiesen, dass der Abbau geplant abläuft, wohingegen aus Sicht des Abbaus die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Reststoffe sichergestellt sein muss, um den Abbaufortschritt nicht zu behindern. Beispielhaft müssen Fragestellungen zur radiologischen Charakterisierung möglichst noch vor der Demontage abgeschlossen sein und bei der Freigabe von Gebäuden ist sogar die Entscheidungsmessung an der stehenden Struktur vorgesehen. Die Demontage darf hier also möglichst nicht vor den Messungen stattfinden. Ggf. gibt es Beispiele, bei denen sich eine Entscheidungsmessung später als schwierig herausstellte oder sogar der Aufwand durch die vorzeitige Demontage erhöht wurde, etwa, weil eine radiologische Charakterisierung nicht abgeschlossen oder schlüssig war und deshalb die Entscheidungsmessung nicht belastbar war und erneut durchgeführt werden musste. Das Wissensmanagement ist gerade in den kerntechnischen Anlagen wichtig, die eine längere Zeit im Nachbetrieb verbracht haben und wo es aus anderen Gründen zu einem Generationenwechsel beim Personal kam. Betriebliche Erfahrung spielt gerade bei der oft herangezogenen Betriebshistorie der Anlagen eine große Rolle. Bereits während der Betriebsphase angestelltes Personal kann oft Auskunft über Ereignisse wie Kontaminationen geben, die in vielen Fällen keiner Meldepflicht unterliegen aber z. B. im Hinblick auf die Freigabe von kontaminierten Gebäudestrukturen oder Anlagenteilen relevant sind. Ebenso kann ohne adäquates Wissensmanagement Fachwissen verloren gehen.

2.3. Erfolgte ein Mehrschichtbetrieb? * Wenn ja, ab wann und mit wieviel Personal? * welche Bereiche?

Ein Mehrschichtbetrieb kann helfen, generell die erforderlichen Tätigkeiten schneller abzuarbeiten. Je nachdem in welchen Bereichen der Mehrschichtbetrieb stattgefunden hat kann es zu Beschleunigungen oder auch Verzögerungen im Freigabeverfahren kommen. Wenn z. B. der Abbau mit größerer Geschwindigkeit voranschreitet, kann es zu Engpässen bei Lagerflächen und bei der radiologischen Bewertung der Stoffe kommen. Ein Mehrschichtbetrieb hingegen bei der Strahlenschutztechnischen Abteilung (z. B. FMA) kann zu einem zügigen Abarbeiten der Entscheidungsmessungen und zu einer zügigeren Freigabe der Stoffe führen. Insgesamt kommt es hier darauf an, dass alle Bereiche gut abgestimmt miteinander arbeiten und dass der Personalbedarf individuell der Situation angepasst wird.

- 2.4. Wie wurde die Entsorgungslogistik im Hinblick auf die Freigabe gestaltet? * Grundlegende Strategie (wie wurde die Entsorgung gestaltet, um Reststoffabfluss sicherzustellen)? * Gab es aus logistischen Gründen Einschränkungen bei der Freigabe/Reduzierung der freigegebenen Stoffmengen?

Intern muss die Entsorgungslogistik für ein reibungsloses Zusammenspiel zwischen Entsorgung und Abbau sorgen, d. h. zum einen müssen radioaktive Reststoffe bewegt und behandelt, zum anderen ggf. zwischengelagert werden. Hier sind vor allem zwei Strategien denkbar: Zum einen ein möglichst schneller Abbau, bei dem die Entsorgungslogistik permanent alle anfallenden radioaktiven Reststoffe verarbeiten kann, zum anderen ein Abbau, der von der Kapazität der Entsorgungslogistik gesteuert wird und damit den Aufwand für Aufbau und Unterhaltung der Logistik reduziert. Im Regelfall ist zu erwarten, dass ein Optimum zwischen diesen beiden Strategien liegt. Hierauf zielt die Frage nach grundlegenden Strategien ab. In diesem Zusammenhang ist auch die konkrete Gestaltung der Logistik und Materialbearbeitung wichtig, vor allem sind dies Fragen nach Entscheidungen für den Standort von Bearbeitungseinrichtungen (in der Anlage selbst, in einem separaten, neu zu errichtenden Bearbeitungszentrum oder bei externen Dienstleistern). Ein externes Problem kann vor allem die Verfügbarkeit von Entsorgungsanlagen (Deponierung/Verbrennung, Recycling) sein. In diesem Bereich kommt es oft auch zu politischen Spannungen und Ablehnung der allgemeinen Bevölkerung, so dass Anforderungen an die Logistik für zusätzliche Pufferlagerung entstehen. Die Logistik muss flexibel genug geplant werden, um derartige Entsorgungsengpässe auszugleichen und intern den Materialfluss sicherzustellen, beispielhaft durch die rechtzeitige Vorhaltung von Pufferlagerkapazitäten.

2.3.3.3 Block „Rückbautechniken/Strategien“

- 3.1. In wie viele Phasen wurde der Rückbau eingeteilt?

Die Anzahl der Rückbauphasen wird vom Antragsteller der Genehmigung bestimmt. Bei vielen Phasen kann es nötig sein, dass ein vergleichsweise großer Aufwand für die entsprechenden Genehmigungsverfahren erforderlich ist. Dies kann sowohl Kapazitäten binden als auch zu Verzögerungen führen, wenn der Rückbau nicht plangemäß verläuft und z. B. Anlagenteile aufgrund einer noch ausstehenden Genehmigung nicht demontiert oder bearbeitet werden dürfen.

3.2. Wie wurde der Rückbau strategisch eingeteilt (z. B. RDB und aktivierte Komponenten zuerst oder zuletzt)?

Die strategische Einteilung des Rückbaus kann von verschiedenen Faktoren abhängen. Ist ggf. noch Brennstoff im Lagerbecken vorhanden, ist die Aufrechterhaltung der sicherheitstechnisch bedeutsamen Systeme notwendig und es ist keine beliebige Abbaureihenfolge möglich. Wenn das Kernkraftwerk brennstofffrei ist, muss darauf keine Rücksicht mehr genommen werden. Trotzdem werden einige sicherheitstechnisch relevanten Systeme noch über einen längeren Zeitraum benötigt oder müssen noch ausgebaut oder angepasst werden (z. B. Lüftungstechnik) und können so nicht zu Beginn demontiert werden. Der Ausbau vom RDB sowie aktivierter Komponenten wirkt sich insbesondere positiv auf den Strahlenschutz aus (geringere Exposition des Personals bei den Folgearbeiten, geringeres Aktivitätsinventar in der Anlage etc.). Wenn dagegen schwach kontaminierte/aktivierte Systeme zuerst ausgebaut werden, können neue Prozesse besser erprobt werden, so dass die Erfahrungen für eine Optimierung des Abbaus der höher kontaminierten/aktivierten Systeme nutzbar sind. Derartige strategische Entscheidungen können einen Einfluss auf die freigegebenen Massen haben, z. B. durch mögliches Abklingen von Aktivität oder Reduzierung von Querkontaminationen.

3.3. Wurden bei der Planung des Rückbaus explizit Aspekte der Freigabe berücksichtigt, die in die Abbaustrategie oder -Reihenfolge eingeflossen sind? * Wenn ja, welche? * Hat sich dies in der Praxis bewährt?

Diese Fragestellung ist unmittelbar relevant für das Thema. Es ist zu erwarten, dass eine rechtzeitige Planung einen verringerten Aufwand und gleichzeitig einen erhöhten Anteil freigegebener Masse an der Demontagemenge bedeuten. Hierbei sind vor allem Aspekte einer rechtzeitigen und umfassenden radiologischen Charakterisierung wichtig, um die genannte Planung durchzuführen (Durchführung vor dem Abbau von Systemen, Einbaulage bei aktivierten Strukturen, Beprobung unzugänglicher Systeme können erst während des Abbaus durchgeführt werden). Auch die im Anschluss an den Abbau durchgeführte Bearbeitung kann in Abhängigkeit zu dem möglichen Entsorgungspfad stehen und muss vorausschauend geplant werden, um die materiellen Voraussetzungen abhängig vom Bedarf zu schaffen. Bei der Gebäudefreigabe muss die Entscheidungsmessung an der stehenden Struktur erfolgen. Der Abbau kann hier also erst nach der Freigabe erfolgen. Speziell die Gebäudefreigabe stellt sehr hohe Anforderungen an die Pla-

nung, da hier der Abschluss der (System-)Demontage ggf. in einem größeren Raumbereich sichergestellt sein muss und eine Weiternutzung der schon untersuchten Räume nicht mehr möglich ist.

- 3.4. Wurden über Einzelfallbetrachtungen Freigabeverfahren bzw. -strategien eingeführt, um den Massendurchsatz, z. B. durch Reduzierung von Messaufwand zu erhöhen? * Wenn ja, welche und mit welchem Ergebnis?

Bei bestimmten Stoffströmen (z. B. Metallen) kann es unter Umständen zu einem sehr hohen Messaufwand für den Nachweis der Unterschreitung der Oberflächenkontaminationswerte kommen, da die von der Strahlenschutzverordnung festgelegte Mittelungsfläche von 1.000 cm² messtechnisch nur relativ geringe Stoffmengen bei der Entscheidungsmessung erlaubt. In vielen Verfahren kann unter bestimmten Randbedingungen (Homogenitätsnachweis) diese Mittelungsfläche erhöht werden, was den Aufwand bei der Entscheidungsmessung reduziert. Zudem kann die Aufsichtsbehörde unter Umständen bei einigen Freigabeoptionen auf einen messtechnischen Nachweis der Einhaltung der Werte der Oberflächenkontamination verzichten, sofern dieser über andere nicht messtechnische Verfahren erbracht wird. Die Erhöhung von Mittelungsflächen und die Nutzung alternativer Verfahren zum Nachweis der Werte der Oberflächenkontamination ist eine häufig verwendete Vorgehensweise, die z. B. im Rahmen von Einzelfallnachweisen genutzt wird. Weitere Beispiele sind Einzelfallnachweise für bestimmte Entsorgungsanlagen (etwa Deponien), die zwar die Reststoffe aus dem Rückbau aufnehmen, bei denen aber ohne weitere Randbedingungen (z. B. die Beschränkung entsorgter Massen oder Aktivitätsinventare) nicht die Einhaltung des 10 µSv/a Kriteriums gegeben wären. Derartige Einzelfallnachweise können allgemein zu einem erheblichen Anstieg der freigegebenen Massen führen.

- 3.5. Musste die Infrastruktur für den Rückbau zunächst geschaffen/verändert werden?
* Wenn Ja, was wurde vorgenommen und wann/wie lange? (z. B. Einrichten Zerlegebereiche, Transportwege, Stau-/Puffer-/Stellflächen, Beschaffung/Anpassung von Hebezeugen)

Zu Beginn der Stilllegung sind die Systeme der Anlage noch vorhanden. Es muss zunächst Platz für die Rückbaulogistik und die benötigten Zerlege- und Dekontaminationseinrichtungen geschaffen werden. Die Schaffung von Zerlege- und Dekontaminationseinrichtungen ist oft eine große Herausforderung und kann zum Teil nur Stück für Stück

umgesetzt werden. Es kann auch die Möglichkeit bestehen auf dem vorhandenen Betriebsgelände Bearbeitungseinrichtungen zu errichten. Diese können dann schon vor dem Beginn des Rückbaus realisiert werden. Die Realisierung hängt dann von den lokalen Randbedingungen ab (z. B. Platz im Kontrollbereich/auf dem Anlagengelände, Erfordernis einer Lagerung radioaktiver Stoffe).

3.6. Welche Zerlegeverfahren wurden angewandt? * Hatten diese Einfluss auf die Freigabe?

Die Verwendung angepasster Gerätetechnik kann u. U. die Menge freigegebenen Materials erhöhen, z. B. durch bessere Separierung oder Vermeiden von Querkontamination (etwa bei Schneidverfahren). Demgegenüber steht der teilweise erhebliche logistische Aufwand (z. B. bei spezialisierter Technik zur Zerlegung von Großkomponenten). Der Einfluss auf die Freigabe ist hier abzuwägen und zu bewerten. Die Zerlegung kann mit Sägen, durch Brennschneiden oder manuell erfolgen. Zusätzlich kommen oft Betonbrecher, Kabel- und Kunststoffschredder sowie Kabelschäler zum Einsatz.

3.7. Gab es Probleme, die Freigabestrategien hinfällig machten (z. B. aufgrund der Gebäudestatik bei der Gebäudefreigabe)? * Wenn ja, welche, wie wurden diese Probleme gelöst?

Die Fragestellung geht vor allem auf Erfahrungen aus der Gebäudefreigabe zurück, wo erst sehr spät im Verfahren erhebliche Kontaminationen der Fundamentstrukturen erkannt wurden, so dass die Freigabestrategie der Messungen in Einbaulage aus gebäudestatischen Gründen nicht anwendbar war. Denkbar sind ähnliche Probleme in anderen Bereichen, z. B. kann der Dekontaminationsaufwand etwa für Metalle so hoch werden, dass die geplanten Freigabemengen nicht erreicht werden und andere Freigabestrategien wie etwa Einschmelzen gewählt werden müssen.

3.8. Wie wurden Betonstrukturteile freigegeben? (als Block oder als Schüttgut) Wo wurden diese gemessen? (in Einbaulage, ortsnah oder im Überwachungsbereich)

Gerade in der Gebäudefreigabe, bei der an stehender Struktur gemessen werden sollte, kann es schwierig sein, die geeigneten Messbedingungen herzustellen (etwa aufgrund von Hintergrundeinstrahlung oder wegen beengter räumlicher Verhältnisse). Hier ist teilweise ein erheblicher Aufwand nötig (z. B. zur Einrichtung einer Abschirmung). Es ist

alternativ möglich, die Betonstrukturen zu zerlegen, z. B. in Form von Blöcken oder Bauschutt (wenn die Messung an Bauschutt radiologisch äquivalent zur Messung an der stehenden Struktur ist) und diese an einem besser geeigneten Ort zu messen. Dies bedeutet jedoch erhöhten Aufwand, der wiederum in einer Verzögerung der Freigabe münden kann, so dass ggf. andere Strategien zu bevorzugen sind.

3.9. Wie erfolgte oder wie ist die Gebäudefreigabe vorgesehen? Waren hier Einzelfallnachweise erforderlich, um z. B. radiologisch bzw. messtechnisch kaum zu erfassende Bereiche einer Freigabe zuzuführen?

Die Gebäudefreigabe stellt messtechnisch hohe Anforderungen, da es sich hierbei größtenteils um poröse Strukturen handelt, in die Kontamination eingedrungen sein könnte. Für Bereiche, in denen ein Eindringen von Kontamination ausgeschlossen werden konnte, kann nach einer Dekontamination die verbleibende Kontamination oft durch Oberflächenmessungen (Kontaminationsmonitore/In-Situ-Gammaspektrometrie) bewertet werden. Wie bereits oben angemerkt, stellt die Gebäudefreigabe eine erhebliche logistische Herausforderung dar, die eine sorgfältige Planung und auch Durchführung erfordert. Gerade im Bereich der Gebäudefreigabe können oft auch Einzelfallnachweise erst die Freigabe bestimmter Bereiche ermöglichen. Dies kann z. B. die ganzheitliche Bewertung von am Standort verbleibender Aktivität bei Fundamenten mit verdeckten Grenzflächen sein, die nach Standortentlassung im Boden verbleiben sollen. Durch die spezifischen Gegebenheiten des Standorts ist dann ggf. möglich, bei Einhaltung des $10 \mu\text{Sv/a}$ Kriteriums höhere spezifische Aktivitäten im verbleibenden Material zu belassen als es bei strikter Einhaltung der Freigabewerte der Strahlenschutzverordnung der Fall wäre.

3.10. Wie erfolgte die Freigabe von Metallen * Eigene Messungen? * Einschmelzen/Verarbeitung bei externen Dienstleistern? * Uneingeschränkte Freigabe/Freigabe zur Beseitigung oder Rezyklierung? * Massenfluss der Pfade

Metalle stellen neben den Gebäudestrukturen den größten Massestrom beim Rückbau von Kernkraftwerken dar. Die uneingeschränkte Freigabe ist oft die bevorzugte Option der Freigabe von Metallen (v. a. aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und der Schwierigkeit der Deponierung). Die Freigabeentscheidung beruht hier auf dem Nachweis der Einhaltung der massenspezifischen Freigabewerte sowie der Werte der Oberflächenkontamination. Die Strahlenschutzverordnung gibt hierbei bestimmte Mittelungsmassen und -

flächen vor. Strukturelle Details (z. B. ungeeignete Messgeometrien), können eine direkte Entscheidungsmessung besonders im Hinblick auf die Bewertung der Oberflächenkontamination jedoch schwierig oder de facto mit vertretbarem Aufwand unmöglich machen. Hier kann das Dekontaminationsschmelzen (d. h. Einschmelzen von Metallen zur Entfernung von nicht löslicher Kontamination und zur Homogenisierung des Materials vor Freigabe) bei einem externen Dienstleister eine Möglichkeit sein, die Freigabefähigkeit der Metalle zu erzielen. Eine andere mögliche Option der Freigabe ist die spezifische Freigabe zum Recycling. Hier ist das Einschmelzen unter Berücksichtigung der in der Strahlenschutzverordnung genannten Festlegungen Bedingung der Freigabe. Auch hier kann unter Umständen auf einen Nachweis der Einhaltung der Werte der Oberflächenkontamination verzichtet werden. Oft wird das Dekontaminationsschmelzen bei einem externen Dienstleister mit einer der beiden Freigabeoptionen verbunden, da es schwierig ist, einen Schmelzbetrieb zu finden, der die Festlegungen der Strahlenschutzverordnung erfüllt und bereit ist, diese Stoffe anzunehmen. Die gewählten Optionen sind hier unmittelbar für den Massenstrom der Freigabe relevant.

2.3.3.4 Block „Radiologische Charakterisierung“

Die radiologische Charakterisierung einer kerntechnischen Anlage ist ein wichtiger Schritt zur Vorbereitung des Abbaus. Hier können schon vorab Entsorgungswege für verschiedene Systeme und Anlagenteile sowie Gebäude/Bodenflächen festgelegt werden.

4.1. Wie erfolgte die Charakterisierung: * Wie viele Proben (Sondernuklidanalysen/Proben insgesamt)? * Wie wurde die Proben/Probenanzahl festgelegt? * Welche sonstigen Untersuchungen erfolgten zur radiolog. Charakterisierung (z. B. Aktivierungsrechnungen, Abbrandrechnungen)? * Zeitraum (vorlaufend/abbaubegleitend)? Gab es bei der Charakterisierung Probleme, die die Freigabe verzögerten?

Je detaillierter die radiologische Charakterisierung zu Beginn eines Abbauvorhabens durchgeführt wird, desto eher und genauer können mögliche Entsorgungswege festgelegt werden. Hierbei ist zu beachten, dass einige Proben aus technischen Gründen (z. B. fehlender Zugänglichkeit) erst abbaubegleitend genommen werden können. Aktivierungs- und Abbrandberechnungen können daher helfen, vorab Informationen über die grundlegende radiologische Situation in der Anlage, insbesondere der reaktornahen aktivierten Betonstrukturen zu erhalten. Orte, an denen eine radiologische Charakterisie-

rung erst später im Abbauvorhaben durchgeführt werden kann, sowie unzureichend charakterisierte Materialien können im Zuge des Abbaus und der Entsorgung zu Überraschungen führen und nicht eingeplante Bearbeitungsschritte oder sogar eine Änderung im Entsorgungsziel nach sich führen. Hier kann sich die Masse der freigabefähigen Materialien auch nachträglich ändern.

4.2. Wie erfolgte die Bestimmung von Nuklidvektoren/Hochrechnungsfaktoren/Korrelationsfaktoren? * anlagenweit/systemweise/aus Dekontaminationsabtrag? * konservativ/realitätsnah? Gab es Änderungen im Laufe des Rückbaus hinsichtlich ihrer Bestimmung? Gibt es verfahrensfestlegende Unterlagen wie z. B. Anweisungen oder Technische Berichte?

Nuklidvektoren und ggf. Hochrechnungsfaktoren sind eine grundlegende Voraussetzung, um radioaktive Reststoffe mit nicht nuklidspezifischen Methoden (Gesamtgammamessungen, Kontaminationsmonitore) überhaupt messen und freigeben zu können. Informationen zu schwer messbaren Radionukliden wie Alpha-Strahler können zudem nur über die radiologische Charakterisierung gewonnen werden, da die vor Ort verfügbare Messtechnik häufig nicht für den Nachweis geeignet ist. Hier kommt es darauf an, wie detailliert die radiologische Charakterisierung durchgeführt wurde – je genauer Nuklidvektoren bestimmt werden, desto höher ist im Regelfall die freigegebene Masse. Dies ist gegen den Aufwand zur Bestimmung der Nuklidvektoren abzuwägen. Die Bestimmung von Nuklidvektoren hat deshalb unmittelbaren Einfluss auf die Freigabe. Es können hierbei anlagenweite, oder auch systemweise oder raumbereichsgültige Nuklidvektoren und Hochrechnungsfaktoren gebildet werden. Hier wird in der Regel zunächst grob unterschieden, ob Aktivierung oder Kontamination vorliegt. Dann können unter Umständen vom Kontaminationspfad abhängige Nuklidvektoren und Hochrechnungsfaktoren bestimmt werden. Dies wird bei Leistungsreaktoren z. B. häufig anlagenweit für luftgetragene Kontamination durchgeführt. Die Bildung der Nuklidvektoren und Hochrechnungsfaktoren geschieht rechnerisch aus Probenanalysen. Gerade zur Bildung der Hochrechnungsfaktoren werden aufwändige Sondernuklidanalysen benötigt. Hier ist es oft auch eine wirtschaftliche Abwägung, wie viele Analysen durchgeführt werden (s. o.). Wenn man die zu charakterisierenden Bereiche/Systeme relativ groß fasst, kann man unter Umständen mit weniger Analysen auskommen. In diesen Fällen muss der Nuklidvektor die Nuklidverteilung dieser Bereiche ausreichend abdeckend beschreiben, was wiederum zu restriktiveren Freigabeentscheidungen führt. Gerade Anpassungen des

Verfahrens zur Nuklidvektorfestlegung weisen auf Optimierungen im Sinn einer besseren Durchführung der Freigabe hin, die im Sinn des Forschungsvorhabens von Interesse sind. Ebenso erweisen sich eindeutige verfahrensfestlegende Unterlagen (d. h. konkrete Vorgaben zur Nuklidvektorfestlegung im atomrechtlichen Verfahren) als wichtig im Sinn der Nachvollziehbarkeit und der Prozesssicherheit, die erst ein reibungsloses Freigabeverfahren möglich macht.

4.3. Anzahl Nuklidvektoren/Hochrechnungsfaktoren/Korrelationsfaktoren? * Kam es zu Problemen bei der konkreten Anwendbarkeit der Nuklidvektoren? * Wie wurden diese gelöst?

Je weniger Nuklidvektoren gebildet werden, desto konservativer müssen diese sein, da unterschiedliche Systeme oder Raumbereiche abgedeckt sein müssen. Unter Umständen kann so weniger Material freigegeben werden. Probleme kann es zudem geben, wenn die Nuklidvektoren so konservativ gewählt wurden, dass die erforderlichen Nachweisgrenzen messtechnisch schwierig erreicht werden können (z. B. durch sehr lange Messzeiten). Je mehr Nuklidvektoren gebildet werden, desto detaillierter können dagegen die tatsächlich vorliegenden Nuklidverhältnisse dargestellt werden. Hier ist zu erwarten, dass mehr Masse freigegeben werden kann.

Bei Leistungsreaktoren gibt es häufig eine begrenzte Zahl an zu berücksichtigenden Radionukliden (abhängig auch von Brennelementschäden). Die Verteilung der Radionuklide in den unterschiedlichen Systemen und Raumbereichen ist häufig näherungsweise vorhersehbar. Hier ist das Arbeiten mit einer geringeren Anzahl an Nuklidvektoren im Regelfall gut möglich. Bei Forschungsanlagen ist die Anzahl der zu erwartenden Radionuklide deutlich höher und unterscheidet sich teilweise stark von der „Nuklidbibliothek“ der Leistungsreaktoren. Darüber hinaus können Radionuklide „lokal“ auftreten, beispielhaft nur in dem konkreten Labor in dem damit Umgang stattfand. Deshalb können in Forschungsreaktoren gänzlich unterschiedliche Nuklide und Nuklidverhältnisse in unterschiedlichen Raumbereichen vorkommen. Hier ist es oft zwingend notwendig, eine höhere Zahl unterschiedlicher Nuklidvektoren zu bestimmen, da eine gemeinsame Charakteristik größerer Raumbereiche nicht per se gegeben ist.

4.4. Wurde eine FSD (Full System Decontamination) durchgeführt oder einzelne Teilsystemen, z. B. während einer Revision, bzw. vor der Demontage dekontaminiert?
* Wenn Ja, wann und wo? * Hat dies zu Änderungen an den Nuklidverhältnissen

oder sonstigen Randbedingungen für die Freigabe geführt? * Hat dies zu einer Erhöhung der insgesamt freigegebenen Massen geführt?

Durch eine FSD, d. h. die chemische Entfernung von aktivitätsführenden Schichten in flüssigkeitsführenden Systemen wie vor allem dem Primärkreis bei Kernkraftwerken, kann im Vorfeld des Rückbaus viel Aktivität entfernt werden (mehr Details zu diesen komplexen Verfahren finden sich in externen Quellen, siehe z. B. im Bericht GRS-492). Ggf. ist aber aufgrund der chemischen Prozesse eine Verschiebung der Nuklidverhältnisse innerhalb der betroffenen Systeme möglich. Diese veränderten Nuklidverhältnisse können dann aber nicht auf von der FSD nicht betroffene Systeme oder Raumteile übertragen werden. Hier kann ein Mehraufwand entstehen, was die radiologische Charakterisierung betrifft. Erfahrungen aus Leistungsreaktoren zeigen, dass eine sorgfältige Prozessführung bei einer FSD nötig ist, um derartige Probleme zu vermeiden. Auf der anderen Seite können nach einer FSD prinzipiell mehr Stoffe freigabefähig sein. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, dass aufgrund des deutlich geringeren Aktivitätsniveaus nach einer FSD aus Sicht des Strahlenschutzes verbesserte Möglichkeiten zur gezielten, differenzierten Demontage, Bearbeitung und der weiteren Dekontamination bestehen. Hier ist insgesamt eine Erhöhung der freigegebenen Masse zu erwarten.

4.5. Gab es Brennelementschäden? Hat dies zu Einflüssen auf die Freigabe geführt, z. B. Einflüsse auf die Nuklidverhältnisse?

Brennelementschäden führen i. d. R. zu einer erhöhten Konzentration von Spaltprodukten und Transuranen wie Sr-90, Cs-137 oder Am-241 im Primärkühlmittel und nachfolgend in der Anlage. Insbesondere schwer messbare Radionuklide mit hoher radiologischer Bedeutung wie die alphastrahlenden Transurane erfordern aufwändigere Nachweisverfahren bei der Entscheidungsmessung (z. B. durch restriktivere Nuklidvektoren bei Freimessanlagen) und/oder einen deutlich höheren Aufwand bei der radiologischen Charakterisierung (durch den hohen Aufwand für Sondernuklidanalysen). Die Betrachtung der Historie von Brennelementschäden ist deshalb wichtiger Ausgangspunkt für die radiologische Charakterisierung und kann durch die genannten Mechanismen einen deutlichen Einfluss auf die freigebbare Masse haben.

2.3.3.5 Block „Messtechnik“

Gemäß den Vorgaben der Strahlenschutzverordnung ist der Nachweis der Einhaltung der entsprechenden Freigabewerte unter Berücksichtigung der Mittelungsgrößen anhand von Messungen zu erbringen. Abweichend hiervon kann die zuständige Behörde im Einzelfall andere Festlegungen treffen. Aufgrund dessen spielt die Messtechnik im Rückbau im Hinblick auf die großen Mengen an freizugebendem Material eine wichtige Rolle.

- 5.1. Welche Messtechnik wurde für Freigabeverfahren eingesetzt, (Art und Anzahl von Messgeräten allgemein, ab wann eingesetzt)? * Voruntersuchungen * Orientierungsmessungen (soweit im Verfahren vorgesehen)? * Entscheidungsmessungen * Spezielle Messtechnik für bestimmte Reststoffe/Materialien?

Die Strahlenschutzverordnung gibt vor, dass die Strahlungsmessgeräte den Anforderungen des Messzwecks genügen müssen und in ausreichender Zahl vorhanden sein sollen. Die Anzahl der Messgeräte entscheidet zunächst über die Quantität der Messungen, die für die Freigabeentscheidung überhaupt durchgeführt werden können. Das messtechnische Verfahren richtet sich allerdings nach den Eigenschaften der Stoffe/Proben und der Empfindlichkeit des Nachweises für ein betreffendes Nuklid (Nuklidgemisch). Es kann daher sinnvoll sein sich speziell für den Rückbau zusätzliche Messtechnik anzuschaffen, vor allem um die großen Stoffmengen überhaupt in vertretbaren Zeiträumen einer Messung unterziehen zu können.

- 5.2. Wurde zu einem späteren Zeitpunkt hinsichtlich der Messtechnik (VU/OM/EM) aufgestockt? * Wenn Ja ab wann und wieviel? * Gründe für Aufstockung?

Diese Frage steht in engem Zusammenhang mit der zuvor gestellten Frage bezüglich Anzahl und der Art der Messgeräte. Wenn später aufgestockt wurde, kann es daran liegen, dass zu wenige Messgeräte vorhanden waren und man sich eine zeitliche Beschleunigung erhoffte oder weil die vorhandenen Messgeräte den Messansprüchen nicht gerecht wurden.

- 5.3. Gab es Probleme hinsichtlich der Kalibrierung/Nachweisempfindlichkeit der Messtechnik? (z. B. bei hohem Anteil von Alphastrahlern im Nuklidvektor oder zu konservativem Nuklidvektor)? * Wenn ja, wie wurden diese gelöst?

Gerade bei konservativen Nuklidvektoren im Zusammenhang mit konservativen Kalibrierungen kann es Probleme hinsichtlich der Nachweisgrenze der entsprechenden Messtechnik geben (Nachweisgrenze oberhalb oder nahe an den Freigabewerten). Hier ist es interessant, wieviel Aufwand betrieben wurde die Reststoffe dennoch freigeben zu können und ob ein Strategiewechsel bezüglich der Messtechnik/Nuklidvektorbildung/Entsorgungsziel stattgefunden hat.

5.4. Welche Messtechnik wurde eigens angeschafft, welche wurde von Fremdfirmen eingesetzt?

Im Gegensatz zu der eigenen Messtechnik steht Messtechnik sowie die entsprechenden Mitarbeiter von Fremdfirmen evtl. nicht die ganze Zeit zur Verfügung. Der Einsatz von Fremdfirmen bietet allerdings die Möglichkeit, Know-How und Technik einzusetzen, die nur für spezielle Einzelanwendungen benötigt werden. So können Reststoffe freigegeben werden, die mit der eigenen Messtechnik nicht freigemessen werden könnten.

5.5. Wurden externe (Mess)-Labore hinzugezogen? Wenn Ja wofür? Wie wurden die Labore für die Messaufgaben qualifiziert?

Es ist gängige Praxis, externe Labore für Sondernuklidanalysen hinzuzuziehen, da die eigenen Labore darauf nicht ausgerichtet sind. Ist dies nicht geschehen, deutet das darauf hin, dass solche Messungen auch im eigenen Labor zur Verfügung standen. Die vereinfachte Möglichkeit von Sondernuklidanalysen im eigenen Labor verbessert oft die Genauigkeit der radiologischen Charakterisierung da mehr Analysen möglich sind. Bei sehr guter und kleinteiliger radiologischer Charakterisierung der Stoffe ist eine Freigabe differenzierter möglich (s. o.). Bei einem hohen Aufkommen von Proben für die Gamma-spektrometrie kann ein extern genutztes Labor die zeitlichen Abläufe beschleunigen.

5.6. Wie wurde die Messtechnik kalibriert? (konservativ/abdeckend/realistisch)

Es gibt grundlegend zwei verschiedene Ansätze, die Messgeräte im Freigabeverfahren zu kalibrieren. Bei der konservativen/abdeckenden Variante kann eine Kalibrierung für unterschiedliche Reststoffe verwendet werden. Dadurch ist der Aufwand bei Erstellung und evtl. behördlicher Zustimmung unterschiedlicher Kalibrierungen geringer. Ebenfalls führt dies zu einer geringeren Fehleranfälligkeit bei der Anwendung durch die Mitarbeiter. Durch die Konservativität der Kalibrierung wird die tatsächliche Aktivität des Mess-

guts aber überschätzt, so dass hier weniger Masse freigegeben werden kann. Realistische Kalibrierungen können zu höheren freigegebenen Massen führen. Allerdings ist der Aufwand für die Erstellung substanziell größer, da viele verschiedene Kalibrierungen für spezielle Fälle erstellt werden müssen. Ebenso ist die Prüfung der Anwendbarkeit unter Umständen aufwändiger und die mögliche Fehlerquote bei der Auswahl der passenden Kalibrierung höher. Insofern kann die Auswahl der Strategie für die Kalibrierung einen deutlichen Einfluss auf die freigegebene Masse haben.

5.7. Wurde ein Hintergrundabzug für natürliche Radionuklide durchgeführt? Wie wurde der Hintergrund in diesem Fall bestimmt?

Gemäß Strahlenschutzverordnung sind nur diejenigen Radionuklide bei der Einhaltung der Freigabewerte zu berücksichtigen, die aus dem Betrieb der Anlage stammen und nicht natürlichen Ursprungs sind. Da es viele Reststoffe gibt, die bereits von vornherein mit natürlich vorkommenden Radionukliden belastet sind, kann unter Umständen mehr Masse freigegeben werden, wenn diese natürlichen Radionuklide bei der Messung abgezogen werden (z. B. bei Gesamtgamma-Messungen von Bauschutt). Schwierig ist hier oft die Bestimmung des zulässigen Abzugs natürlicher Radionuklide, v. a. aufgrund von Schwankungen deren Konzentration in verschiedenen Stoffen (z. B. bei verschiedenen Betonarten aufgrund der unterschiedlichen Menge oder auch Herkunft der Zuschlagstoffe wie Kies).

2.3.3.6 Block „Dekontaminationstechniken“

Die Dekontamination radioaktiver Reststoffe ist ein wichtiges Hilfsmittel, um Kontamination zu entfernen oder abzutragen. Damit können viele Stoffe der Freigabe zugänglich gemacht werden.

6.1. Welche Dekontaminationstechniken wurden eingesetzt und wofür (z. B. Abrasivstrahlen, Säurebäder o. Ä., Schmelzen von Metallen etc.)?

Die Varianz an unterschiedlichen Dekontaminationstechniken erlaubt es verschiedene anfallende Materialien zu dekontaminieren. Je mehr verschiedene Dekontaminationstechniken zur Verfügung stehen, desto mehr Materialien können unter Umständen auch dekontaminiert werden. Ein großer Aufwand kann die Erprobung der unterschiedlichen Verfahren darstellen. Hier spielt auch die Kosten-Nutzen-Kalkulation eine bedeutende Rolle.

Zu den häufig verwendeten Dekontaminationstechniken zählen der Oberflächenabtrag von Metall und Beton durch Abrasivstrahlen (z. B. Strahlboxen, Muldenbandstrahlanlagen) oder abtragende Verfahren (z. B. Fräsen). Die Dekontamination kann ebenso nass in einem Ultraschallbad, einer Waschanlage oder manuell (Abwischen) erfolgen. Ebenso kann bei Metallen die Dekontamination über Schmelzprozesse erfolgen. Dabei können Metalle mit niedrigen Schmelzpunkten (v. a. Blei) vor Ort dekontaminiert werden, Metalle mit höheren Schmelzpunkten (z. B. Stahl und Aluminium) werden meist extern dekontaminiert. Zudem können auch Trocknungsanlagen sowie spezielle Pressen (z. B. für KMF oder Sägeschlämme) für die Aufarbeitung verschiedener Stoffe zur Entsorgung notwendig sein.

6.2. Welche/wie viele Geräte wurden zur Dekontamination eingesetzt (z. B. Muldenbandstrahlanlage, Sandstrahlbox)? * Ab welchem Zeitpunkt wurden die Geräte eingesetzt? * Gab es Änderungen im Verlauf des Rückbaus?

Auch hier kann es eine Korrelation zwischen der Anzahl der Dekontaminationseinrichtungen und der dekontaminierten Stoffmenge geben. Je mehr Dekontaminationseinrichtungen zur Verfügung standen, desto eher wurde die Dekontamination unter Umständen auch eingesetzt und der Versuch einer Dekontamination unternommen, um die Masse an freigebbaren Material zu erhöhen.

6.3. Welche Stoffe/Stoffmengen wurden dekontaminiert? (insgesamt, wenn möglich zeitlich aufgeschlüsselt)

In diesem Zusammenhang ist von Interesse, ob es eine Korrelation der dekontaminierten Stoffmengen und der tatsächlich freigegebenen Stoffmengen gibt.

6.4. Bis zu welchem Aktivitätsniveau erfolgte die Dekontamination und wie wurde der Dekontaminationserfolg überprüft?

Bei der Dekontamination kann mit zwei unterschiedlichen Herangehensweisen vorgegangen werden. Die Kontamination kann bis zu einem festgelegten Kontaminationsniveau durchgeführt werden. Dann muss der Erfolg dieser Dekontamination in Abständen überprüft werden. Es kann aber auch von vornherein eine Masse oder Schichtdicke festgelegt werden, die abgetragen wird. Hier wird eventuell mehr Material als nötig entfernt, aber es entfallen die zwischenzeitlichen Prüfungen der Kontamination und es muss nur

am Ende der Erfolg der Dekontaminationsmaßnahme kontrolliert und dokumentiert werden.

- 6.5. Inwieweit konnten standardisierte Dekontaminationsverfahren eingesetzt werden, die ggf. den Aufwand zum Nachweis des Dekontaminationserfolgs reduzierten? Wie wurden diese Verfahren qualifiziert?

Bei standardisierten Dekontaminationsverfahren kann aus Erfahrung heraus der Erfolg der Dekontaminationsmethode für eine Materialart abgeschätzt werden. Hier werden z. B. abzutragende Schichtdicken oder Strahlzeiten festgelegt. Dadurch kann der Nachweis des Kontaminationserfolges vereinfacht werden.

- 6.6. Welche Maßnahmen wurden hinsichtlich einer möglichen Nuklidvektorverschiebung getroffen? (z. B. Überwachung des Strahlguts etc., pauschale Verfahrensqualifizierung)

Eine mögliche Nuklidvektorverschiebung durch die Kontaminationsmaßnahme soll in der Regel möglichst verhindert werden oder vorhersagbar sein, um für die später durchzuführende Entscheidungsmessung weiterhin Kredit von der radiologischen Charakterisierung nehmen zu können. Besonders bei chemischen Dekontaminationsmaßnahmen (Säurebäder o. Ä., Einschmelzen von Metallen) ist mit einer Nuklidverschiebung zu rechnen. Beim Einschmelzen von Metallen kann durch sogenannte Partitionierungsfaktoren die Nuklidverschiebung gut vorhergesagt werden. Bei abrasiven Dekontaminationstechniken ist keine starke Nuklid-Vektorverschiebung zu erwarten. In der Praxis hat es sich bewährt bei Strahlanlagen (Muldenbandstrahlanlage) die Kontamination des Strahlgutes zu überwachen und dies bei zu hoher Kontamination auszutauschen.

- 6.7 Gab es besonders positive oder negative Erfahrungen mit eingesetzten Dekontaminationstechniken?

Hier ist es für eine Prognose der potenziell freigabefähigen zukünftig zu dekontaminierender Stoffe interessant, welche Dekontaminationsmethoden besonders erfolgreich waren, und bei welchen vielleicht kein Dekontaminationserfolg erzielt werden konnte. Es ist beispielhaft nicht ausgeschlossen, dass radioaktive Partikel mechanisch in den eigentlich zu dekontaminierenden Stoff hereingedrückt werden können und so der Dekontaminationserfolg in Frage gestellt ist. Hier wären Erfahrungen im Hinblick auf die Anwendung von Dekontaminationsverfahren wichtig.

2.3.4 Fragenkatalog zum Forschungsstandort Rossendorf mit Erläuterungen

Der an VKTA gerichtete Fragenkatalog unterscheidet sich nur in wenigen Punkten zu jenem Katalog, der an die Betreiber der Leistungsreaktoren gesendet wurde.

1. ALLGEMEIN												
		Einfluss auf Massenstrom der Freigabe nach eigener Einschätzung (1 gar nicht 2 wenig 3 mäßig 4 hoch 5 sehr hoch)										
1.1.	Wann wurde die Genehmigung (Stilllegung und Abbau) erteilt? Gab es darin Auflagen/Anforderungen im Hinblick auf die Freigabe?	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	<input type="checkbox"/>				
1	2	3	4	5								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.2.	Gab es Probleme mit der Berücksichtigung der Änderungen von Regelwerken (z. B. DIN ISO 11929 etc.) oder Gesetzgebung (neue StrlSchV) hinsichtlich des Freigabeverfahrens? - Zeitangabe für eventuelle Verzögerungen - Lösungsansätze	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.3.	Wurden spezifisch für den Rückbau neue Freigabebescheide zu neuen oder geänderten Freigabeverfahren erwirkt? - wenn ja welche, zu welchem Zeitpunkt und mit welchem Gegenstand, z. B. welcher Anlage/Bereich, bzw. welchen (speziellen) Materialien oder Materialströmen?	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.4.	Wurde bei der Erwirkung von Freigabebescheiden für bestimmte Materialströme Optimierungsbedarf festgestellt, im Sinne, dass noch nicht anwendbare Freigabepfade den Abbaufortschritt verzögern?	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.5.	Gab es ein Verfahren zur Herausgabe? - Wenn ja, welche Reststoffe und welche Massen wurden herausgegeben? - Wie groß war/ist der Anteil an der gesamten freigegebenen Materialmenge?	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.6.	Wie war/ist das Aufsichtsverfahren im Hinblick auf die Freigabe geregelt? - Welche Haltepunkte für behördliche Entscheidungen oder Überprüfungen wurden definiert? - In welcher Art und Weise war ggf. Testate eines Sachverständigen bzw. die Einbeziehung eines unabhängigen Messlabors erforderlich?	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
1.7.	Gestaltung des Freigabeverfahrens:	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								

	<ul style="list-style-type: none"> - Gibt es ein generelles abgestimmtes Freigabeverfahren, welches eine grundsätzliche Verfahrensbeschreibung enthält? - Welche Schritte waren im Freigabeverfahren zwingend durchzuführen (wie z. B. Voruntersuchung, Orientierungsmessung, Entscheidungsmessung)? - Welcher dieser Schritte erfolgten in ausschließlich eigener Verantwortung und welche mit aufsichtlicher Begleitung? 	
--	---	--

Abb. 2.35 Block „Allgemein“ des an VKTA gerichteten Fragenkatalogs. Im Vergleich zum Fragenkatalog an die Betreiber von Leistungsreaktoren sind zwei Fragen gelöscht worden, die hier nichtzutreffend gewesen wären (Pos. 1.1 und 1.3 wurden ergänzt/angepasst).

2. PROZESSE

Pos.	Frage	Einfluss auf Massenstrom der Freigabe nach eigener Ein-
2.1.	<p>Welche Prozesse, vor allem in der Freigabe, wurden standardisiert und in welcher Form?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Standardpläne - Prozess- oder Ausführungs-/Arbeitsanweisungen - Änderungen im Verlauf des Rückbaus 	<p>1 2 3 4 5</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
2.2.	<p>Interner Erfahrungsrückfluss / Kommunikation im Freigabeverfahren</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition von Kommunikationsprozessen unter den Beteiligten und der Öffentlichkeit? 	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
2.3.	<p>Erfolgte ein Mehrschichtbetrieb?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wenn ja, ab wann und mit wieviel Personal? - welche Bereiche? 	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
2.4.	<p>Wie wurde die Entsorgungslogistik im Hinblick auf die Freigabe gestaltet?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grundlegende Strategie (wie wurde die Entsorgung und einzelne Entsorgungspfade gestaltet und abgestimmt, um Reststoffabfluss sicherzustellen)? - Gab es aus logistischen Gründen Einschränkungen bei der Freigabe/Reduzierung der freigegebenen Materialstoffmengen (z. B. Vorhandensein und Aufnahmekapazität von Deponien, Schmelz- oder Verbrennungsanlagen)? - In welchem Maße erfolgte eine Information und Beteiligung der Öffentlichkeit und welche Fragen und Probleme wurden dadurch aufgeworfen, die geklärt oder auch nicht geklärt werden konnten und damit die Nutzung von bestimmten Entsorgungswegen einschränkte bzw. verhinderte? (Siehe auch Pos. 2.2) - Ist eine Abklinglagerung von gemessenen Chargen mit einer späteren Nachmessung vorgesehen? 	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
2.5.	<p>Für welche Materialien/Vorhaben wurden Einzelfallnachweise geführt?</p>	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
2.5a.	<p>Wurden und wenn ja, welche Einzelfallnachweise wurden für bestimmte Materialien bzw. Materialgruppen geführt?</p>	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>

	<ul style="list-style-type: none"> - Führt dies zu einer (deutlichen) Erhöhung der freigegebenen Materialmenge (und Reduzierung der Menge radioaktiven Abfalls)? - Kann der erhöhte Abstimmungs- und Nachweisaufwand als gerechtfertigt und angemessen eingeschätzt werden? - Führt dies zu (signifikanten) Verlängerungen im Ablauf des Freigabeverfahrens? 	
--	---	--

Abb. 2.36 Block „Prozesse“ des an VKTA gerichteten Fragenkatalogs. Im Vergleich zum Fragenkatalog an die Betreiber von Leistungsreaktoren wurden zwei Fragen hinzugefügt (Pos 2.5 und 2.5a).

3. RÜCKBAUTECHNIKEN / STRATEGIEN

Pos.	Frage	Einfluss auf Massenstrom der Freigabe nach eigener Einschätzung
3.1.	<p>In wie viele und welche Phasen wurde der Rückbau eingeteilt?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inwiefern unterschieden sich diese Phasen in Bezug auf die Möglichkeit bzw. der Notwendigkeit der Nutzung von Freigaben? - Konnten die Freigabe von Materialien von Beginn des Rückbaus an genutzt werden, um z. B. einen kontinuierlichen Prozess der Freigaben zu organisieren? 	<p>1 2 3 4 5</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
3.2.	<p>Wie wurde die Rückbauabfolge strategisch geplant und realisiert (z. B. aktivierte und/oder höher kontaminierte Komponenten zuerst oder zuletzt)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Welchen Einfluss hatten diese Entscheidungen auf den Massenstrom zur Freigabe? - Konnte ein möglichst gleichmäßiger Massenstrom der Freigabe durch die Gestaltung der Rückbauabfolge erreicht werden oder waren die Fragen der Freigabe in diesem Zusammenhang von untergeordneter Bedeutung? (Siehe auch Pos. 3.3) 	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
3.3.	<p>Wurden bei der Planung des Rückbaus explizit Aspekte der Freigabe berücksichtigt, die in die Abbaustrategie oder -reihenfolge eingeflossen sind?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wenn ja, welche? - Hat sich dies in der Praxis bewährt? 	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
3.4.	<p>Musste die Infrastruktur für den Rückbau zunächst geschaffen/verändert werden?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wenn ja, was wurde vorgenommen und wann/wie lange dauerten diese Arbeiten? (z. B. Einrichten Zerlegebereiche, Transportwege, Stau-/Puffer-/Stellflächen, Beschaffung/Anpassung von Hebezeugen) - Welche Dekontaminationsanlagen wurden ertüchtigt oder neu geschaffen? - Welche Freimesstechnik wurde angeschafft und welche räumlichen (Gebäude) Anpassungen waren dazu notwendig? 	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
3.5.	<p>Welche Zerlegeverfahren wurden angewandt?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hatten diese Einfluss auf die Freigabe? 	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>

3.6.	<p>Gab es Probleme, die die geplanten Freigabestrategien hinfällig machten (z. B. aufgrund der Gebäudestatik bei der Gebäudefreigabe)?</p> <p>- Wenn ja, welche, wie wurden diese Probleme gelöst?</p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.7.	<p>Wie wurden Betonstrukturteile freigegeben?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Als Blöcke oder als Schüttgut (nach einer ggf. notwendigen Zerkleinerung unter Kontrollbereichsbedingungen)? - Wo wurden diese gemessen (in Einbaulage, ortsnah oder im Überwachungsbereich in einem speziellen „Freimessbereich“)? (Siehe auch Pos. 3.4) - Wurden Anforderungen zur Materialseparation gestellt, z. B. zur Abtrennung von metallischen Bestandteilen, wie z. B. der Armierung (sofern vorhanden)? 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.8.	<p>Wie erfolgte oder wie ist die Gebäudefreigabe vorgesehen?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Waren hier Einzelfallnachweise erforderlich, um z. B. radiologisch bzw. messtechnisch schwer bzw. überhaupt nicht möglich zu erfassende Bereiche einer Freigabe zuzuführen? 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3.9.	<p>Wie erfolgte die Freigabe von Metallen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausschließlich über eigene Messungen? - Vorbehandlung, Einschmelzen/Verarbeitung bei externen (nationalen/internationalen) Dienstleistern (unter „normalen“ oder kontrollierten Bedingungen)? - Uneingeschränkte Freigabe/spezifische Freigabe zur Beseitigung (Deponierung) oder Rezyklierung? - Welche Bedeutung bzw. welche Anteile haben bestimmte Entsorgungspfade auf den Massenfluss? 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Abb. 2.37 Block „Rückbautechniken/Strategien“ des an VKTA gerichteten Fragenkatalogs. Im Vergleich zum Fragenkatalog an die Betreiber von Leistungsreaktoren wurden ähnliche Fragen gestellt, jedoch weiter präzisiert (siehe Unterstriche bei den Fragen)

4. RADIOLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG

Pos.	Frage	Einfluss auf Massenstrom der Freigabe nach eigener Einschätzung
4.1.	<p>Wie erfolgte die Charakterisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wie viele Proben (Sondernuklidanalysen/ Proben insgesamt) je Massenstrom? - Wie wurde die Proben/Probenanzahl festgelegt? Richtet sich diese Anzahl nach der Gesamtmenge des jeweiligen Massenstroms (z. B. Festlegung pro Mengeneinheit)? - Welche sonstigen Untersuchungen erfolgten zur Vorbereitung der messtechnischen radiologischen Charakterisierung (z. B. Aktivierungsrechnungen, Abbrandrechnungen)? - Zeitraum (vorlaufend/abbaubegleitend)? Gab es bei der Charakterisierung Probleme, die die Freigabe verzögerten? 	<p>1 2 3 4 5</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
4.2.	<p>Wie erfolgte die Bestimmung von Nuklidvektoren/Hochrechnungsfaktoren/Korrelationsfaktoren?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wie erfolgt die Festlegung der Verfahrensweise zur Berücksichtigung von bestimmten Radionukliden auch z. B. unter Berücksichtigung der für die Entscheidungsmessungen verwendeten Messmethoden (z. B. Gesamt-Gamma, spektrometrisch)? - anlagenweit/systemweise/ aus Dekontaminationsabtrag? - konservativ/realitätsnah? - Gab es Änderungen im Laufe des Rückbaus hinsichtlich ihrer Bestimmung und Anwendung? - Gibt es verfahrensfestlegende Unterlagen wie z. B. Anweisungen oder Technische Berichte? 	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
4.3.	<p>Anzahl Nuklidvektoren/Hochrechnungsfaktoren/Korrelationsfaktoren?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kam es zu Problemen bei der konkreten Anwendbarkeit der Nuklidvektoren? - Wie wurden diese gelöst? - Wurden (signifikante) Abweichungen bzw. Radionuklide später identifiziert, die nicht im angenommenen Nuklidvektor berücksichtigt wurden? 	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
4.4.	<p>Inwiefern haben die Ergebnisse der radiologischen Charakterisierung die Rückbaureihenfolge beeinflusst?</p>	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>

4.5.	Gab es Radionuklide bzw. deren Anteile am angenommenen Nuklidvektor, die die angestrebte Freigabestrategie und/oder den messtechnischen Nachweis der Einhaltung der Freigabegrenzwerte erschwerten? Wenn ja, welche und inwiefern? Welche Lösungsansätze wurden getroffen?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4.6	Hatte die Rückbaureihenfolge einen (signifikanten) Einfluss auf die Möglichkeit der radiologischen Charakterisierung, z. B. für die Probenahme? (Siehe auch Pos. 3.8)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Abb. 2.38 Block „Radiologische Charakterisierung“ des an VKTA gerichteten Fragenkatalogs. Im Vergleich zum Fragenkatalog an die Betreiber von Leistungsreaktoren wurde Pos 4.4 (bzgl. FSD) und Pos 4.5 (Brennelementschäden) gelöscht. Die Pos. 4.4, 4.5 und 4.6 sind neu im Fragenkatalog an VKTA.

5. MESSTECHNIK

Pos.	Frage	Einfluss auf Massenstrom der Freigabe nach eigener Einschätzung (1 gar nicht 2 wenig 3 mäßig 4 hoch 5 sehr hoch)
5.1.	<p>Welche Messtechnik wurde für Freigabeverfahren eingesetzt, (Art und Anzahl von Messgeräten allgemein, ab wann eingesetzt)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Voruntersuchungen - Orientierungsmessungen (soweit im Verfahren vorgesehen)? - Entscheidungsmessungen - Spezielle Messtechnik für bestimmte Reststoffe/Materialien? - Wurden Anforderungen an eine verbindliche Durchführung von (gamma-) spektrometrischen Entscheidungsmessungen definiert, z. B. zur (teilweisen) Überprüfung/Bestätigung des angenommenen Nuklidvektors? - Welche Kombinationen von verschiedenen Messtechniken, z. B. spektrometrische mit Gesamt-Alpha/Gamma-Messungen wurden typischerweise verwendet? 	<p style="text-align: center;">1 2 3 4 5</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
5.2.	<p>Wurde zu einem späteren Zeitpunkt hinsichtlich der Messtechnik (VU/ OM/EM) aufgestockt?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wenn Ja ab wann und wieviel? - Gründe für Aufstockung? 	<p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
5.3.	<p>Gab es Probleme hinsichtlich der verwendeten Kalibrierung/ Nachweisempfindlichkeit der Messtechnik?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Z. B. bei einem hohen Anteil von Alphastrahlern im Nuklidvektor im Vergleich zu gut messbaren Radionukliden oder einem zu konservativem Nuklidvektor)? - Wenn ja, wie wurden diese gelöst? - Welche Mittelungsflächen und -massen wurden angewendet? Welchen Einfluss hatte die Chargengröße auf die Qualität des messtechnischen Nachweises und auch auf den möglichen Durchsatz bei den Entscheidungsmessungen? 	<p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
5.4.	<p>Welche Messtechnik wurde eigens angeschafft, welche wurde von Fremdfirmen eingesetzt? Wie wird diese Messtechnik für Freigabemessungen qualifiziert?</p>	<p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
5.5.	<p>Wurden externe (Mess)-Labore hinzugezogen? Wenn Ja wofür? Wie wurden die Labore für die Messaufgaben qualifiziert (zertifiziert)?</p>	<p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>

5.6.	Wie wurde die Messtechnik kalibriert? (konservativ/abdeckend/realistisch) (Siehe Pos. 5.3)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.7.	<p>Wurde ein Hintergrundabzug für natürliche (Uran, Thorium, K-40), nicht aus der überwachungspflichtigen Tätigkeit stammende, Radionuklide durchgeführt? Wurde ein Abzug von Cs-137 vom Fallout der Kernwaffentests und des Unfalls im KKW Tschernobyl vorgenommen?</p> <p>Wie wurde der mögliche Abzugsbetrag für den Hintergrund in diesem Fall bestimmt?</p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Abb. 2.39 Block „Messtechnik“ des an VKTA gerichteten Fragenkatalogs. Im Vergleich zum Fragenkatalog an die Betreiber von Leistungsreaktoren wurde keine neuen Fragen gestellt, allerdings wurden die bestehenden Fragen präzisiert (siehe Unterstriche).

6. DEKONTAMINATIONSTECHNIKEN

Pos.	Frage	Einfluss auf Massenstrom der Freigabe nach eigener Einschätzung
6.1.	Welche Dekontaminationstechniken wurden eingesetzt und wofür (z. B. Abrasivstrahlen, Säurebäder o. Ä., Schmelzen von Metallen etc.)?	1 2 3 4 5 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.2.	Welche/wie viele Geräte wurden zur Dekontamination eingesetzt (z. B. Muldenbandstrahlanlage, Sandstrahlbox)? - Ab welchem Zeitpunkt wurden die Geräte eingesetzt? - Gab es Änderungen im Verlauf des Rückbaus?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.3.	Welche Materialien/Materialmengen wurden dekontaminiert? (insgesamt, wenn möglich zeitlich aufgeschlüsselt)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.4.	Bis zu welchem Aktivitätsniveau erfolgte die Dekontamination und wie wurde der Dekontaminationserfolg überprüft? Wurden verschiedene Verfahren eingesetzt und hinsichtlich ihrer Effizienz, ihres zeitlichen und finanziellen Aufwandes verglichen?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.5.	Inwieweit konnten standardisierte Dekontaminationsverfahren eingesetzt werden, die ggf. den Aufwand zum Nachweis des Dekontaminationserfolgs reduzierten? Wie wurden diese Verfahren qualifiziert?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.6.	Welche Maßnahmen wurden hinsichtlich einer möglichen Nuklidvektorverschiebung (z. B. bei „selektiven“ Dekontaminationsverfahren wie chemische oder elektrolytische) getroffen? - Z. B. Überwachung des Strahlguts, des Dekontaminationsmittels etc., pauschale Verfahrensqualifizierung) - Wurde Anforderungen formuliert, die eine Bestimmung des Nuklidvektors nach der Dekontamination erfordern? - Wurde eine Abschätzung eines möglichen Fehlers bei der Aktivitätsbestimmung mit einem „fehlerhaften“ Nuklidgemisch vorgenommen?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.7.	Gab es besonders positive oder negative Erfahrungen mit eingesetzten Dekontaminationstechniken?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Abb. 2.40 Block „Dekontaminationstechniken“ des an VKTA gerichteten Fragenkatalogs. Im Vergleich zum Fragenkatalog an die Betreiber von Leistungsreaktoren wurde keine neuen Fragen gestellt, allerdings wurden die bestehenden Fragen teilweise präzisiert (siehe Unterstriche).

2.3.5 KKW Greifswald

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Besprechung am KGR vom 24.09.2020 zusammengefasst. In diesem Zusammenhang wird der Mitschrieb von Mitarbeitern von TÜV NORD und GRS berücksichtigt. Weiterhin werden noch Ergebnisse einer Literaturrecherche miteinbezogen (gekennzeichnet durch Angabe von Literaturquellen). Die Gliederung der folgenden Kapitel lehnt sich dabei an jene des Fragenkatalogs (siehe Abschnitt 2.3.3) an. Die entsprechenden Positionen im Fragenkatalog sind der Übersicht halber in Klammern angegeben (in der Form „Pos. x.x“).

2.3.5.1 Allgemein

Die vier DWR-Blöcke des KGR des Typs WWER-440/W-230 wurden in den Jahren 1973 (Block 1), 1974 (Block 2), 1977 (Block 3) und 1989 (Block 4) in Betrieb genommen. Nach festgestellten Defiziten der sicherheitstechnischen Ausrüstung im Zuge einer Sicherheitsanalyse der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH im Auftrag der Aufsichtsbehörde der DDR, des Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz (SAAS) wurden die Blöcke 1 bis 4 im Jahr 1990 außer Betrieb genommen. Die weiteren vier DWR-Blöcke des KGR des Typs WWER-440/W-213 (Blöcke 5 bis 8) wurden nicht in Betrieb genommen. Der Beschluss zur Stilllegung wurde im Jahr 1991 gefasst. Die Blöcke 6 bis 8 befanden sich zu diesem Zeitpunkt noch im Bau (Pos. 1.1). Die Entscheidung, alle Blöcke endgültig abzuschalten bzw. die weitere Inbetriebsetzung abzubrechen, fiel hauptsächlich auf der Basis wirtschaftlicher Überlegungen, da für den Weiterbetrieb nach bundesdeutschem Atomrecht umfangreiche Nachrüstmaßnahmen notwendig geworden wären /THI 09/.

Die Nachbetriebsphase des KGR auf Basis der am 30. Juni 1995 auslaufenden Betriebsgenehmigung (Bestandsschutz) begann mit der endgültigen Abschaltung des Blockes 1 im Dezember 1990 und endete am 30. Juni 1995 mit dem Inkrafttreten der ersten Stilllegungs- und Abbaugenehmigung (Pos. 1.1).

Die Genehmigung beinhaltet die Stilllegung der Blöcke 1 bis 6, den Abbau von Anlagenteilen dieser Blöcke sowie wesentliche Rahmenbedingungen, auf welche sich die nachfolgenden Genehmigungsanträge zum Abbau von Anlagen und Anlagenteilen beziehen. Die Anträge beziehen sich unter anderem auf den Betrieb von Systemen und Komponenten zur Gewährleistung der nuklearen Sicherheit und Aufrechterhaltung des redu-

zierten Nachbetriebes bzw. Restbetriebes, den Einsatz von Mobil- und Laborstrahlungsmessgeräte sowie der Freimessanlage und der Fassmessanlage, die Anwendung der Dekontaminationsverfahren, die Anwendung des Verfahrens für die Freigabe von Reststoffen, Gebäuden und Betriebsgelände und die Freigabegrenzwerte zur Freigabe von Metallen, Schrott, Bauschutt, Reststoffen und von Gebäuden zum Abriss (*Pos 1.2*).

Nach /THI 09/ mussten bei der Erarbeitung des Stilllegungs- und Abbaukonzepts des Kernkraftwerks Greifswald einige Besonderheiten berücksichtigt werden. Ausschlaggebend für die Entscheidung zum direkten Abbau waren die technische und rechtliche Durchführbarkeit, der Erhalt möglichst vieler Arbeitsplätze und der Anlagenkenntnis sowie die Vermeidung umfangreicher Nachrüstungen für einen sicheren Einschluss. Zudem musste beachtet werden, dass sich zu Beginn der Stilllegung noch abgebrannte Brennelemente sowie erhebliche Mengen an radioaktiven Betriebsabfällen in der Anlage befanden, deren vollständige Entsorgung mit den Ausrüstungen der Betriebszeit nicht möglich war. Eine weitere Besonderheit beim Rückbau der Anlage sind die konstruktionsbedingt ungewöhnlich großen anfallenden Reststoffmassen (meist Beton).

Im Folgenden werden einige wichtige Genehmigungen im Zusammenhang mit der Freigabe genannt /GRS 19a/:

1995: G01: Anwendung des Verfahrens für die Freigabe von Reststoffen, Gebäuden und Betriebsgelände. **Festlegung der Freigabegrenzwerte.**

2004: 28. Änderungsgenehmigung zur Genehmigung vom 30.06.1995 (G01) zur Stilllegung der Gesamtanlage und zum Abbau von Anlagenteilen des Kernkraftwerkes Lubmin/Greifswald:

Änderung des bisherigen Verfahrens für die Freigabe von aus KGR und KKR stammenden radioaktiven Reststoffen als nichtradioaktive Stoffe ab einem im Aufsichtsverfahren noch festzulegenden Zeitpunkt:

- Neuordnung der Entsorgungsklassen.
- Freigabe von Stoffen gemäß § 29 Absatz 2 Satz 2 Nummern 1a , 2a und 2d StrlSchV (alt) /SSV 01/ nach der Freimessung in einer Freimessanlage ohne Berücksichtigung der Oberflächenkontaminationswerte.
- Aufhebung früherer Werte, Grenzwerte und Festlegungen. Aufhebung und Modifikation früherer Auflagen.

- Bis zur behördlichen Festlegung des Zeitpunktes der Anwendung des § 29 StrlSchV (alt) /SSV 01/ bleiben die bestehenden Regelungen in Kraft.
- Freimessung und Freigabe:
 - Übernahme von radioaktiven Reststoffen aus Fremdanlagen und anderen Einrichtungen nach der Konditionierung/Behandlung im Zwischenlager Nord (ZLN) oder in der Zentralen Aktiven Werkstatt (ZAW) in den Geltungsbereich der Stilllegungsgenehmigung G01 zur nachfolgenden Freimessung und Freigabe.
 - Freimessung und Freigabe am Standort Lubmin/Rubenow in bzw. mit den in G01 einschließlich Nachtragsgenehmigungen genehmigten Freimessanlagen, Freimessbereichen und Freigaberegungen.

Nr. 86: Antrag zur „Einführung des Entsorgungspfades 5B für die Freigabe von Gebäuden zum Abriss nach Ablauf einer Verwahrzeit“ Beantragt 09/10.

Nr. 93: Antrag auf eine Änderungsgenehmigung der Stilllegungsgenehmigung: Erweiterung des Freigabeverfahrens um Freigabe von festen Stoffen zur Deponierung und Verbrennung ohne Berücksichtigung der Oberflächenaktivität.

Diese Entsorgungspfade waren bei der Umstellung des Freigabeverfahrens im Rahmen der Anpassung an die 2011 geänderte Strahlenschutzverordnung aufgrund fehlender Unterlagen nicht mit angepasst worden.

Bei der Besprechung am 24.09.2020 wurde festgestellt, dass aufgrund der Größe der Anlage mit mehreren Blöcken stets ausreichend Abbaubedarf zu bedienen war. Genehmigungsbedingte Verzögerungen im Massenfluss waren nicht zu verzeichnen (*Pos. 1.2, 1.3*).

Hervorgerufen durch den Wechsel gesetzlicher Vorgaben und/oder geänderte betriebliche Regelungen wurden für einige freizugebene Stoffe, deren Freigabe nicht zeitnah erwirkt wurde, Nachbewertungen und Nacharbeiten erforderlich (z. B. zusätzliche Umverpackungen) (*Pos. 1.4*).

Hinsichtlich der Regelung des Aufsichtsverfahrens bezüglich der Freigabe wurde festgestellt, dass die wahrzunehmenden Prüfaufgaben durch den Sachverständigen zeitbestimmend sein können. (*Pos. 1.8*).

Die Freigabe ist über die Abbaugenehmigung des KGR geregelt und im 1. Genehmigungsschritt enthalten. Für die Erweiterung oder Aktualisierung von Freigaberegulungen sind Änderungsanträge erforderlich. Diese werden unabhängig von den Genehmigungsanträgen zur Erweiterung des Abbauumfangs abgewickelt. In der Praxis ähnelt diese Konstellation einer Situation mit eigenständigen Freigabebescheiden. Bis zum Vorliegen der 1. Abbaugenehmigung wurden abbaugerichtete Maßnahmen durchgeführt und die Freigabe in Einzelvorgängen abgewickelt, wobei auch das Verfahren erprobt wurde. Mit Inkrafttreten der 1. Abbaugenehmigung stand damit ein anwendbares Freigabeverfahren zur Verfügung. Ein Verzug oder gar ein Halt im freizugebenden Massenstrom mit Übergang in die Stilllegung trat aufgrund dieser Konstellation nicht auf (*Pos. 1.3, 1.5*).

Die verfahrensinterne Bezeichnung der Freigabepfade wurde jeweils nach Wechseln des Regelwerks (Novellierung StrlSchV) mehrfach geändert. Vor dem Zusammenstellen oder dem Vergleich von Abgabemassen unterschiedlicher Jahre sind daher die Bedeutungen dieser internen Bezeichnungen miteinander abzugleichen (*Pos 1.4*).

Die Herausgabe ist geregelt und wird als etabliertes Verfahren seit 1995 umfangreich für Stoffe aus dem Überwachungsbereich und dem Betriebsgelände außerhalb von Strahlenschutzbereichen genutzt. Das Herausgabeverfahren besitzt mehrere Abstufungen mit unterschiedlichen Anforderungen, je nach der Herkunft der betreffenden Stoffe (*Pos. 1.7*).

Die Stoffströme bei der Freigabe werden über Freimesskampagnen (Demontageprojekte) mit Chargen (stoffabhängig) und Teilchargen und strukturiert. Es gibt einen stoffstromunabhängigen allgemeinen Standardfreimessplan. Im Fall der Gebäudefreigabe und der Freigabe von Bodenflächen existiert ein separates Verfahren. Freimesskampagnen sind vor der Nutzung durch die Aufsichtsbehörde zu bestätigen. Die Voruntersuchungen wurden in der Regel 1995 im Rahmen der allgemeinen radiologischen Bewertung der Anlage durchgeführt. Die Entscheidungsmessungen werden am Anfang der Kampagne von Sachverständigen und mindestens jährlich (Prüfung Nuklidvektoren, Freigabewerte, Entsorgungspfade) begleitet. Die Dokumentation in Form einer Teilchargenanmeldung unterliegt der Prüfung. Die Gebäudefreigabe orientiert sich an entsprechender DIN. Es werden Messprogramme für die Voruntersuchung und die Entscheidungsmessungen festgelegt. Sowohl die Dokumentation der Voruntersuchung wie auch der Entscheidungsmessung werden der Aufsichtsbehörde zur Prüfung vorgelegt (*Pos. 1.7, 1.8, 1.9*).

Üblicherweise finden die Freigaben spätestens ein halbes Jahr nach Entscheidungsmessung statt. Es werden Abgabechargen gesammelt, deren Menge im Hinblick auf den

Abtransport logistisch sinnvoll ist (Maßstab LKW-Ladungen). Hierdurch kann es zu leichten Diskontinuitäten und zu Verschiebungen in das Folgejahr kommen (*Pos. 1.8*).

2.3.5.2 Prozesse

Die Durchführung des Freigabeverfahrens ist über betriebliche Anweisungen (z. B. Standardabläufpläne, Betriebsvereinbarungen, Betriebsarbeitsanweisungen) festgelegt. Diese werden bei Bedarf im atomrechtlichen Aufsichtsverfahren angepasst/aktualisiert. Die Anweisungen werden von Seiten des KGR als „fast überdetailliert“ empfunden. Maßgebliche Verzögerungen ergaben sich hierdurch nicht. Es werden weiterhin beispielsweise standardisiert Papiere erzeugt, die die Probenahme und die Auswertung dokumentieren. Bei etwaigen Änderungen im Verlauf des Rückbaus werden die entsprechenden Datenbanken angepasst. Alle Prozesse sind automatisiert von Anfang bis zum Ende und werden von einem unabhängigen Gutachter geprüft. Die Überreglementierung hinsichtlich der Dokumentation der Prozesse hat laut Betreiber einen gewissen Einfluss auf den Massenstrom der freizugebenden Massen (d. h., dass es zu zeitlichen Verzögerungen kommt (*Pos. 2.1*)). Teilweise gibt es Überschneidung von einer Anweisung mit einer anderen. Andererseits müssen die Prozessketten eindeutig definiert sein. Manche Prozesse laufen Jahrzehnte lang gut, aber trotzdem können Probleme entstehen, bspw. aufgrund struktureller Änderungen. Abgesehen davon sind noch immer Lücken vorhanden, trotz besagter Überreglementierung.

Ein Wissensmanagement in Form einer Datenbank o. ä. existiert nicht (aufgrund mangelnder zeitlicher Ressourcen). Es besteht eine erkannte Herausforderung aufgrund eines zeitlich kompakten Ausscheidens des verbliebenen ursprünglichen Betriebspersonals, das umfangreiches Fachwissen besitzt. Inzwischen erfolgt die Neueinstellung von Personal mit einer gezielt breiten Altersstruktur, um zukünftig (auf ca. 30 Jahre) den Überlapp zu sichern. Positionen von Wissensträgern werden bevorzugt als Eigenpersonal aus der einheimischen Bevölkerung besetzt, um eine langfristige Bindung an den Standort zu erreichen (*Pos. 2.2*). Nach der Wende wurde die Mitarbeiterzahl stark reduziert (von ca. 12.000 Mitarbeitern auf 1.000 Mitarbeiter); in der Folgezeit wurden keine neuen Mitarbeiter eingestellt. Aus diesem Grund gibt es nun junge Mitarbeiter und sehr langgediente Mitarbeiter; dies stellt sich als ein Problem dar, da der Wissenstransfer an die jungen Mitarbeiter möglichst umfassend stattfinden soll. Um allerdings ein selbstständig arbeitender Mitarbeiter sein zu können, sind etwa fünf Jahre Arbeitszeit im Betrieb vonnöten. Während der Corona-Krise gab es einen „totalen Halt“ von drei Monaten.

Die Einhaltung der festgelegten Schritte/Reihenfolgen im Freigabeverfahren wird in Bezug auf die Gebäudefreigabe automatisiert über das Arbeitserlaubnisverfahren gewährleistet. Bei allen anderen Stoffströmen erfolgt dies über die betreiberinterne Kommunikation. Zwischendokumentationen in Form von (ggf. nur betreiberintern) erstellten Formblättern (z. B. für den Abschluss eines Zwischenschrittes) werden nicht verwendet (*Pos. 2.2*).

Hin und wieder wird betreiberintern ein Mehrschichtbetrieb veranlasst, um die „Schlagzahl“ (z. B. Erhöhung der Messungen von Gebinden) zu erhöhen; dies richtet sich nach dem jeweiligen Abbauumfang (*Pos. 2.3*).

Aufgrund nicht eingehaltener Verfahrensregelungen zur Freigabe (vorrangig die Dokumentation und den Abtransport freizugebender Stoffe betreffend) sind die Freigabe und der Abtransport ab 2018 zum Erliegen gekommen. Nach Klärung und Fehlerbehebung kann sich hierdurch zukünftig ein Anstieg im freigegebenen Massenstrom ergeben, der nicht dem zeitlichen Anfall der Abbaumassen folgt. In der Vergangenheit gab es bereits einen Stau aufgrund logistischer Probleme (als die StrlSchV 2004 geändert wurde), aber nicht in dem Ausmaß wie zum Zeitpunkt der Besprechung (*Pos. 2.4*).

Die Verfügbarkeit von Entsorgungsanlagen für die Freigabe zur Beseitigung bzw. das Durchlaufen der formalen Schritte vor deren Nutzung kann zu Verzögerungen auf Jahresmaßstab führen. Grundsätzlich sind Beseitigungsanlagen sowohl für die Deponierung als auch für die Verbrennung in Nutzung. Die Nennung der konkreten Beseitigungsanlagen wurde durch die EWN GmbH abgelehnt (*Pos. 2.4*).

Nach /GRS 19a/ sollte die Stilllegung und der Abbau der Anlage weitestgehend mit dem gegenüber dem Normalbetrieb erheblich reduzierten Stammpersonal des KGR realisiert werden. Damit soll die vorhandene Anlagen- und Sachkenntnis maximal genutzt werden und einem großen Teil des ehemaligen Betriebspersonals weiterhin Beschäftigung gegeben werden. Die EWN arbeitet mit einem Plan zum Abbau von Stellen gemäß dem Bedarf an Personal für die Stilllegung. Bei der Stilllegung des KGR wird nach /GRS 19a/ so weit wie möglich Fremdpersonal eingesetzt; dies erfolgt dann, wenn

- die eigenen Kapazitäten nicht ausreichen,
- nicht für EWN-typische Gewerke benötigt werden (u. a. Bauleistungen, Geräteentwicklung),
- ABM-Maßnahmen in Anspruch genommen werden sowie

- Ausführung durch Fremdfirmen vorgesehen ist.

2.3.5.3 Rückbautechniken/-Strategien

Thematisch lassen sich die Inhalte der (vielen) Abbaugenehmigungen drei großen Phasen zuordnen. Auswirkungen auf den Freigabestrom werden von der EWN GmbH hierdurch nicht gesehen (*Pos. 3.1*).

Das Konzept der Stilllegung und des Rückbaus ist in sieben Schritte gegliedert. Der Schritt 1 befasst sich mit der Stilllegung mit Nach- und Restbetrieb. Dabei werden unter anderem die Entfernung des Kernbrennstoffes aus dem Reaktor 1 und den Abklingbecken der Blöcke 1, 2, 4 und 5 und die Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle vorbereitet und durchgeführt sowie der Kernbrennstoff verwahrt. Im 2. Schritt erfolgt der Abbau und die Demontage von Einrichtungen im Kontrollbereich des Blockes 5 (ohne Reaktordruckgefäß) und im Überwachungsbereich der Blöcke 1 bis 4. Schritte 1 und 2 wurden bereits in der ersten Stilllegungsgenehmigung (G01) genehmigt. Im 3. Schritt (genehmigt durch G02) wird die Modelldemontage des Reaktordruckgefäßes mit seinen Kerneinbauten des Blockes 6 zur Erprobung der fernbedienten Einrichtungen sowie Demontage des Ringwasserbehälters durchgeführt. Der 4. Schritt wurde in G03 und G04 genehmigt und beinhaltet den weitergehenden Abbau der Überwachungs- und Kontrollbereiche der Blöcke 1 bis 4 mit Ausnahme der Restsysteme, die für den fernbedienten Abbau erforderlich sind. Der fernbediente Abbau aller aktivierten Einbauten wird in Schritt 5 (G05) und der Abbau der restlichen Systeme in den Kontrollbereichen sowie aller aktivierten und kontaminierten Gebäudestrukturen wird in Schritt 6 (G06) durchgeführt. Schritt 7 beinhaltet den konventionellen Abriss der verbleibenden Gebäude zur Nachnutzung des Standortes als Industriegebiet (G07 und G08) /SSK 95/ (*Pos. 3.1*).

Bei der Stilllegung wurde sich für den direkten Abbau der Anlage entschieden ohne vorherige Überführung in den „Sicheren Einschluss“. Die radiologisch belasteten Standortstrukturen sollen vollständig abgebaut werden und die sanierten Flächen und Strukturen sollen für industrielle Zwecke freigegeben werden mit dem Endziel der „Braunen Wiese“ /GRS 19a/ (*Pos. 3.2*).

Beim Abbau wurde die Strategie verfolgt zunächst die gering kontaminierten, dann die höher kontaminierten und zuletzt die aktivierten Anlagenteile rückzubauen. Das ursprüngliche Stilllegungskonzept sah die Zerlegung der RDG der Blöcke 1 bis 4 und deren

Einbauten vor der Zwischenlagerung vor. Nach Prüfung wurde das Konzept jedoch geändert. Vorteilhaft an der unzerlegten Zwischenlagerung ist die zeitliche Verkürzung der Demontage der Blöcke (ca. 2 bis 3 Jahre). Ein Umsetzen der Einrichtung für den fernbedienten Abbau aus Block 2 in Block 4 kann dabei entfallen und die spätere Zerlegung kann konventionell erfolgen. Zudem wird eine große Anzahl an Verpackungen für die radioaktiven Materialien, wie Einsatzkörbe und Stahlcontainer eingespart. Besonders Filterschlämme aus der Nasszerlegung sind für eine langfristige Zwischenlagerung problematisch. Ebenso wird die Masse an endzulagernden radioaktiven Abfällen sowie die Kosten des Rückbaus deutlich reduziert. Ein weiterer Vorteil ist das geringere Risiko der Freisetzung radioaktiver Stoffe bei Störfällen während der Zwischenlagerung verglichen zu dem Risiko während der direkten Zerlegung. Die RDG der Blöcke 1 und 2 sowie die RDG der Blöcke 3 und 4 mit Reaktoreinbauten (Reaktorschacht mit Schachtboden) wurden im unzerlegten Zustand als abgeschirmte Großkomponenten im ZLN eingelagert. Die Abschirmung erfolgte direkt nach Einlagerung gemäß den technischen Annahmebedingungen des ZLN. Die Kassettenkörbe und Schutzrohrblöcke der Blöcke 3 und 4 wurden in Abschirm- und Transportvorrichtungen (ATV) verpackt und in das ZLN eingelagert. Damit befinden sich sämtliche RDG der Blöcke 1 bis 5 zur Abklinglagerung im ZLN /GRS 19a/ (Pos. 3.2).

Das Konzept der Stilllegung wurde beeinflusst durch das Vorliegen einer erheblichen Menge an radioaktiven Betriebsabfällen in der Anlage, die mit den Systemen des Leistungsbetriebes nicht vollständig entsorgt werden konnte. Zudem bestand nicht die Möglichkeit der sofortigen Entsorgung aller verbrauchten Brennelemente in ein Bundesendlager. Auch wurden Belange einer späteren Stilllegung der Anlage bei der Planung nicht berücksichtigt. Die Errichtung des ZNL stellte damit eine Lösung für den Entsorgungseingpass dar und schaffte entsprechende Lagerkapazitäten. Im ZNL wurden sowohl die verbrauchten BE als auch die Stilllegungsabfälle in konditionierter Form bis zum Abtransport in ein Endlager aufbewahrt /GRS 19a/ (Pos. 3.5).

In /GRS 19a/ wird der Stand der Stilllegung zum Zeitpunkt der Berichtserstellung beschrieben. In der Literaturquelle wird festgestellt, dass der Rückbau von gering zu höher kontaminierten, zuletzt zu den aktivierten Anlagenteilen erfolgt (Pos 3.2). Ein generelles Abbauschema mit den Hauptabbaurichtungen des Gesamtvorhabens ist in Abb. 2.45 dargestellt.

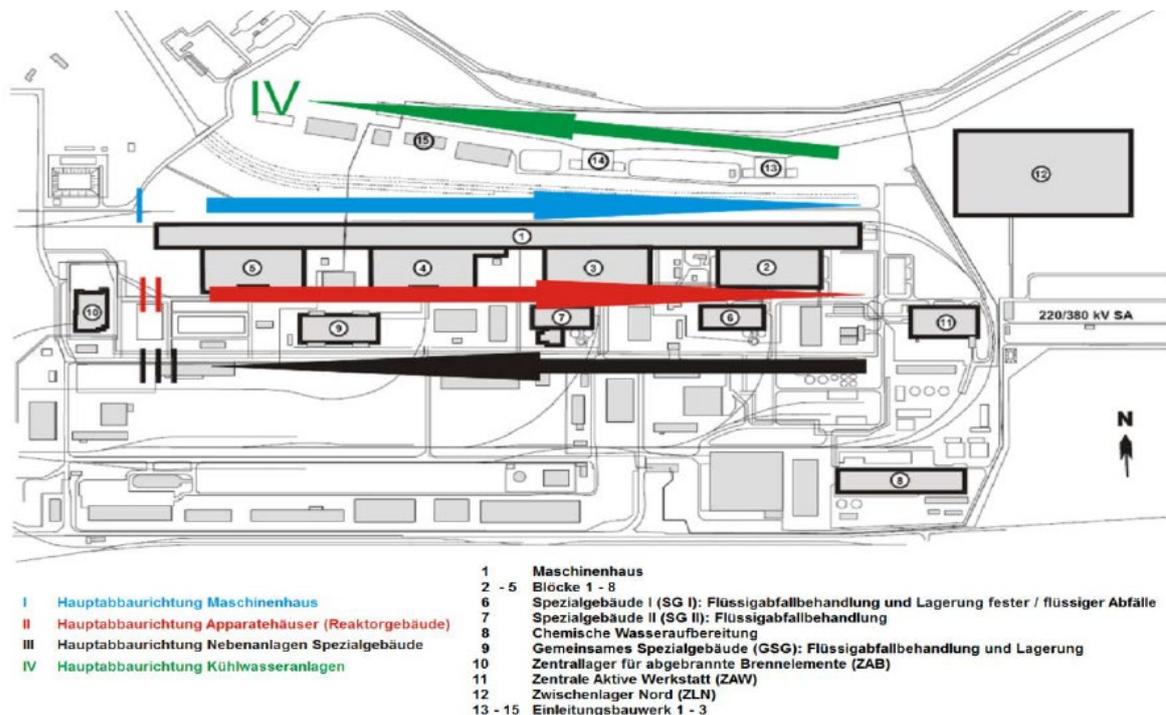


Abb. KGR - 15: Hauptabbaurichtungen des Gesamtvorhabens „Stilllegung KGR“ (nach /BIR 08/)

Abb. 2.41 Hauptabbaurichtungen des Gesamtvorhabens „Stilllegung KGR“ /GRS 19a/

(Pos 3.6) Nach /EWN 95b/ werden für die Demontage konventionelle, ausreichend erprobte Werkzeuge und Ausrüstungen handelsüblicher Ausführung eingesetzt. Dabei handelt es sich um:

- Werkzeuge zum Sägen,
- Schleifen/Trennschleifen,
- Bohren und Fräsen,
- Hydraulische, pneumatische und mechanische Scheren,
- Schlag- und hydraulische Schrauber sowie
- Sonstige Handwerkzeuge und Hilfsausrüstungen (Schweißgeräte, Klebegeräte, Sauger usw.)

Insbesondere beim Abbau aktivierter und hochkontaminierter Anlagenteile werden spezielle thermische Trennverfahren (z. B. verschiedene Unterwasserschneidverfahren) /EWN 95b/ eingesetzt. Thermische Schneidverfahren kommen dann zum Einsatz, wenn andere Verfahren nicht einsetzbar sind. Außer den konventionellen Verfahren werden

die in der Kerntechnik bewährten Verfahren Bandsägen oder Seilsägen eingesetzt oder mit o. g. Techniken mit dem Unterwassereinsatz kombiniert /EWN 95b/.

Infrastruktur (und zugehöriges Personal) für den Rückbau konnten aus dem Betrieb des KGR übernommen werden. Neue Zerlegeverfahren (z. B. Seilsägen) wurden begleitend erprobt. Inzwischen steht die gesamte Palette an Zerlege- und Dekontverfahren vor Ort zur Verfügung. Die genutzten Verfahren sind inzwischen alle betriebsbewährt, ein Mangel an Verfahren oder Bearbeitungskapazität existiert nicht. Für jede Anwendung kann das passende Verfahren ausgewählt werden, so dass etwaige Verzögerungen aufgrund von fehlenden Dekont- oder Zerlegeverfahren durch die EWN GmbH nicht gesehen werden (*Pos. 6.1, 3.5, 3.6*).

(*Pos 3.6*) Aktivierte Bauteile sind nicht nur oberflächlich kontaminiert, sondern senden selbst ionisierende Strahlung aus. Zu diesen Bauteilen gehören die Reaktoren der Blöcke 1 bis 5 mit ihren jeweiligen Baugruppen. Diese Baugruppen wurden, während das Kernkraftwerk in Betrieb war, durch Neutronenstrahlung so stark aktiviert, dass sie nicht wie andere Teile manuell demontiert und zerlegt werden können. Man kann sie nur fernhantiert oder fernbedient mit Hilfe von Manipulatoren zerlegen und benötigt dazu Abschirmungen aus Beton, Stahl oder Wasser. Die Arbeiten werden mit Hilfe von Videotechnik überwacht.

Die Zerlegestrategie, d. h. die Zerlegung der Reaktorbaugruppen in Segmente und ihre Verpackung in Container für eine anschließende Zwischen- und Abklinglagerung, wurde in einer Modelldemontage im Zeitraum von 1999 bis 2003 getestet, d. h. es wurden alle Schritte und Abläufe an nichtaktivierten Baugruppen der nicht fertiggestellten Blöcke 7 und 8 erprobt.

Von August 2004 bis Juli 2007 wurden die Reaktordruckgefäßeinbauten der Blöcke 1 und 2 (Kassettenkorb, Schutzrohrblock, Reaktorschacht mit Schachtboden) fernbedient zerlegt und verpackt. Hierfür wurden zwei Zerlegeplätze eingerichtet - ein sogenannter Nass- und ein Trockenzerlegeplatz. Auf dem Trockenzerlegeplatz wurden geringer aktivierte Teile der Reaktoreinbauten unter einer Schutzzeinhäusung zerkleinert und verpackt. Der Nasszerlegplatz wurde für höher aktivierte Teile der Reaktoreinbauten genutzt. Diese wurden in einem speziellen Becken mit Manipulatoren unter Wasser zerlegt, verpackt und dann unter einer Abschirmglocke bis zum vorgesehenen Container für die Zwischenlagerung transportiert.

Auf beiden Zerlegeplätzen wurden thermische und mechanische Trennwerkzeuge verwendet. Hauptsächlich wurden Plasmabrenner und Bandsägen benutzt. Nach Zerlegung und Verpackung wurden die befüllten Container ins ZLN gebracht. Die Bauteile werden dort zwischengelagert bis sie in ein Endlager überführt werden können.

(Pos. 3.7) Für eine Freigabe der Gebäude muss die technische Vorgehensweise stellenweise mit erheblichem Aufwand an der Herstellung geeigneter Messbedingungen ausgerichtet werden (Entfernen Aufbeton, Einbringen Abschirmbeton, statische Maßnahmen). Die Strategie wurde rechtzeitig ausgerichtet, wodurch es nicht zu zusätzlichen Verzögerungen kam. Allgemein hat die Gebäudestatik bzw. Eindringen von Kontamination einen sehr großen Einfluss auf die Abbaustrategie

(Pos. 3.9) Es wird Bereiche geben, wo man Schwierigkeiten hat, Einzelfallnachweise zu machen, beispielsweise bei Rohrleitungen. Rausschneiden kann man diese nicht, da man dabei die Armierung zerstört. Man findet viele Leitungen usw. die nicht verzeichnet sind; Einzelfallnachweis wird durchgeführt, wo dies nötig ist.

(Pos. 3.10) Die Freigabe erfolgt ausschließlich aufgrund eigener Messungen am Standort. Externe Dienstleister mit eigenen Freigabebescheiden (z. B. Abgabe zum Einschmelzen mit externer Freigabe der Gießlinge) werden nicht in Anspruch genommen.

Die genutzte Freigabe von Metallschrott zum Recycling (mit Verzicht auf den Nachweis der Einhaltung der Werte der Oberflächenkontamination) beruht auf einer Einzelfallbetrachtung. Der hierdurch erzielte Massenstrom freigegebener Metalle könnte ansonsten nur mit deutlich höherem Aufwand erreicht werden. Gewerbliche Abnehmer mit entsprechendem Massenumsatz sind für die derart freigegebenen Metalle vorhanden und annahmefähig. Die Annahmefähigkeit ist in regelmäßigen Abständen neu zu verhandeln, ggf. wird der Abnehmer gewechselt (Pos. 3.10, 3.4).

Für Betonstrukturen wird durch die EWN GmbH vorzugsweise der offene Weg der uneingeschränkten Freigabe (bzw. der Freigabe zum Abriss mit Abriss von Betonstrukturteilen am Standort) gewählt. Es konnten mehrfach große Abnehmer gewonnen werden, die die Bauschuttmassen bei konkreten Bauvorhaben in der Umgebung verwertet haben (Pos. 3.8).

Betonstrukturteile werden sowohl als stehende Struktur (dann gemessen an anderem Ort) als auch als Bauschutt freigegeben. Hinsichtlich der Armierung bei der Freigabe

zum Abriss von Betonblöcken besteht ausgehend vom festgelegten Verfahren kein eigenständiger Nachweisbedarf, wenn es sich nicht um aktivierte Strukturen handelt. Der EWN GmbH sind jedoch aus den praktischen Erfahrungen bei der Gebäudefreigabe auch radiologische Befunde an sichtbaren Versatzteilen bekannt. Diese Befunde werden im Freigabeverfahren insofern berücksichtigt, dass sichtbare Metalle bewertet werden (Pos. 3.8).

Die Festlegungen, dass Stoffe, die zur Beseitigung auf Deponien freigegeben werden, kein Metall enthalten dürfen, führt zu zusätzlichem Klärungsbedarf, zu Verzögerungen oder einem kompletten Ausschluss von Entsorgungsmöglichkeiten (Pos. 3.10, 2.4).

Hinsichtlich der Regelung in Anlage 8 Teil G Nr. 2 StrlSchV /SSV 18/, dass die Freigabewerte der Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 14 /SSV 18/ nicht für Verbundstoffe aus metallischen und nichtmetallischen Stoffen gelten (z. B. Leiterplatten), besteht aus Sicht der EWN GmbH Präzisierungsbedarf in Bezug auf die Umstände der praktischen Umsetzung. Es wird die Notwendigkeit einer abgestuften Regelung gesehen. So treten in der Praxis des Abbaus des KGR unterschiedliche Varianten von „Verbundstoffen“ auf, angefangen von lackierten Metallteilen über gummierte Metalle bis hin zu Strukturen aus mehreren Metallsorten (z. B. Kurzschlussläufer von Elektro-Motoren) oder anderweitig komplexen Bauteilen (z. B. elektro- und leittechnische Komponenten), die eine unterschiedliche Vorgehensweise bei der Verwertung erfahren. Eine praxisnahe Vorgabe, welche dieser Stoffe unter die Kategorie der „Verbundstoffe“ gemäß StrlSchV fallen, würde aus Sicht der EWN GmbH für die Freigabe von Metallschrott zum Recycling einen erheblich klareren, zügigeren und ggf. effizienteren Freigabeprozess erlauben. Da Entsorgungswege nicht geklärt sind, kommt es für die besagten Stoffe zu Verzögerungen bzgl. ihrer Entsorgung. Insgesamt sind mehrere Tausend Tonnen von Verbundwerkstoffen (je nachdem, wie man diese definiert) zu entsorgen.

(Pos 3.6) Weiterhin wurde – wenn möglich – **konventionellen und ausreichend erprobten** Verfahren und Hilfsmitteln Vorrang gegeben /EWN 95b/. Es handelt sich hierbei insbesondere um mechanische Werkzeuge zum

- Sägen,
- Schleifen/Trennschleifen,
- Bohren,
- Fräsen

sowie

- pneumatische und mechanische Scheren,
- Schlag- und hydraulische Schrauber,
- sonstige Handwerkzeuge zum demontieren und
- sonstige Hilfsausrüstungen (Schweißgeräte, Klebegeräte, Sauger, Transport-hilfseinrichtungen u. ä.).

Ein weiterer Vorteil mechanisch trennender Geräte wie Stichsägen, Rohrfräsen, Rohrsägen und hydraulische Scheren ist der geringere Übergang radioaktiver Stoffe in die Luft bei der Zerlegung kontaminierter Anlagenteile /EWN 95b/.

Das Rückbaukonzept sieht thermischen Verfahren nur in speziellen Anwendungsfällen und wenn andere Verfahren nicht anwendbar vor, wie z. B. verschiedene Unterwasserschneidverfahren beim Abbau aktivierter und hochkontaminierter Anlagenteile.

Neben den genannten konventionellen Zerletechniken sollte der Einsatz weiterer in der Kerntechnik bewährter Verfahren erfolgen. Es handelt sich hierbei vor allem um

- Bandsägen und Seilsägen bzw.
- die Anwendung o. g. Techniken unter Wasser.

Die **baulichen Gegebenheiten** im KGR erlauben die Einrichtung ausreichender Verkehrsräume und Arbeitsflächen für die Demontage. Anlagenteile können also auch direkt vor Ort zerlegt, sortiert, verpackt und zwischengelagert werden.

Nach Möglichkeit sollen aber die kleineren Komponenten vor Ort nur gesammelt und die größeren nur soweit nötig zerlegt werden, um ins ZLN weitertransportiert zu werden.

Zur Dekontamination der Gebäude nach Abbau der Einrichtungen wird eine harte Oberflächendekontamination der Wände, Decken und Fußböden durchgeführt. Ggf. wird in einem weiteren Schritt die oberflächennahe Schicht entfernt, um das **Ziel einer Freigabe und konventionellen Nachnutzung** der Gebäude zu erreichen

2.3.5.4 Radiologische Charakterisierung

Die radiologische Charakterisierung der Kontamination der Systeme des KGR erfolgte als umfangreiche Untersuchung anhand von Proben zu Beginn des Abbaus. Anhand der dabei gewonnenen Daten werden die Nuklidvektoren für die heutige Entsorgung abgeleitet. Eine obligatorische Verifizierung ist im Verfahren nicht vorgesehen (*Pos. 4.1, 4.2*).

Abbrandrechnungen und Aktivierungsrechnungen wurden nicht durchgeführt (*Pos 4.1*).

Für Gebäude und aktivierte Strukturen erfolgt die radiologische Charakterisierung begleitend mit einem eingeplanten Vorlauf. Über die Planung hinausgehende Verzögerungen bei der Bewertung/Komplettierung können bremsende Wirkung auf den Freigabeablauf haben (*Pos. 4.1*).

In den Jahren 1993 bis 1995 wurde ein großes Beprobungsprogramm (radiologische Bewertung) der Anlage durchgeführt und in der Folge die Nuklidvektoren berechnet. Insgesamt wurden 95 NV für die gesamte Anlage festgelegt; eine kampagnenbezogene Charakterisierung wurde nicht durchgeführt.

Der zugewiesene Nuklidvektor muss die restriktivste Einzelprobe aus dem jeweiligen Betrachtungsumfang abdeckend beschreiben (*Pos. 4.3, 4.2*). Hinsichtlich der Bestimmung von Nuklidvektoren gab es keine Änderungen im Laufe des Rückbaus (*Pos. 4.2*).

Es werden „Schubladen-NV“ (wenige) in Verbindung mit individuellen Korrekturfaktoren (viele) verwendet (*Pos. 4.3*).

Die Umstellung auf die DIN ISO 11929 wurde mit ausreichendem Vorlauf veranlasst, durch eigene Mitarbeit in Gremien gestützt und rechtzeitig zum Abschluss gebracht. Es konnte auch „alte“ Messtechnik aufgerüstet werden (z. B. Software der FMA). Verzögerungen im Freigabeprozess gab es aufgrund der Umstellung nicht (*Pos. 4.3, 1.4*). Mit der Umstellung auf die DIN ISO 11929 änderten sich auch die Nachweisgrenzen der Messverfahren. Für einige Nuklidvektoren lagen danach die Nachweisgrenzen von Messverfahren im Vergleich zu den Freigabewerten zu hoch, so dass sie in dieser Kombination nicht mehr praktisch nutzbar waren (*Pos. 4.3, 5.3*).

Im KGR wurde eine in-situ-Dekontamination der Systeme durchgeführt (*Pos. 4.4*).

Eine Verschiebung der Nuklidverhältnisse infolge der in-situ-Dekontamination wurde nicht untersucht. Die im Freigabeverfahren belastete radiologische Charakterisierung fand/findet erst danach statt (*Pos. 4.4*).

Brennelementschäden sind bekannt und ihre Auswirkungen sind in der Nuklidzusammensetzung der Kontamination festzustellen. Logischerweise hatten die Brennelementschäden einen hohen Einfluss (auf die Massenströme) (*Pos. 4.5*).

2.3.5.5 Messtechnik

Als Freigabemesstechnik werden kommerzielle Geräte eingesetzt. Es ist die übliche StrlSch-Messtechnik (z. B. Kontaminationsmonitor, Dosisleistungs-Messgeräte, Wischtest-Messplatz), Labor- und in-situ-Gammaspektrometrie, zwei Freimessanlagen (FMA) und auch Sondernuklidanalytik vor Ort vorhanden. Es werden keine von Fremdfirmen gestellte Messtechnik eingesetzt. Der Umfang der verfügbaren Messtechnik stellt keinen Engpass dar. Je nach Buchung der Fremdfirmen könnte deren Beauftragung einen gewissen Einfluss auf den Massenstrom der freizugehenden Massen haben. KGR hat eigene Messtechnik und es wird stets geprüft, ob es noch bessere Methoden, Verfahren usw. gibt (*Pos. 5.1, 5.4*).

Die in-situ Gamma-Spektrometrie wurde aufgestockt. Insgesamt gibt es 14 Messsysteme, fünf davon sind relativ neu. Eine der beiden FMA ist bereits 25 Jahre alt und im November 2020 sollte eine neue erworben sein. Weiterhin wurde festgestellt, dass die neue Hardware mit der „alten“ Software ausgestattet wird. Nach Einschätzung der Betreiber des KGR haben diese Aufstockungen keinen Einfluss auf den Verlauf der freizugehenden Massen im Zeitverlauf, außer dass die „Schlagzahl“ bei der Gebäudefreigabe hochgeht (*Pos. 5.2*).

Externe Labore werden weiterhin für Sondernuklidanalytik genutzt, auch als Fremdauftrag in Forschungsvorhaben. EWN GmbH (hier KGR) ist nicht akkreditiert (*Pos. 5.5*).

In Bezug auf die Aktivitätsverteilung im Messgut wird je nach Kenntnisstand auch mit realistischen Kalibrierungen gearbeitet (z. B. homogene Kalibrierung für die FMA, mit Plausibilitätskontrolle anhand der Homogenitätsanzeige der FMA) (*Pos. 5.6*). Laut KGR ist nicht pauschal sagbar, inwiefern die Kalibrierung einen Einfluss auf den Massenstrom hat (*Pos. 5.6*).

Ein Untergrundabzug erfolgt an der FMA für Nuklide der Uran- und Thorium-Reihen sowie für K-40 und für ungestörte Strukturen im Gelände für Cs-137. Die abzuziehenden Werte sind materialspezifisch festgelegt und werden verifiziert. Die Daten stammen aus Probenmaterial. Der Untergrundabzug wird als vorteilhaft bis entscheidend für die Umsetzbarkeit des jeweiligen Freigabeverfahrens (sowie für die Herausgabe) angesehen (Pos. 5.7).

2.3.5.6 Dekontaminationstechniken

Infrastruktur (und zugehöriges Personal) für den Rückbau konnten aus dem Betrieb des KGR übernommen werden. Neue Zerlegeverfahren (z. B. Seilsägen) wurden begleitend erprobt. Inzwischen steht die gesamte Palette an Zerlege- und Dekontverfahren vor Ort zur Verfügung. Die genutzten Verfahren sind inzwischen alle betriebsbewährt, ein Mangel an Verfahren oder Bearbeitungskapazität existiert nicht. Die eingesetzten Dekontaminationstechniken sind in der Stilllegungs- und Montageverordnung niedergelegt. Für jede Anwendung kann das passende Verfahren ausgewählt werden, so dass etwaige Verzögerungen aufgrund von fehlenden Dekont- oder Zerlegeverfahren durch die EWN GmbH nicht gesehen werden (Pos. 6.1, 3.5, 3.6).

(Pos 6.1) Das Ziel der Gebäudedekontamination bestand darin, möglicherweise vorhandene Kontaminationen in Gebäudestrukturen so weit zu verringern, dass eine konventionelle Nachnutzung der Gebäude nach Aufhebung des Kontrollbereiches erfolgen kann. Dazu wird eine harte Oberflächendekontamination der Wände, Decken und Fußböden durchgeführt. Werden damit erforderliche Freigrenzen nicht erreicht, wird die oberflächennahe Schicht entfernt /EWN 95b/.

Hinsichtlich der eingesetzten Geräte zur Dekontamination wurde festgestellt, dass im Verlauf des Rückbaus viele Geräte eingesetzt wurden und einige Weiterentwicklungen stattfanden. Es werden Standardverfahren wie Wasserhochdruckstrahlen, Trockenstrahlen, nasschemische Dekontamination, elektrolytische Dekontamination usw. eingesetzt. Es wurde betont, dass EWN durch qualifizierte Verfahren Zeit spart (Pos. 6.2, 6.5). Eine „Qualifizierung“ von Dekontverfahren im Hinblick auf den Entfall von bestätigenden Messungen wurde nicht durchgeführt (Pos. 6.5).

Hinsichtlich der dekontaminierten Stoffe bzw. Stoffmengen ist von Seiten des KGR keine Aussage möglich (aufgrund des hohen Aufwandes für die Beantwortung dieser Frage) (Pos 6.3).

Der Dekontaminationsumfang der freizugebenden Stoffe wird im jeweiligen Einzelfall festgelegt und durch betriebliche Messungen begleitend kontrolliert (*Pos. 6.4*).

(*Pos 6.4*) In vielen Bereichen des KGR folgt nach der Anlagendemontage bereits die Gebäudedekontamination, d. h. die Entfernung der in die Baustruktur eingedrungenen radioaktiven Stoffe. Zuerst erfolgt die Entfernung aller metallischen Raumbestandteile und metallische Raumauskleidungen und der Wand- und Bodenbeschichtungen. Die teilweise sehr aufwendige Entfernung der radioaktiven Verunreinigungen im Beton wird bis zum Erreichen der Freigabewerte zum konventionellen Abriss der Gebäude vorangetrieben, was in einigen Gebäudebereichen bis an die Grenzen der Statik reicht. Hier sind teilweise umfangreiche Berechnungen und auch Stabilisierungsmaßnahmen notwendig. Die Gebäudedekontamination stellt die Mitarbeiter von EWN GmbH vor neue Herausforderungen, die noch bewältigt werden müssen /PHI 20/.

Die Überlegungen, das natürliche Abklingverhalten auch für radioaktive Kontaminationen in der Gebäudestruktur zu nutzen, wurden vor einiger Zeit als „Langzeitverwahrung der Gebäude“ mit den Fachleuten, den Behörden und den Gutachtern diskutiert. Es war vorgesehen, nach einer Teildekontamination die restlichen radioaktiven Stoffe in den Gebäuden 50 Jahre abklingen zu lassen, bis die Gebäude nach dem Erreichen der Freigabewerte abgerissen werden können.

Aus verschiedenen Gründen hat sich das Unternehmen entschieden, sich von dieser Strategie zu verabschieden und die oben beschriebene Dekontamination bis zur Erreichung der Freigabewerte zum Abriss der Gebäude zu realisieren.

Eine Verschiebung von Nuklidzusammensetzungen infolge einer physikalischen oder (elektro-)chemischen Dekontamination wird nicht unterstellt, wurde aber auch nicht gezielt untersucht. (*Pos. 6.6*). Von Seiten des KGR wurde festgelegt, dass die Oberflächen insgesamt abgetragen werden und es keine Nuklidvektor-Verschiebung gibt (*Pos. 6.6*).

Hinsichtlich (*Pos 6.7*) wurde geäußert, dass die Laserdekontamination nicht mehr genutzt wird. Im Allgemeinen ändern sich die etablierten Verfahren der letzten 25 Jahre nicht mehr. Hinsichtlich der Etablierung der Dekontverfahren ist man nicht von Null gestartet, sondern hatte bereits einen gewissen Erfahrungsschatz.

2.3.6 KKW Stade

In den folgenden Unterkapiteln wurden die Positionen des Fragenkatalogs mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Literatur so weit wie möglich beantwortet. Die entsprechenden Positionen im Fragenkatalog (siehe Abschnitt 2.3.3) sind der Übersicht halber in Klammern angegeben.

2.3.6.1 Allgemein

Das Kernkraftwerk Stade befand sich zwischen 1972 und 2003 im Leistungsbetrieb. Die Nachbetriebsphase startete mit der Abschaltung am 14. November 2003 und endete mit der Erteilung der Stilllegungsgenehmigung am 7. September 2005. Seitdem befindet sich die Anlage im Restbetrieb im Rahmen der Stilllegung /GRS 19a/ (Pos. 1.1). Während der Nachbetriebsphase wurden alle Brennelemente abtransportiert und es fanden Anpassungen der Anlage an den Nachbetriebszustand statt, wie die Außerbetriebnahme bzw. Demontage von Systemen, Komponenten, Anlagen und Einrichtungen, soweit nicht in Errichtungsgenehmigungen enthalten, Maßnahmen zur Dekontamination von Systemen sowie Anpassung der Betriebsunterlagen /NMU 09 a/ (Pos. 1.3).

Die erste Stilllegungs- und Abbaugenehmigung wurde am 7. September 2005 erteilt und beinhaltet die notwendigen Festlegungen zur Bearbeitung, Konditionierung und Lagerung des beim Abbau anfallenden Materials (Abfall- und Reststoffkonzept), zur Freigabe, zum Abbau Phase 1 und zur Errichtung des Lagers für radioaktive Abfälle (LarA) sowie den Aufbau von Transportwegen und Arbeitsbereichen für Zerlegung, Verpackung und Dekontamination /NMU 05/. Im zweiten Genehmigungsbescheid vom 15. Februar 2006 wurde der Abbau Phase 2 genehmigt, darunter der Abbau von Großkomponenten (Dampferzeugern) und den dazu notwendigen Umbau der Schleuse /NMU 06/. Im Verlauf des Genehmigungsprozesses der Phase 3 gab es konzeptionelle Änderungen bezogen auf die Demontage des RDB. Der Abbau des RDB wurde separiert behandelt und der Genehmigungsumfang der Phase 3 wurde damit zweigeteilt. Der Genehmigungsbescheid für den Abbau 3 A (Abbau des Deckels des Reaktordruckbehälters, der Kerneinheiten, des Biologischen Schildes sowie anderer Systeme und Komponenten) bzw. 3 B (Abbau des Reaktordruckbehälters) wurde am 14. Mai 2008 bzw. am 14. Mai 2009 erteilt. Die Bedingung für den Abbau des Biologischen Schildes in Phase 3 A ist allerdings, dass die Zerlegung und Verpackung des RDB (Phase 3 B) bereits abgeschlossen ist /NMU 08/, /NMU 09b/. Die Freigabe von Gebäuden und Bodenflächen nach § 29

StrlSchV (alt) wurde in einem gesonderten Freigabebescheid geregelt (Freigabebescheid 1/2010) /NMU 10/. Der vierte und letzte Genehmigungsbescheid für den weiteren Abbau der Anlage in Phase 4 wurde am 4. Februar 2011 erteilt. Bei der Phase 4 handelt es sich insbesondere um das Restfreiräumen, die Entfernung kontaminierter Betonstrukturen sowie die Entlassung der Gebäude und des Geländes aus der atomrechtlichen Überwachung /NMU 11/ (Pos. 1.2).

Mit dem am 16. Juni 2017 in Kraft getretenen Gesetz zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung musste für das radioaktive Abfalllager (LarA) anstelle der bis dahin bestehenden Genehmigung für die Lagerung sonstiger radioaktiver Abfälle nach § 7 Absatz 3 AtG vom Betreiber ein Genehmigungsverfahren nach § 7 StrlSchV (alt) eingeleitet werden /GRS 19a/ (Pos 1.4).

Die Herausgabe aus dem Überwachungsbereich wurde in der ersten Stilllegungsgenehmigung sowie in dem Bescheid zur Freigabe von Gebäuden und Bodenflächen geregelt /NMU 05/, /NMU 10/. Für die mögliche Herausgabe erfolgt zunächst eine Einteilung in Verdachtsklassen durch Analyse der Betriebshistorie und systemtechnischer Plausibilitätsbetrachtungen. Vorgesehen sind zwei Verdachtsklassen, Klasse F (frei von Kontamination) und Klasse V (Verdacht auf Kontamination). Für die Stoffe, Gegenstände und Anlagenteile aus der Verdachtsklasse F genügen wenige Messungen für die Herausgabe aus dem Überwachungsbereich. Für die Herausgabe des Materials der Verdachtsklasse V ist ein größerer Messaufwand nötig, verglichen mit dem zur Freigabe jedoch deutlich verringert. Das durchzuführende Messprogramm wird in Abstimmung mit den zuständigen Organisationseinheiten für den früheren Betrieb und den Abbau festgelegt. Es erfolgt eine rückbaubegleitende Dokumentation sowie eine Überprüfung der beweisichernden Messungen, bevor die Entlassung aus der atomrechtlichen Überwachung durchgeführt wird. Die Entlassung wird dann der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde angezeigt /SSK 05/ (Pos. 1.7).

Nach Schätzungen fallen beim Rückbau des KKS insgesamt etwa 330.000 t Material an. Ca. 198.000 t (60 %) davon stammen aus dem nicht-nuklearen Bereich und können nach dem Herausgabeverfahren uneingeschränkt dem Stoffkreislauf zugeführt werden /PEL 18a/. Im Projekt Geländefreigabe wurde im Jahr 2019 das erste Gebäude aus dem Überwachungsbereich im Rahmen eines Pilotprojekts herausgegeben /PEL 19/. Im Jahr 2021 wurde u. a. die Herausgabe für das Notstromdieselgebäude abgeschlossen und das Maschinenhaus wurde für die Arbeiten, die für die Herausgabe notwendig sind, vorbereitet /PEL 21/ (Pos. 1.7).

2.3.6.2 Prozesse

Während der Stilllegung und des Rückbaus kommen bei der Entsorgung der Reststoffe vor allem die vorliegenden Erfahrungen des Betriebspersonals zum Tragen, da hier prinzipiell die aus dem Leistungsbetrieb bekannten Entsorgungswege bzw. Verfahren verwendet werden /RSK 05/ (Pos. 2.1).

Für die vorbereitende Maßnahme zum Ausbau der DE, den Umbau der Materialschleuse wurden 10.000 Personenstunden benötigt. Der Abbau der Frischdampf-Sicherheitsarmaturen-Bedienbühnen erforderte 6.000 und der Ausbau der Riegel der DE-Räume 260 Personenstunden. Für den Abbau der Stahlkonstruktionen im Bereich der DE waren 2.200 Personenstunden nötig und für die Demontage der Hauptkühlmittelleitung (HKL) 1.000 Personenstunden. Der Ausbau und die Transportbereitstellung eines Dampferzeugers erforderte 1.800 Personenstunden. Der Transport des Dampferzeugers zu externen Dienstleistern erfolgte durch 21 Personen an vier Arbeitstagen /GRS 10/ (Pos. 2.3).

Nach vereinbarten Deponieverbund mit den Landkreisen Harburg und Stade wurden zwischen 2003 und 2011 ca. 103 t freigegebener Abfall auf der Deponie Hilern, Landkreis Soltau-Fallingb. deponiert. Mit der Entscheidung des Landkreises keine weiteren Massen aus dem Rückbau aufzunehmen, entfiel zunächst die Verfügbarkeit dieser Entsorgungsmöglichkeit. Nach Einigung mit den sächsischen Deponien Wetro und in Grumbach konnten jedoch weitere 2.750 t freigegebener Abfall verbracht werden /PEL 16a/ (Pos. 2.4).

2.3.6.3 Rückbautechniken/-Strategien

Der Rückbau des KKS erfolgt in fünf Phasen. In Phase 1 wird mit dem Abbau kontaminierter Anlagenteile im Kontrollbereich sowie anderer atomrechtlich genehmigter Anlagenteile begonnen. Zudem wird das LarA errichtet und in Betrieb genommen. In Phase 2 werden weitere kontaminierte Komponenten demontiert und Großkomponenten, wie der Dampferzeuger abgebaut und entsorgt. In der dritten Phase erfolgt der Aufbau der Infrastruktur zur RDB-Demontage, die Demontage des RDB mit Einbauten und der Abbau aktivierten Betons des Biologischen Schildes. Die Phase 4 beinhaltet das Restfreiräumen, die Entfernung kontaminierter Betonstrukturen, die Freigabe der Gebäudestrukturen und Geländeflächen, die Entlassung der Gebäude und des Geländes aus der atomrechtlichen Überwachung sowie die Anpassung der Infrastruktur und Betrieb des

Lagers. Bei der 5. Phase handelt es sich um den konventionellen Abriss der Gebäude /GRS 19a/ (Pos 3.1).

Bei der Rückbaustrategie wurde sich für den direkten Rückbau zur „grünen Wiese“ entschieden. Bereits in der ersten Phase wurden kontaminierte Komponenten des Kontrollbereichs abgebaut /GRS 19a/ (Pos 3.2).

Für die langfristige Zwischenlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen aus dem Betrieb, Restbetrieb und Rückbau der Anlage sowie für radioaktive Reststoffe und Abfälle aus externer Behandlung von Abfällen wurde das Lager LarA, welches mit dem ersten Genehmigungsbescheid genehmigt wurde erbaut. LarA wurde im Jahr 2007 in Betrieb genommen /NMU 07/. Beantragt wurde ein Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen mit einem Aktivitätsinventar von bis zu $1,0E+17$ Bq /GRS 19a/ (Pos. 3.5).

In der ersten Rückbauphase sollte für zusätzliche Einrichtungen und Systeme, die für den Rückbau benötigt werden, durch den Abbau von Anlagenteilen im Reaktorgebäude Platz geschaffen werden. Mit der Genehmigung zur Nutzungsänderung von Räumen in Kombination mit dem Bau des Abfalllagers LarA wurden wichtige infrastrukturelle Voraussetzungen geschaffen, um für den weiteren Rückbau genügend Platz innerhalb der Anlage zur Verfügung zu stellen. Die noch nicht konditionierten Abfälle können dabei zur temporären Pufferlagerung bis zur Weiterverarbeitung oder -behandlung in externen oder internen Anlagen gelagert werden /RSK 05/ (Pos. 3.5).

Bereits vor dem Beginn der Demontagerbeiten in Phase 3 A wurden neue Zerlege- und Verpackungsplätze im Reaktorbecken, im BE-Becken, auf dem Reaktordeckelabstellplatz sowie dem Beckenflur eingerichtet. Dafür wurde die zum RDB gerichtete Wand des BE-Beckens mittels Kernbohr- und Seilsägetechnik geöffnet, um den Transport von kompletten oder zerlegten Kerneinbauten aus der Einbaulage zu den Vor- und Nachzerlegeplätzen im BE-Becken zu ermöglichen. Die aufgetrennte Blechabdeckung des BE-Beckens und der Anschluss an das Reaktorbecken werden wiederhergestellt und der Beckenboden gegen Lastabstürze mit einem Schutzliner versehen. Es wurden Wasserreinigungsanlagen für beide Wasserbecken, dem RDB- und BE-Becken installiert. Damit können Kerneinbauten während der Transportvorgänge unter einer hinreichenden Wasserüberdeckung gehandhabt werden /GRS 19a/ (Pos. 3.5).

Für die Anwendung des Wasser-Abrasiv-Suspensionsstrahl-Schneidens (WASS) wurde ein Wassertopf zur Rückhaltung von Abrasivmittel und Trennfugenmaterial und Trennung des Wasservolumens von den Volumina des Reaktor-/BE-Beckens installiert /EON 06/ (Pos. 3.5).

Im Jahr 2018 wurde ein Reststoffbehandlungszentrum in einem Bestandsgebäude aufgebaut sowie ein Zelt als Pufferfläche für Betonsegmente /PEL 18b/. Im Reststoffbehandlungszentrum werden ausgebaute Betonsegmente sowie weitere Reststoffe unter Kontrollbereichsbedingungen nachbehandelt, zerlegt, gereinigt und gemessen, damit die Betonstrukturen der Freigabe zugeführt werden können. Täglich werden etwa 30 t Betonsegmente durchgesetzt /PEL 20b/ (Pos. 3.5).

(Pos. 3.6) Für die Zerlegeverfahren wurden hauptsächlich erprobte und handelsübliche Gerätschaften und Verfahren verwendet, welche sich bereits durch den Einsatz in anderen Stilllegungsvorhaben, sowie im Bereich der nuklearen Betriebsabfallentsorgung bewährt haben /RSK 05/. Beispielsweise wurden folgende Zerlegeverfahren und Techniken eingesetzt /GRS 19a/, /SCA 09/:

- Wasserabrasivstrahlschneiden (WASS)
- Sägen (Band-, Seil- und Stichsäge)
- Fräsen
- Bohren
- Lösen mechanischer Verbindungen
- Thermische Trennverfahren: Plasma-Schneiden, Contact-Arc-Metal-Cutting (CAMC) oder Electro-Erodieren

Für die Zerlegung und Verpackung der RDB-Einbauten beauftragte der Betreiber das Unternehmen AREVA NP GmbH. Hierfür wurden neue bzw. modifizierte Gerätetechniken eingesetzt, die vorab vom Betreiber und vom Gutachter geprüft und freigegeben wurden. Beispielsweise wurde die Mastbandsäge von AREVA eingesetzt und die Stichsäge für den Unterwassereinsatz modifiziert /SCA 09/ (Pos. 3.6).

Die Arbeiten an aktivierten Komponenten, wie auch die Demontage der RDB-Einbauten fanden zum Schutzziel „Vermeidung von Strahlenexposition“ größtenteils unter Wasser sowie fernhantiert, z. B. mittels Mastmanipulator statt /SCA 09/.

Der Reaktordeckel wurde trocken auf dem Reaktordeckelabstellplatz zerlegt. Die Zerlegung des Biologischen Schildes in größere Segmente wurde mit Hilfe eines Trennverfahrens mit geringer Aerosolfreisetzung (Kernbohrungen, Seilsägen) durchgeführt. Die Segmente wurden im Anschluss nachzerlegt, um radioaktiven Abfall von freigebbaren Anteilen zu trennen /GRS 19a/ (Pos. 3.6).

Die Zerlegung des RDB wurde trocken durchgeführt. Für die Vor- und Nachzerlegung wurden mechanische und thermische Verfahren verwendet. Die Arbeiten erfolgten in Bereichen, die lüftungstechnisch vom Reaktorgebäude getrennt und mit einer autarken Lüftungsanlage ausgestattet sind, die die gereinigte Abluft vom Zerlege- und Arbeitsbereich an das betriebliche Abluftsystem abgibt. Grundsätzlich wird eine zielgerichtete Luftströmung zum Zerlegeort gewährleistet. Das Hantieren mit hochaktivierten Zerleteilen erfolgt fernbedient. Als Vorzerlegebereich wird die Reaktorgrube (Einbaulage des RDB) verwendet, welche auch im Anforderungsfall als Abstellort für das Zerlegeobjekt im Interventionsfall fungiert. Das Brennelementlagerbecken dient als Nachzerlegebereich mit Zerlegetisch und Werkzeugträgersystem /GRS 19a/ (Pos. 3.6).

Es wird eine Abschirmplatte auf dem RDB-Flansch abgesetzt, welche selbst als Lastaufnahmemittel ausgeführt sein kann oder mit welcher ein geeignetes Lastaufnahmemittel angeschlagen werden kann, um damit Zerlegeobjekte transportieren zu können. Der RDB, der zunächst bis zur Flanschunterkante mit Wasser befüllt ist wird bis unterhalb der vorgesehenen Trennschnittlinie im Übergangsbereich Flansch zu Zylinder teilentleert und die Isolierung entfernt. Mittels installierter Hubvorrichtung auf einer Bodenplatte des Biologischen Schildes unterhalb des RDB kann der RDB schrittweise hydraulisch angehoben werden. Nach Entfernen des Reaktorflansches wird die Abschirmplatte wieder auf den zylindrischen Teil des RDB mit Bodenkalotte aufgesetzt. Der Flansch wird in einem Ablagebereich zwischengelagert /GRS 19a/ (Pos. 3.6).

Der entleerte RDB wird zum Zerlegetisch im Brennelementbecken (BEB) transportiert und die Isolierung wird mit Hilfe von fernhantierter Zerletechnik abgetrennt und in geeignete Behälter verpackt. Der flutbare Behälter wird ebenfalls mit mechanischen und ggf. thermischen Trennwerkzeugen zerlegt. Im Anschluss erfolgten die sukzessive thermische Zerlegung und Verpackung des RDB-Zylinders und der anschließenden Kalotte. Der Transport und das Ablegen der Zerleteile in die Verpackungsstation wird fernbedient mit dem Hilfs- und Beladekran durchgeführt. Auch der Flansch wird auf dem Zerlegetisch im BEB verpackungsgerecht zerlegt und in Endlagerbehälter verbracht /GRS 19a/ (Pos. 3.6).

In Phase 4 werden die noch verbliebenen Anlagenteile abgebaut und aus dem Kontrollbereich transportiert. Am Ende der Phase wurden alle Gebäude und das Gelände aus der atomrechtlichen Aufsicht entlassen. Vor der Gebäudefreigabe erfolgten die geplanten fünf Rückzugsschritte. Der erste Schritt war der Rückzug aus dem Sicherheitsbehälter und der zweite aus dem Reaktorgebäude. Bei dem dritten Schritt, dem Rückzug aus dem Hilfsanlagengebäude wurde der Kontrollbereich ständig verkleinert und auf den Kontrollbereichseingang und temporäre Lüftungsanlagen sowie den Kamin und ggf. zusätzliche kleinere Bereiche begrenzt. Bei dem vierten Rückzugsschritt wurde der restliche Kontrollbereich aufgehoben. Der fünfte Schritt bestand aus dem Freigabeverfahren für die Gebäude und das Anlagengelände gemäß § 29 StrISchV (alt) /SSV 01/ und die Entlassung aus dem AtG mit Ausnahme des LarA /GRS 19a/ (Pos. 3.9).

In der Abbauphase 4 wurden die Gebäude nach dem Restfreiräumen auf Kontamination überprüft und ggf. dekontaminiert. Die Baustrukturen, die oberhalb des Freigabewertes kontaminiert waren wurden dekontaminiert bzw. entfernt. Für den Rückzug aus einem Bereich wird das Erreichen der Freigabewerte vorausgesetzt. Nach Verlassen des Bereichs wird der Zugang gegen Wiederbetreten abgesichert, damit die freigemessenen Bereiche nicht wieder kontaminiert werden können /GRS 19a/ (Pos. 3.9).

Bei Abbauarbeiten an der Kalotte des Containments (mit Beton verfüllter sphärischer Boden des Sicherheitsbehälters) wurden im Zuge der Grobdekontamination horizontale Flächen um ca. 30 cm in den dort befindlichen Gebäudestrukturen abgetragen und es wurden trockene Seilsägearbeiten durchgeführt. Mehrere Tage nach den Arbeiten wurde Feuchtigkeit an den Schnittstellen festgestellt. Durch Analyse des Wassers wird Borsäure und Cs-137 identifiziert. Die Feuchtigkeit lässt sich auf ausgetretenes Primärkreiswasser während des Leistungsbetriebes zurückzuführen. Nach weiteren Kernlochbohrungen wurden insgesamt etwa 110 l kontaminiertes Wasser entdeckt. Die Menge an kontaminiertem Beton, der nicht wie die stehende Gebäudestruktur freigegeben werden kann, sondern als radioaktiver Abfall entsorgt werden muss, belief sich nach damaligem Kenntnisstand auf 600 bis 1.000 Mg /GRS 19a/, /ASK 14/. Um den Zugang zu diesem Betonbereich für die Abbaumaßnahmen zu ermöglichen, mussten die darauf aufbauenden Strukturen zunächst abgebaut werden. Die Neuaufplanung der Rückbauarbeiten und der Abbau der aufbauenden Strukturen führte zu einer zeitlichen Verzögerung des Rückbaus. Für den Abbau des Splitterschutzes wurden zwischen 2018 und 2021 1.525 Segmente mit einem durchschnittlichen Gewicht von jeweils ca. 14 t zersägt. Jedes Be-

tonsegmente wird einzeln nachbehandelt, um die erforderlichen Messungen für das Freigabeverfahren optimal durchführen zu können. Durch dieses aufwendige Verfahren dauert der gesamte Abbau des Splitterschutzes etwa drei Jahre länger. Im Anschluss konnten die Abbrucharbeiten der Kalotte im August 2021 mit etwa sieben Jahren Verzögerung begonnen werden /PEL 16b/, /PEL 20b/, /PEL 21/, /PEL 20c/ (Pos. 3.7).

Die aufbauenden Gebäudestrukturen sollten abgebaut und im Rahmen der konzeptionellen Freigabebescheide für Gebäudeteile nach § 29 StrlSchV (alt) /SSV 01/ zur Beseitigung auf Deponien uneingeschränkt freigegeben werden. Hierfür sollte zusätzliche Handhabungstechnik eingebracht werden, um nach der Grobdekontamination ca. 20 Mg schwere Blöcke im Seilsägeverfahren zu schneiden. Diese sollen aus dem Sicherheitsbehälter ausgeschleust und auf dem Gelände freigemessen werden /ASK 14/. Dafür wurde ein Änderungsantrag für eine Krananlage gestellt /GRS 19a/ /ASK 15a/ (Pos.3.8).

Die Dampferzeuger wurden zur externen Verarbeitung und Konditionierung zur schwedischen Firma Studsvik Nuclear transportiert, wo der Dampfdom vom DE getrennt wird, welcher durch thermische Trennverfahren in Einzelteile zerlegt wird. Diese Einzelteile werden nach radiologischer Messung in Schweden nach schwedischem Recht und durch schwedische Aufsichtsbehörden freigegeben. Die Primärkammer und der Rohrboden werden mit Hilfe von Bandsägen abgetrennt und die Bündelrohre werden dekontaminiert. Nach Dekontamination aller Einzelteile des Primärteils werden diese zu Gießlingen eingeschmolzen. Die radiologische Bewertung von Proben entscheidet darüber, ob das Material in Schweden freigegeben werden kann (nach maximal 10 Jahren Abklinglagerung) oder ob es zurück nach Deutschland transportiert wird. Geschätzt werden etwa 72 % der Masse der DE in Schweden freigegeben und der Rest als radioaktiver Abfall zurück nach Deutschland in das LarA transportiert /GRS 19a/ (Pos. 3.10).

2.3.6.4 Radiologische Charakterisierung

Beprobungskonzept

Die radiologische Charakterisierung sollte planmäßig sowohl vor dem Rückbau der Systeme sowie rückbaubegleitend nach der Demontage des Materials und vor der Dekontamination durchgeführt werden. Der Probenahmeplan orientiert sich an systemtechnischen Betrachtungen. Dafür werden auf Grundlage verfahrenstechnischer, chemischer oder werkstoffkundlicher Kriterien die Grenzen der Systeme gebildet. Das Beprobungs-

konzept gilt nicht für aktivierte Bereiche. Für die Beprobung werden verschiedene Probenarten genutzt. Um Aussagen über die Nuklidverhältnisse zu treffen, werden vorwiegend Materialproben verwendet. Die Messung von Schlüsselnukliden erfolgt vorwiegend gamma-spektroskopisch. Die gamma-spektrometrisch nicht messbaren Sondernuklide werden unabhängig der Systemgrenzen über die ganze Anlage durch Beprobung bestimmt. Damit kann eine Korrelation zu den Schlüssel- und Leitnukliden hergestellt werden. Die Probenanzahl wird für jeden Systemabschnitt durch statistische Methoden festgelegt /SSK 05/ (Pos. 4.1).

Die radiologische Charakterisierung wurde mit dem Reststoff-Freigabe-Optimierungs-Modul (REFOM) durchgeführt. REFOM dient der zentralen Verwaltung und Auswertung der Beprobungsergebnisse im Sinne von Voruntersuchungen für die Freigabe und der Bildung von radiologischen Teilsystemen (Teil eines Systems oder Raums, welcher aus radiologischer Sicht eine Einheit bildet) sowie der Ermittlung der Nuklidvektoren. Bis zum Jahr 2006 wurden ca. 1.600 Beprobungsergebnisse in der Datenbank erfasst, wovon ca. 40 Vollanalysen sind. Diese Daten dienen der Berechnung von anlagenweiten Korrelationsfaktoren für nicht gammaspektrometrisch erfassbare Nuklide. Die Beprobungsergebnisse waren zu diesem Zeitpunkt auf ca. 40 radiologische Teilsysteme aufgeteilt /SCH 06/.

Die Alpha-Vektoren werden mit wenigen Proben, die alpha-spektroskopisch untersucht werden sowie durch zusätzliche Berücksichtigung von Abbrandrechnungen ermittelt. Diese Alpha-Verteilungen dienen der Hochrechnung nuklidbezogener Alpha-Anteile aus Gesamt-alpha- oder Am-241-Messungen. Für die aktivierten Bereiche, die Primärkühlmittel führenden Bereiche und die durch Systemdekontamination betroffenen Systeme werden andere Korrelationen erwartet, weshalb diese Herangehensweise in diesen Bereichen nicht verwendet wird /SSK 05/ (Pos. 4.2).

Freimesskonzept (Nuklidvektoren)

Das Freimesskonzept begründet sich wesentlich auf die Daten aus dem Beprobungskonzept. Zuvor durchgeführte radiologische Charakterisierung der Anlage, die Beprobung des Materials aus dem Rückbauprozess, die Daten aus den laufenden Freimessungen durch eine umfassende Verschaltung von Mess- und Auswerteeinrichtungen und ein Optimierungsverfahren für die Bildung von Nuklidvektoren für die Berechnung der Gesamtaktivität in der Freimessanlage sind die wesentlichen Merkmale. Das Optimierungsverfahren erfüllt gleichzeitig die Anforderungen aus der Berücksichtigung von

flächen- und massenbezogenen Freigabewerten gemäß Anlage III Tab. 1 StrISchV (alt) /SSV 01/ und von den maximalen Hochrechnungsfaktoren gemäß DIN 25457. Ausgangspunkt sind die Beprobungsergebnisse eines Gewerkes oder einer Charge. Für jedes gefundene Radionuklid wird ein Mittelwert und die Standardabweichung (nach dem „ein-sigma-Konzept“, 68,3 %) der Aktivitätsanteile gebildet. Durch Variation der jeweiligen Mittelwerte für jedes Radionuklid innerhalb der Standardabweichung wird das Maximum der Summe der drei Summenformeln, flächen-, massenbezogene Freigabewerte und Hochrechnungsfaktor gebildet. /SSK 05/, /BOT 09/ (Pos. 4.2).

Die Steuerung und Kontrolle des Materialflusses erfolgt durch das bereits aus anderen Anlagen bekannte Reststoff-Verfolgungs- und Kontrollsystem (ReVK) und durch ein neues Freigabe-Modul, welches aus den eingegebenen Messdaten abdeckende Nuklidvektoren ermittelt, die für die Gesamtgamma-Messungen erforderlich sind. Für die Einführung dieses Konzepts wurden drei Phasen veranschlagt, die Erprobungs-, die Begleit- und die Routinephase. Während der Erprobungsphase wurde das System zunächst an schwach kontaminierten Stoffen überprüft, wobei besonderes Augenmerk auf die Schnittstellen gelegt wurde. In der Begleitphase wird die Durchführung und Einhaltung der Prozessschritte überprüft /SSK 05/ (Pos. 4.1, 1.9).

Im Jahr 2004 wurde eine FSD mit dem HP/CORD UV-Verfahren vor Beginn der Stilllegung durchgeführt. Verwendet wurden anlageneigene Systeme sowie AMDA. Zu den dekontaminierten Bereichen zählten der RDB mit Einbauten (ohne Brennelemente), der Druckhalter, der Primärkreis, das Nachkühlsystem (TH), das Volumenregelsystem (TA), die Kühlmittellagerung (TD), die Kühlmittelreinigung (TC) und das Sicherheitseinspeisesystem (TJ). Es wurden vier Dekontaminationszyklen durchgeführt /STI 06/. Während des Oxidationsschritts kam es zum Eindringen von mobilisierten Partikeln aus dem Dekontaminationsmedium in die Hauptkühlmittelpumpen-Dichtung, wodurch die Zuverlässigkeit der Dichtung beeinträchtigt war. Zudem kam es während der Verwendung eines Stickstoffpolsters zur Druckaufprägung zur Ansammlung von Stickstoff im Dekontaminationsbereich. Der erhöhte Verbrauch von Permangansäure und von Ionenaustauscherharzen deutet auf die Bildung von organischen Stoffen und die vorher nicht genau genug charakterisierten Oxidschichten und Ablagerungen (Crud) auf den Oberflächen des Dekontaminationsbereichs hin /VOL 06/, /GRS 18/ (Pos. 4.4).

2.3.6.5 Messtechnik

Beim Rückbau des KKS im Rahmen des Freigabeprozesses durchläuft das Material eine Abfolge von Messungen. Beginnend bei der Voruntersuchung auf Vorhandensein von Radioaktivität wird das Material zerlegt bzw. zerkleinert und dekontaminiert. Im Anschluss erfolgt die Orientierungsmessung für die Bestimmung der Aktivitätsverteilung. Bei der Entscheidungsmessung wird dann geprüft, ob das Material die Voraussetzungen für die Freigabe erfüllt. Unter bestimmten Bedingungen folgt noch eine Kontrollmessung. Dabei handelt es sich sowohl um Direktmessungen als auch um Probenahmen für eine Laborauswertung /EON 08a/ (Pos. 5.1).

Für die Freimessung werden Orientierungsmessungen und Entscheidungsmessungen durchgeführt. Diese können flächendeckend oder aber an einer statistisch begründeten und dimensionierten Stichprobe vorgenommen werden. Bei der Orientierungsmessung kann der Homogenitätsnachweis auf einem Niveau bis zum Dreifachen der Freigabewerte erfolgen. Die Entscheidungsmessung erfolgt vorwiegend mit einer Gesamt-Gamma-Freimessanlage (FMA). Ist die Homogenität der Kontamination nachgewiesen, wird die Gesamtaktivität auf eine Mittelungsfläche von 2 m² bezogen. Weitere Verfahren der Entscheidungsmessungen sind bspw. Probenahme aus Schüttgütern, Messung der Oberflächenkontamination mit Kontaminationsmonitoren und In-situ-Gammaspektrometrie /SSK 05/ (Pos 5.1).

Zur Unterstützung des Freigabeverfahrens wurde das „Programm zur Unterstützung der Gebäudefreigabe“ (PUG) verwendet /WÖR 11/.

Die Messverfahren für die Entscheidung über den Entsorgungsweg sind zum einen Messungen der oberflächenbezogenen Aktivität an gesamten Oberflächen und der spezifischen Aktivität des gesamten Materials und zum anderen stichprobenartige Messungen der oberflächenbezogenen Aktivitäten und der spezifischen Aktivitäten /SSK 05/.

Bei dem statistischen Verfahren zur Freigabe werden für die stichprobeartigen Messungen repräsentativ genommene Proben von Materialien, Chargen und Abschnitten vermessen. Die erhaltenen Messgrößen über spezifische Aktivität und flächenbezogene Aktivität stellen damit einen statistisch erfassten Schätzwert dar. Mit dem Beprobungskonzept, in dem das statistische Verfahren zur Festlegung einer ausreichenden Probenanzahl dargelegt ist wird beschrieben, dass der Freigabewert mit einem Vertrauensniveau von 95 % unterschritten wird /SSK 05/.

2.3.6.6 Dekontaminationstechniken

(Pos. 6.1) Nach /RSK 05/ werden Dekontaminationstechniken verwendet, welche sich bereits durch den Einsatz in anderen Stilllegungsvorhaben, sowie im Bereich der nuklearen Betriebsabfallentsorgung bewährt haben. Dabei handelt es sich um:

Chemische Verfahren:

- Oberflächenbehandlung mit organischen Lösemitteln, Säuren und Komplexbildnern

Mechanische Verfahren:

- Wischen
- Bürsten
- Saugen
- Hochdruckreinigen (Wasser und/oder Dampf)
- Strahlen (Sand o. ä.)
- Schaben
- Fräsen

Sonstige Verfahren

- Elektropolieren
- Ultraschallbehandlung

Beim Bau des Kernkraftwerks wurden die Oberflächen vieler Bauteile zur Erleichterung der Dekontamination mit einem porenfüllenden Spezialanstrich behandelt. Diese Oberflächen konnten größtenteils durch Abwaschen oder Abreiben vollständig dekontaminiert werden. Die Entfernung der Kontamination aus Rissen und Poren im Material wurde mechanisch oder chemisch durch verschiedene Techniken durchgeführt. Zu den angewandten Dekontaminationstechniken gehören Stahlkiestrahlen, Hochdruckwasserstrahlen und Spülen mit chemischen Lösungen /EON 08a/ (Pos. 6.1).

Die Dekontaminations- und Zerlegeverfahren bestanden grundsätzlich aus Standardverfahren, die sich schon anderen Stilllegungsvorhaben, aber auch im Bereich der nuklearen Betriebsabfallentsorgung bewährt haben. Zu den Dekontaminationsverfahren gehören die mechanischen Dekontaminationen (Wischen, Bürsten, Saugen, Hochdruckreinigen, Strahlen, Schaben und Fräsen) und chemischen Verfahren, wie die Oberflächenbehandlung mit organischen Lösungsmitteln, Säuren und Komplexbildnern, sowie das Elektropolieren oder die Ultraschallbehandlung /RSK 05/ (Pos 6.1).

Die Dampferzeuger wurden zu der schwedischen Firma Studsvik Nuclear verbracht, dort zerlegt sowie dekontaminiert und zu Gießlingen eingeschmolzen. Die Dekontamination der Einzelteile der Primärkammer erfolgte mittels Stahlkies, um die Kontamination von der inneren Oberfläche abzutragen. Nach radiologischer Messung wurde festgestellt, dass diese Methode nicht ausreichend war und die Kontamination nicht vollständig abgelöst wurde aufgrund einer verschleißfesten und rauen Aufpanzerung der inneren Oberfläche. Die Gießlinge wären nach dem Einschmelzen damit nicht freigebbar. Daher wurde eine weitere Zerlegung und Behandlung auf einer Fräsmaschine vorgenommen, wodurch die verschleißfeste Schicht abgefräst werden konnte. Die Innenrohre der Bündelrohre wurden in einer Strahlkammer CNC-gesteuert und kameraüberwacht mit Hilfe einer Dreifach-Düse gestrahlt, um die vorhandene Kontamination weitestgehend abzulösen. Der Prozess wurde dreimal durchgeführt und dauerte pro Dampferzeuger etwa 6 bis 7 Arbeitstage /KON 09/ (Pos. 6.1).

2.3.7 KKW Würigassen

In den folgenden Unterkapiteln wurden die Positionen des Fragenkatalogs mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Literatur so weit wie möglich beantwortet. Die entsprechenden Positionen im Fragenkatalog (siehe Abschnitt 2.3.3) sind der Übersicht halber in Klammern angegeben.

2.3.7.1 Allgemein

Das Kernkraftwerk Würigassen wurde zwischen 1971 und 1994 betrieben. Grund für die Entscheidung zur Abschaltung und Stilllegung waren Rissbefunde am Kernmantel des Reaktors, dessen Behebung wirtschaftlich nicht vertretbar war. Nach Erteilung der Genehmigung zur Stilllegung des Kraftwerks befand sich die Anlage im Restbetrieb, bei dem die Systeme und Teilsysteme im Zusammenhang mit dem Abbau erster Anlagenteile betrieben werden /GRS 19a/ (Pos. 1.1). Die Zeit nach dem Stilllegungsbeschluss

wurde für die Entfernung der Kernbrennstoffe aus der Anlage genutzt. Seit 1. Oktober 1996 ist die Anlage kernbrennstofffrei. Zudem wurde im November 1995 unter anderem mit vorbereiteten Arbeiten zum Rückbau der beiden Kühltürme begonnen /BFS 98/. Die Phase des Stillstandsbetriebs wurde auch genutzt, um durch Probenahmen und Messungen einen Dosisleistungsatlas zu erstellen, welcher dabei hilft den Umfang der ersten Rückbauschritte festzuhalten und zu kennzeichnen /EON 03/ (Pos. 1.3).

Die Stilllegungs- und erste Rückbaugenehmigung wurde am 14. April 1997 erteilt. Diese beinhaltet die Stilllegung mit Erlaubnis zum Restbetrieb, den Abbau der Phase 1 und die Beschreibung von Trenn- und Dekontaminationsverfahren /MWM 97/. Die zweite Rückbaugenehmigung wurde am 6. Januar 1998 erteilt, womit die Phase 2 des Rückbaus genehmigt wurde. Gleichzeitig werden die endzulagernden metallischen radioaktiven Abfälle auf 10 % des Gesamtanteils begrenzt /MWM 98/. Mit der dritten Rückbaugenehmigung vom 14. Juli 1999 wurde die Phase 3 des Rückbaus genehmigt. Sie beinhaltete auch die Verpflichtung zur Überarbeitung des Nuklidvektors zwecks Freigabemessungen /MWM 99/, /GRS 19a/. Mit der vierten Rückbaugenehmigung vom 6. September 2002 wurde die Phase 4 und 5 sowie Änderung der Nutzung des UNS-Gebäudes genehmigt /MWM 02/, /GRS 19a/ (Pos. 1.2).

Bei der Stilllegung wurde sich für den direkten Abbau der Anlage zur „Grünen Wiese“ entschieden, da zum einen die bestehende Infrastruktur aus der Betriebszeit genutzt werden konnte und zum anderen das Personal weiterbeschäftigt werden konnte /EON 03/. Das Standortkonzept sah vor, Teile des Fundamentes der Gebäude unter der Geländeoberkante im Boden zu belassen und mit dem beim Abriss anfallenden Bau-schutt zu verfüllen. Dies erforderte einen neuen Freigabebescheid nach § 29 StrlSchV (alt). Der Bescheid der Freigabe der Bodenflächen auf dem Anlagengelände wurde im Dezember 2017 erteilt. Dies stellt den ersten Bescheid im zukünftig sogenannten „Zwei-Bescheid-Verfahren“ dar /ASK 18a/. Damit konnten etwa 116.000 m² Bodenflächen, für die die Einhaltung der Freigabewerte nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 7 StrlSchV /SSV 01/ nachgewiesen war, freigegeben werden. Das Anlagengelände bleibt als Betriebsgelände nach § 3 Absatz 2 Nummer 7 StrlSchV (alt) eingestuft /GRS 19a/. Im Jahr 2018 sollten planmäßig die Entscheidungsmessungen zum Nachweis der Unterschreitung der Freigabewerte nach Anhang III Tabelle 1 Spalte 10 StrlSchV (alt) /SSV 01/ (Gebäude zum Abriss) abgeschlossen sein /GRS 19a/ (Pos. 1.5).

2.3.7.2 Prozesse

Für die Erprobung von den Verfahren und Prozessen der Gebäudedekontamination und Freigabe wurden Musterräume im Maschinenhaus und Reaktorgebäude freigeräumt. In diesen Musterräumen wurden Dekontaminationsverfahren, Messtechniken und entsprechende Planung-, Freigabe und Dokumentationsprozesse erprobt. Auf Basis der gesammelten Erfahrungen wurde die Gebäudedekontamination und Freigabe weiter optimiert /EON 09/, /KKW 07/ (Pos. 2.1).

Seit 2021 wird ein Testzentrum im Reaktorgebäude betrieben, in dem das Projektteam die Digitalisierung von Prozessen, die im Rahmen der Gebäudedekontamination und -freigabe (GeDuF) durchgeführt werden müssen, erprobt. Das Ziel ist es, optimale Prozesse und Technologien zu finden, die die Dauer der Gebäudedekontamination und -freigabe im Rückbauprojekt reduzieren, indem Arbeitsschritte standardisiert werden. Im KWW dauerte die Untersuchung, Messung und ggf. Reinigung im Rahmen der GeDuF von 50.000 m² sieben Jahre /PEL 18b/ (Pos. 2.1).

Für diese Zerlegearbeiten von Steuerstabführungsrohren und Strahlpumpen wurde in einem Zeitraum von drei Monaten im Zweischichtbetrieb gearbeitet. Pro Schicht wurden 110 Steuerstabführungsrohre und 18 Strahlpumpen zerlegt und verpackt. Für die Zerlegung des Dampfwaterabscheiders wurde in einem Zeitraum von sieben Monaten im Zweischichtbetrieb mit durchschnittlich 10 Personen pro Schicht gearbeitet. Pro Schicht wurden ca. 35 Mg Stahl zerlegt und verpackt /GRS 10/ (Pos. 2.3).

Die Zerlegung der beweglichen Einbauten im Absetzbecken erfolgte im Zweischichtbetrieb von Januar bis August 2007. Der Ausbau, die vollständige Zerlegung und die Verpackung der festen RDG-Einbauten erfolgte im Dreischichtbetrieb von April bis Oktober 2008 /KON 09/ (Pos. 2.3).

Mit dem Einlagerungsstopp im Endlager Morsleben am 25. September 2008 musste die Entsorgungsstrategie geändert werden. Die schwach radioaktiven Abfälle wurden in die Transportbereitstellungshalle eingelagert. Dabei wurde das Konzept der strikten Minimierung des radioaktiven Abfalls erstellt. Dieses beinhaltet die intensive Trennung und Sortierung der Reststoffe mit dem Ziel den Anteil an Material zu erhöhen, welches freigebenden, wiederverwendet oder verbrannt werden kann /EON 09/ (Pos 2.4).

2.3.7.3 Rückbautechniken/-Strategien

Der Rückbau des KKW erfolgt in sechs Phasen, welche jeweils mit einem atomrechtlichen Antrag bei der jeweiligen Genehmigungsbehörde beantragt werden müssen. Die Stilllegungs- und erste Rückbaugenehmigung (Phase 1) wurde am 14. April 1997 erteilt. Die zweite bzw. dritte Rückbaugenehmigung (Phase 2 bzw. 3) folgte im Jahr 1998 bzw. 1999. Die vierte Rückbaugenehmigung (Phase 4 und 5, sowie Änderung der Nutzung des UNS-Gebäudes) wurde 2002 erteilt. Die sechste Phase beinhaltet den Abbruch der Gebäude und die Rekultivierung /GRS 19a/ (Pos. 3.1).

Beim Rückbau wurde die Strategie verfolgt, zunächst die gering kontaminierten, dann die höher kontaminierten und zuletzt die aktivierten Anlagenteile rückzubauen. Phase 1 beinhaltet die Stilllegung, den Restbetrieb sowie den Rückbau von schwach kontaminierten Systemen (vorwiegend Bauteile im Maschinenhaus und UNS-/SAS-Gebäude). Mit den stärker kontaminierten Komponenten wird in der zweiten Phase begonnen (Reaktorgebäude, Maschinenhaus, Konzentratlager, Revisions- und Lagergebäude, Feststofflager sowie Umleitstation oder Armaturen und Rohrleitungen verschiedener Systeme). Der Rückbau des Sicherheitsbehälters und das Entfernen aktivierter Anlagenteile erfolgt in Phase 3. In Phase 4 wird der RDB mit verschiedenen Einbauten, das Biologische Schild sowie die Lagerbeckenebene rückgebaut und das leere UNS-Gebäude zum Lager für radioaktive Abfälle umgebaut. Der Rückbau der restlichen Anlagenteile im Kontrollbereich, die Reinigung, die Dekontamination, die Freigabe des Kontrollbereiches und der Gebäude sowie Entlassung aus dem Atomgesetz erfolgen in der Phase 5. Die 6. Phase beinhaltet den konventionellen Abriss der Gebäude und die Rekultivierung des Kraftwerksgeländes zur „Grünen Wiese“ /GRS 19a/ (Pos. 3.2).

Für den direkten Abbau konnte die bestehende Infrastruktur aus der Betriebszeit des KKW genutzt werden. In der dritten Phase wurde mit den Vorbereitungsarbeiten, der Einrichtung der Zerlegetechnik und dem Aufbau eines Konditionierungszelts auf dem Feststofflager begonnen /EON 08b/ (Pos. 3.5).

Im Jahr 2004 wurde die Konditionierungsstraße (KDS) für radioaktive Abfälle aufgebaut und kalterprobt. Die modulare Einrichtung auf der 41-m-Ebene des Reaktorgebäudes dient der Trocknung und Verpackung der radioaktiven Abfälle, die beim Rückbau des RDB mit Einbauten anfallen /EON 09/ (Pos. 3.5).

Für die Demontage der Kondensationskammer wurden zwei Sonderkrananlagen aufgebaut /KKW 07/. Im Maschinenhaus wurden Einrichtungen zur Nachzerlegung, Dekontamination, Materialtrennung, Vor- und Freimessung und eine 2.000 Tonnen-Hochdruckpresse betrieben /EON 09/. Nach der Demontage der Hilfsdampfversorgung im Kontrollbereich wurde der freigewordene Raumbereich für die Vormessung genutzt /KKW 07/ (Pos. 3.5).

Für die Rückbauarbeiten wurden folgende Zerlegeverfahren und Techniken eingesetzt: /EON 09/, /KON 09/, /EON 03/

- Sägen (Seil-, Band-, Stich-, Kreissäge)
- Hydraulikscheren
- Schneidbrenner
- Blechschredder
- Fräsen
- Wasserabrasivstrahlschneiden (WASS)
- Wasserabrasivinjektionsschneiden (WAIS)
- Unterwasserschere

Der Deckel des Reaktordruckgefäßes wurde mit der Technik des Wasser-Abrasiv-Injektionsschneidens zerlegt /EON 09/ (Pos. 3.6).

Die Technik des Wasser-Abrasiv-Injektionsschneidens wurde beispielsweise für die Zerlegung des Deckel des Reaktordruckgefäßes verwendet /EON 09/. Die Zerlegung der RDB-Einbauten erfolgte fernhantiert unter Wasser mittels Stichsäge, Bandsäge, Hydraulikschere, Fräse und erstmalig im KKW mittels WASS. Dabei wurden die herausgelösten Komponenten unter Wasserabdeckung in das Absetzbecken transportiert, wo sie weiter zerlegt wurden und in den Primärbehälter eingestellt. Nach Trocknung in der Konditionierungsphase wurden die Komponenten kontaminationsfrei verpackt und in Transport-Abschirmbehälter in das UNS-Gebäude transportiert /GRS 10/, /GRS 19a/ (Pos. 3.6).

Der Reaktordruckbehälter, seine Standzarge und die Deckelschrauben wurden aufgrund der hohen Kontamination in zwei Klassen eingeteilt. Die stark aktivierten Bereiche in Nähe des Reaktorkerns wurden der Klasse I zugeordnet. Die Zerlegung dieser Bereiche

erfolgte vorzugsweise mechanisch mittels einer Bandsäge. Der restliche Bereich des RDB wurde der Klasse II zugeordnet. Für die Zerlegung der gering aktivierten Bereiche kann ebenfalls eine Bandsäge, aber auch das Autogenbrennschneiden zur weiteren Zerlegung angewandt werden. Für die gering aktivierten Bauteile, wie Deckelflansch oder Standzarge sowie die geometrisch komplizierten Bauteile wird auch eine manuelle Zerlegung in Betracht gezogen /TÜV 01/ (Pos. 3.6).

Die Zerlegung von Steuerstabführungsrohren und Strahlpumpen erfolgte komplett unter Wasser. Für die Vorzerlegung wurde eine Bandsäge und für die Nachzerlegung wurde ein Nibbler eingesetzt. Beide mechanischen Methoden sind Standardtrennverfahren. Es werden dabei keine Aerosole freigesetzt, die das Wasser trüben und die Sicht einschränken könnten. Zudem können die anfallenden Schneidspäne einfach ohne aufwendige Wasserreinigungs- und Wasserfiltrationsgeräte eingesammelt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass mit Ausnahme der Verschleißteile kein Sekundärabfall anfällt /GRS 10/ (Pos. 3.6).

Die Zerlegung des Dampfwaterabscheiders erfolgte fernhantiert unter Wasser mittels Stich- und Bandsäge /DUW 07/. Die Demontage der Kernsprühringleitungen erfolgte mit WASS /GRS 10/ (Pos. 3.6).

Die Zerlegung der RDB-Einbauten erfolgte fernhantiert unter Wasser mittels Stichsäge, Bandsäge, Hydraulikschere, Fräse und WASS. Das Wasser-Abrasiv-Suspensions-schneiden wurde für die Zerlegung der Kerngitter und des Kerndeckels verwendet und erfolgte in einer Becken-in-Becken-Konstruktion um die Ausbreitung des Abrasivmittel-Trennfugenmaterial-Gemischs zu minimieren /GRS 10/ (Pos. 3.6).

Die Zerlegung der Dampftrockner 1 und 3 erfolgte außerhalb des RDB fernhantiert mit einer Diamantensäge /RUN 05/, /RUN 07/. Es wurden fünf Schnitte mit einer reinen Sägezeit von 345 h durchgeführt /GRS 10/ (Pos. 3.6).

Aus Strahlenschutzgründen wurde der Biologische Schild erst nach der Demontage des RDB abgebaut (Pos 3.2). Als Trennwerkzeuge wurden Seilsägen und Kreissägen eingesetzt (Pos. 3.6) /GRS 19a/.

2.3.7.4 Radiologische Charakterisierung

Für die Bildung von Nuklidvektoren wird ein Optimierungsverfahren angewandt. Dieses erfüllt gleichzeitig die Anforderungen aus der Berücksichtigung von flächen- und massenbezogenen Freigabewerten und von den maximalen Hochrechnungsfaktoren gemäß DIN 25457. Der entsprechende konservative Nuklidvektor soll verhindern, dass die nicht messbare Aktivität beim Freigabeverfahren unterschätzt wird. Mit dem Optimierungsverfahren sollen die drei Ziele Konservativität hinsichtlich der massenspezifischen Freigabewerte, hinsichtlich der flächenspezifischen Freigabewerte und hinsichtlich der Hochrechnungsfaktoren möglichst gut erreicht werden. Für jedes gefundene Radionuklid wird ein Mittelwert und die Standardabweichung der Aktivitätsanteile gebildet. Durch Variation der jeweiligen Mittelwerte für jedes Radionuklid innerhalb der Standardabweichung wird das Maximum der Summe der drei Summenformeln, flächen-, massenbezogene Freigabewerte und Hochrechnungsfaktor gebildet /SSK 05/, /BOT 09/ (Pos. 4.2).

Ende Juli 1996 wurden die letzten Brennelemente inklusive der zwei defekten Brennstäbe zur Wiederaufbereitung abtransportiert /KKW 96/, /BFS 98/ (Pos. 4.5).

2.3.7.5 Messtechnik

Für die radiologische Charakterisierung werden zunächst die vorliegenden Radionuklide bestimmt. Die Bestimmung der Aktivitätsverteilung wird auf der Oberfläche und in der Tiefe nach Bohrungen oder Schnitten sowie an „Hot Spots“ durchgeführt. Es erfolgen Dosisleistungsmessungen, Messungen mit Kontaminationsmonitoren, gammaspektrometrische Messungen an Proben und In-situ-Gammaspektrometrie (mittlerer Wert der flächenbezogenen Aktivität). Die Mittelungsfläche bei den Messungen beträgt 10 m² /WÖR 11/ (Pos. 5.1).

Im ersten Schritt der radiologischen Charakterisierung wird ein Dosisleistungsscreening durchgeführt. Wird eine Dosisleistung von über 30 µSv/h lokalisiert, erfolgt eine nähere Untersuchung des Bereichs, eine Beprobung und ggf. die Festlegung des Dekontaminationsumfangs. Im nächsten Schritt erfolgt die Dekontamination von allen Bereichen mit einer Dosisleistung über 1 µSv/h oder mit einer Überschreitung von Freigabewerten. Im Anschluss wird die Bestimmung der Aktivitätsverteilung durchgeführt. Die laterale Verteilung wird mit Hilfe von Kontaminationsmonitoren bestimmt. Die Messungen erfolgen auf der Oberfläche und in der Tiefe nach Bohrungen oder Schnitten. Dabei werden mehrere Bohrlöcher mit steigender Eindringtiefe gebohrt und das Bohrmehl aus jeder dieser

Tiefen vermessen. Unmittelbar nach der Dekontamination durch Materialabtrag wird die Kontrollmessung durchgeführt. Dies ermöglicht die Nachbesserung von nicht ausreichend abgetragenen Stellen. Die Kontrollmessung erfolgt mit Hilfe von Dosisleistungsmessungen, Kontaminationsmonitoren und In-situ-Gammaspektrometrie. Die Entscheidungsmessungen, zum Nachweis der Einhaltung der Freigabewerte erfolgen mittels In-situ-Gammaspektrometrie (auf der gesamten Mittelungsfläche von ca. 10 m² oder auf größeren Flächen, aber in Bezug auf die Mittelungsfläche) oder mittels Kontaminationsmonitoren mit statistischer Auswertung /WÖR 11/ (Pos. 5.1).

Zur Unterstützung des Freigabeverfahrens wurde das „Programm zur Unterstützung der Gebäudefreigabe“ (PUG) verwendet /WÖR 11/ (Pos. 5.1).

Das UNS-Gebäude wurde im September 2001 freigemessen und gutachterlich abgenommen. Dafür waren mehr als 10.000 Messungen nötig /EON 09/ (Pos.5.1).

Im Jahr 2018 wurden Entscheidungsmessungen zum Nachweis der Unterschreitung der Freigabewerte nach Anhang III Tabelle 1 Spalte 10 StrISchV (alt) (Gebäude zum Abriss) und Freimessungen auf dem Außengelände zum Nachweis der Unterschreitung der Freigabewerte nach Anhang III Tabelle 1 Spalte 7 StrISchV (alt) /SSV 01/ (uneingeschränkte Freigabe von Bodenflächen) durchgeführt /ASK 15b/ (Pos. 5.1).

Die Beprobung und Untersuchung der Nuklidverteilung von Systemen vor dem Rückbau ergaben Schwankungen innerhalb der Stichproben. Der Betreiber hat daraufhin festgelegt für ein System oder einen Systemabschnitt einen abdeckenden Nuklidvektor festzulegen mit welchem die Freimessanlage konservativ kalibriert wird /TÜV 97/ (Pos. 5.6).

Für Materialuntersuchungen wurden 3.957 Stück 200 l-Fässer in das ERAM sowie bestrahlte Materialsegmente aus einem Brennelement zum Institut für Transurane (Karlsruhe, Gelände des KIT) gebracht /KWW 95/ (Pos. 5.5).

Die volumengebundenen Aktivitäten des biologischen Schildes wurden durch Beprobung von verschiedenen Stellen bestimmt. Die Proben des Normalbetons einschließlich Stahlarmierung und verlorene Stahlschalungen sowie des Isoliermaterials der thermischen Isolierung wurden γ -spektrometrisch auf die relevanten Nuklide Co-60, Ba-133, Cs-134, Eu-152 und Eu-154 untersucht. Für die Bestimmung der nicht γ -spektrometrisch messbaren Nuklide, wie H-3, Ca-41, Fe-55 oder Ni-63 wurden die Proben an ein externes Labor der Universität Regensburg versandt. Aus den erhaltenen Daten wurden die

Nuklidvektoren für den Baustahl und den Beton des biologischen Schildes bestimmt /TÜV 01/ (Pos. 4.2 und 5.5).

2.3.7.6 Dekontaminationstechniken

Bei der radioaktiven Belastung von Komponenten handelt es sich zum Großteil um eine Oberflächenkontamination. Beim Bau des Kernkraftwerks wurden die Oberflächen vieler Bauteile zur Erleichterung der Dekontamination mit einem porenfüllenden Spezialanstrich behandelt. Diese Oberflächen konnten größtenteils durch Abwaschen oder Abreiben vollständig dekontaminiert werden. Die Entfernung der Kontamination aus Rissen und Poren im Material wurde mechanisch oder chemisch durch verschiedene Techniken durchgeführt. Zu den angewandten Dekontaminationstechniken gehören Stahlkiesstrahlen, Hochdruckwasserstrahlen und Spülen mit chemischen Lösungen. Für zerlegte Komponenten mit leicht zugänglichen Oberflächen wurde vorwiegend das Stahlkiesstrahlen gewählt. Das Spülen mit chemischen Lösungen wurde für die Dekontamination kompletter Teilsysteme vor der Demontage eingesetzt /EON 03/ (Pos. 6.1) .

Für Dekontaminationsarbeiten an Gebäudeoberflächen wurden unterschiedliche, staubarme Techniken eingesetzt. Der Abtrag am Boden von Dekontbeschichtung, Estrich und Beton erfolgte mittels Bodenfräsen. Für die großen Räume wurde für den großflächigen Dekontaminationseinsatz die „sat-Wandfräse“ verwendet /GRS 19a/ (Pos. 6.1).

Die Kondensationskammer wurde mittels Stahlkiesstrahlen komplett entschichtet. Insgesamt wurde 2.500 m² Fläche bearbeitet wurden und 4 Mg vom Beschichtungsstoff Protex DR abgetragen. Diese Maßnahme konnte den Infrastrukturaufwand im Rahmen der Demontage deutlich reduzieren /KWW 05/ (Pos. 6.1).

Von den 168 frischen Brennelementen, die sich zum Zeitpunkt des Stilllegungsbeschlusses in der Anlage befanden, konnten 64 Brennelemente an den amerikanischen Energie- und Anlagenkonzern General Electric (GE) abgegeben werden. Die anderen 104 Brennelemente waren bereits in das Lagerbecken eingesetzt, wodurch diese kontaminiert waren. Für die Dekontamination wurden die BE zerlegt und einzeln dekontaminiert /GRS 19a/ (Pos. 6.3).

Die Segmente des Deckels des Reaktordruckgefäßes wurde mithilfe von zwei Stahlkies-Strahlkabinen auf dem Turbinenflur dekontaminiert. Die Betonriegel wurden nach Zerlegung durch eine Seilsäge in transportable Stücke mittels Abfräsen oder Abnadeln dekontaminiert /EON 09/ (Pos. 6.1).

2.3.8 Forschungsstandort Rossendorf

In den folgenden Unterkapiteln wurden die Positionen des Fragenkatalogs mit Hilfe von Videokonferenzen mit VKTA (hier wird der Mitschrieb von Mitarbeitern von TÜV NORD und GRS berücksichtigt) und deren Unterbeauftragung so weit wie möglich beantwortet. Teilweise wurde auch die zur Verfügung stehenden Literatur ausgewertet, um die Fragen ergänzend zu beantworten. Die entsprechenden Positionen im Fragenkatalog (siehe Abschnitt 2.3.4) sind der Übersicht halber in Klammern angegeben.

2.3.8.1 Allgemein

Im Zuge des politischen Umbruchs und des politisch motivierten Betriebsendes des Forschungsreaktors im Jahr 1991 wurde der FSR neu strukturiert. Dem VKTA fiel dabei die Aufgabe des Rückbaus der wesentlichen Teile der nuklearen Altanlagen zu. Im Zuge dessen wurden die Anlagen in Rückbaukomplexe gegliedert parallel /VKT 21/:

- Rückbaukomplex 1: Forschungsreaktoren
- Rückbaukomplex 2: Isotopenproduktionsanlagen
- Rückbaukomplex 3: Sammel- und Behandlungsanlagen (inklusive der speziellen Kanalisation)

Innerhalb der Rückbaukomplexe wurden sogenannte Teilprojekte oder Abbruchbereiche definiert, die teils einzeln, teils parallel bearbeitet wurden. Das Rückbaugeschehen im VKTA lief in allen Rückbaukomplexen über lange Zeiten parallel /VKT 21/.

Die Zuordnung der einzelnen Anlagen zu den Rückbaukomplexen erfolgte aufgrund ihrer räumlichen Lage, die ihrerseits an funktionalen Gesichtspunkten ausgerichtet war. Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs wurden teils in einzelnen Projekten gefasst, teils dem Rückbaukomplex 2 zugeschlagen. Die vorhandenen atom- bzw. strahlenschutzrechtlichen Genehmigungen wurden sukzessive an die neue Zuordnung angepasst bzw. neue Genehmigungen erwirkt /VKT 21/.

Wenngleich der Rückbaukomplex 1 „Forschungsreaktoren“ die größte Außenwirkung hat, wies der Rückbaukomplex 2 aufgrund der Verschiedenartigkeit der einzelnen Anlagen die größte Komplexität und der Rückbaukomplex 3 nebst den über den FSR verstreut liegenden Anlagen der speziellen Kanalisation die größte flächenmäßige Ausdehnung auf /VKT 21/.

(Pos. 1.1) Es gab insgesamt vier Stilllegungsgenehmigungen (mit vielen Einzelgenehmigungen), welche zusammen mit ihren Änderungen die Grundlage für die Stilllegung und den Rückbau des Forschungsreaktors Rossendorf (RFR) bildeten. Die vier Stilllegungsgenehmigungen hatten im Wesentlichen die folgenden Punkte zum Inhalt: /KNA 19/, /SMU 19/:

1. Genehmigung (erteilt am 30.01.1998, Änderung am 06.11.2000): Innehaben der Anlage, Umgang mit Kernbrennstoffen mit dem Ziel der Entsorgung, teilweise Außerbetriebnahme nicht mehr erforderlicher Systeme
2. Genehmigung (erteilt am 30.10.1998, Änderung am 11.02.1998): Rückbau des 2. Kühlkreislaufs
3. Genehmigung (erteilt am 03.04.2001): Entsorgung Betriebsmedien, Außerbetriebnahme/Rückbau nicht mehr benötigter Systeme und Komponenten (u. a. Rückbau des 1. Kühlkreislaufs, des Speisewassersystems und des Reaktorbehälters; insgesamt 14 Vorhaben)
4. Genehmigung (erteilt am 01.02.2005, Änderungen am 09.11.2010, 09.01.2014): Abbau der Restanlage des RFR (u. a. Rückbau aktivierter und kontaminierter Restkomponenten und Baustrukturen, Abbau von Lüftungs- und filtertechnischen Anlagen; insgesamt 18 Vorhaben mit 22 Erläuterungsberichten)

Die 2. Änderung der 4. Stilllegungsgenehmigung wurde notwendig, da die ursprüngliche Planung des VKTA, welche einen konventionellen Abriss des Reaktorgebäudes nach Freigabe an der stehenden Struktur vorsah, aufgrund der radiologischen Situation vor Ort nicht umsetzbar war. Somit musste ein Abriss unter strahlenschutzrechtlichen Bedingungen erfolgen.

Die Durchführung der Freigabe war weitgehend entkoppelt von den Stilllegungsgenehmigungen und wurde im behördlichen Freigabebescheid von 2005 grundlegend geregelt. Demnach wurden freigaberelevante Messungen entsprechend eines in Fachanwei-

sungen geregelten und qualifizierten Verfahrens durchgeführt und waren in jedem Rückbauschritt grundsätzlich anwendbar. Abweichungen wurden im Rahmen von Freimessprogrammen spezifiziert und mit den zuständigen Aufsichtsbehörden abgestimmt.

Die Rückbaureihenfolge erfolgte nach der möglichen Verwendung im Rückbau:

- Isotopenproduktionsanlage
- Behandlungsanlage
- Reaktor

Der Rückbau der Behandlungsanlage und des Reaktors fand aufgrund der räumlichen und teils baulichen Verbindung gemeinsam statt.

Eine Haushaltssperre von 2 Jahren hat den Rückbau um geschätzte 4 Jahre verzögert. Insgesamt hat der Rückbau ca. 20 Jahre gedauert.

Zusätzlich zu den großen Genehmigungen wurde viel mit Änderungsgenehmigungen und Erläuterungsberichten gearbeitet.

Es gab einen Freigabebescheid, der im Jahr 2005 ausgestellt wurde.

Es hat keine Gesamtbegutachtung aller Prozesse im Vorwege gegeben. Die einzelnen Verfahren wurden jeweils qualifiziert und durch teilweise unterschiedliche Sachverständige begutachtet. Es gab daher eine Entkopplung von der Genehmigung und den angewandten Verfahren.

(Pos. 1.2) Änderungen im Regelwerk haben den Rückbaufortschritt und den Massenfluss in der Freigabe nicht beeinflusst (da oberstes Ziel war, die Messverfahren rechtzeitig erarbeitet bzw. angepasst zu haben). Die Anpassung der Regelungen und Verfahren an die DIN ISO 11929 hat wenig Probleme bereitet. Die Messverfahren wurden einzeln qualifiziert. Die Qualifizierung wurde alle 4 Jahre überprüft und ggf. revidiert. Ein zusätzlicher Aufwand, die Verfahren an Änderungen im Regelwerk anzupassen, bestand dennoch.

Neben den in der Besprechung mitgeteilten Informationen fanden sich in der Literatur noch folgende Informationen:

Allerdings mussten nach Inkrafttreten der StrlSchV (alt) /SSV 01/ die damals neuen Regelungen interpretiert und angewendet werden. Dies erforderte detaillierte Planungen in Bezug auf den Mengenanfall in den Kategorien „uneingeschränkt frei“ und „frei zur Beseitigung“. So musste die Abgabe pro Jahr und ggf. eine Zwischenlagerung über das Projektende hinaus sowie die Möglichkeit zur Verwertung innerhalb der Rückbauprojekte sorgfältig eingeplant werden /VER 05/, /VER 06/.

Durch die neue Deponieverordnung, welche am 01.06.2005 in Kraft trat, mussten insbesondere für zur Beseitigung freigegebene Stoffe neue Entsorgungswege beschrrieben werden. So musste ab diesem Zeitpunkt eine grundsätzliche Trennung in brennbare und nicht brennbare Stoffe erfolgen und somit auch viele aus radiologischer Sicht gleich zu bewertende Vorgänge aufgrund ihrer stofflichen Zusammensetzung aufgetrennt werden /VER 05/, /VER 06/, /VER 07/.

(Pos 1.3) Es wurden für den Rückbau keine neuen Freigabebescheide erwirkt. Die Messanleitungen waren unabhängig vom Freigabebescheid. Es gab eine Zustimmungserfordernis durch die Behörde vor erstmaliger Anwendung im Rahmen der Freigabe.

Von Seiten von VKTA wurde festgestellt, dass es eine „gleitende“ Planung der Freigaben gab, die eher unabhängig vom Rückbau selbst waren. Im Zusammenhang mit Freigaben stehende Vorkehrungen werden als Teil der notwendigerweise zu schaffender genereller Infrastruktur zum Rückbau gesehen. Durch die gleitenden Verfahren gab es immer laufende Messverfahren. Somit gab es keine signifikante Verzögerungen.

(Pos. 1.4) Optimierungsbedarf in Bezug auf die Stoffströme wurde in Hinblick auf die Homogenisierung von Materialien identifiziert.

Im Falle der Bodenfreigabe wurde ein Verfahren zur Homogenisierung von Erdreich qualifiziert. Dabei wurden mittels Oberflächenscreening durch gesamtzählende Messverfahren oder In-Situ-Gammaspektrometrie Hot-Spots ausfindig gemacht und dann entfernt. Nach der Homogenisierung erfolgte die Freigabe anhand von stichprobenartig (durch repräsentative Probennahme im homogenisierten Volumen) erzeugten Gebinden, welche in der FMA entscheidungsgemessen wurden. Es wurde ebenfalls versucht, ein analoges Verfahren zur Homogenisierung und Freimessung von Betonbruch zu qualifizieren, allerdings aufgrund von Schwierigkeiten beim Ausschluss von Inhomogenitäten erfolglos.

Das Verfahren zur Homogenisierung von Erdreich hatte erheblichen Einfluss auf den Massenstrom der Freigabe hatte.

(Pos 1.5) Es hat ein Herausgabeverfahren gegeben. Dies wurde allerdings aufgrund der Betriebshistorie nur im Einzelfall eingesetzt, beispielsweise bei den Entlüftungsanlagen. Es wurden alle Gebäude freigegeben (sofern in einem Genehmigungsbereich). Teilweise wurde der Genehmigungsbereich aus logistischen Gründen erweitert. Für diese Bereiche wurde ebenfalls ein Freigabeverfahren durchgeführt.

(Pos. 1.6) Die für die jeweilige Freigabe notwendigen Verfahren wurden vorher streng qualifiziert. Die Freigabe konnte dann selbstständig festgestellt werden.

Bei dem Freigabeverfahren von Strukturen und Böden wurde zuerst eine Vormessung durchgeführt. Anhand der Vormessungen wurde ein Freimessprogramm erstellt. Diesem Freimessprogramm wurde von der Aufsichtsbehörde zugestimmt. Nach der Freimesung wurde ein Bericht erstellt, dieser wurde von einem Gutachter geprüft. Im Anschluss folgte die Bestätigung der Freigabe durch die Aufsichtsbehörde. Im Falle der Freigabe von Baugruben, Gebäuden, und Bodenflächen erfolgten in der Regel gutachterliche Messungen.

(Pos. 1.6) Hinsichtlich des Aufsichtsverfahrens im Hinblick auf die Freigabe zwei Verfahrenswege /KNA 20/:

- Für den kontinuierliche laufenden Massenstrom an Reststoffen (z. B. Bauschutt) wurde die Freigabe auf Grundlage des Bescheids und des behördlich zugelassenen qualifizierten Messverfahrens vom Betreiber selbst festgestellt. Die Bewertung erfolgte durch den Freigabebeauftragten und die Freigabe im Falle einer Übereinstimmung mit den Festlegungen des auf dem Freigabebescheid beruhenden innerbetrieblichen Regelwerks. Dabei gab es eine umfangreiche und engmaschige Berichtspflicht an die Behörde, welche mit Hilfe eines eigens dafür eingeführten Datenbanksystems umgesetzt wurde. Zusätzlich wurden Kontrollen seitens der Behörde durchgeführt. Die enge Aufsicht der Behörde wurde als sehr konstruktiv empfunden.
- Insbesondere bei der Freigabe von Gebäuden/Gebäudestrukturen zur Weiterverwendung bzw. zum Abriss und auch von Baugruben und Gräben zur Verfüllung sowie von Bodenflächen wurden mit der Behörde abgestimmte Freimesspro-

gramme vom VKTA aufgestellt und durchgeführt. Nach der betrieblichen Freigabe und Dokumentenübermittlung an das SMUL, erfolgte in der Regel eine Bewertung mit ggf. Kontrollmessungen durch hinzugezogene Sachverständige. Anschließend wurden die Ergebnisse durch die Behörde überprüft und ggf. die Freigabe erteilt.

2.3.8.2 Prozesse

(Pos 2.1) Wichtiger Grundsatz beim Rückbau des RFR und der weiteren kerntechnischen Anlagen des Standortes war die Definition und Anwendung eines qualifizierten Freigabeverfahrens, welches *unabhängig* vom einzelnen Rückbauschritt funktionierte. Über diesen Verfahrensweg, der für den kontinuierlichen laufenden Massenstrom an Reststoffen (z. B. Bauschutt) Anwendung fand, liefen ca. 90 % der freigegebenen Massen. Die Freimessverfahren wurden unabhängig vom Abbauprozess entwickelt. Daher sollte bspw. ein Ausfall der Freimessanlage (FMA) nicht zu einer Verzögerung beim Rückbau führen.

Der Prozess der Freigabe war demnach standardisiert und folgte dem auf dem Freigabebescheid beruhenden Regelwerk, so dass durch Änderungen im Rückbau keine nennenswerten Einflüsse auf den Massenstrom der Freigabe auftraten.

Es wurden Freigabechargen gebildet, in Abhängigkeit von Nuklidvektor, Messverfahren, Genehmigungsbereich und Material. Generell gab es aufgrund der starken radiologischen Unterschiede auf kleinem räumlichen Maßstab viele verschiedene Chargen mit teilweise sehr wenigen Gebinden.

(Pos. 2.2) Weiterhin wurde das Thema interner Erfahrungsrückfluss und Kommunikation im Freigabeverfahren besprochen. Es fand intern ein reger Erfahrungsaustausch statt. Es waren teils bis zu 100 Personen direkt oder indirekt im Rückbaugeschehen involviert. Davon waren viele bereits während des Betriebs des Forschungsreaktors beschäftigt gewesen. Der Rückbau wurde unter Strahlenschutzbeteiligung geplant und im 4-Augen-Prinzip durchgeführt. Es sollte sichergestellt werden, dass im Vorwege möglichst der ganze Prozess sichergestellt war. Die Rückbauplanung zur technischen Umsetzung der einzelnen Teilwerke erfolgte durch externe Firmen, die übergeordnete strategische Planung und Rückbauleitung unterlag allein dem VKTA. Die für die verschiedenen Projekte eingesetzten Rückbauleiter wurden so eingesetzt, dass sie das Projekt bis zum Ende betreuen konnten.

(Pos 2.3) Ein Mehrschichtbetrieb fand nur bei Einsatz von Fremdfirmen und hauptsächlich im Bereich der handwerklichen Prozesse statt.

Die beiden folgenden Unterpunkte aus (Pos. 2.4) des Fragenkatalogs (siehe Abschnitt 2.3.4) wurden (von VKTA) gemeinsam beantwortet:

- Wie wurde die Entsorgungslogistik im Hinblick auf die Freigabe gestaltet?
- Grundlegende Strategie (wie wurde die Entsorgung und einzelne Entsorgungspfade gestaltet und abgestimmt, um Reststoffabfluss sicherzustellen)?

Ziel der Rückbauplanungen war, einen möglichst gleichmäßig verlaufenden Rückbau zu organisieren, der einen möglichst stetigen Fortschritt erzielt, ohne die vorhandenen personellen, materiellen und räumlichen Ressourcen partiell überzustrapazieren. Doch auch ein stetig ablaufender Rückbau hat einen unregelmäßigen Massenanstieg in den einzelnen Massenströmen zur Verabfallung, zur Dekontamination und Stoffe zur Freigabe zur Folge. Dies liegt in der Natur der Sache:

- Der größte Anfall radioaktiver Abfälle entsteht meist in den frühen Phasen eines Rückbauprojekts oder -teilprojekts, da nach Einrichtung des jeweiligen Bereichs und Herstellung aller weiteren technischen Voraussetzungen zunächst damit begonnen wird, die höchsten Aktivitäten aus den Anlagen zu entfernen. Dies erfolgt im Prozess des Leerfahrens der Anlagen mit den noch weitgehend vorhandenen und intakten Altanlagen und daran anschließend dem (fernhandhabten und/oder manuellen) Ausräumen und der Grobdekontamination der Anlagen und Gebäudestrukturen.
- Der Anfall von Reststoffen und vor allem Objekten zur Dekontamination ist über die Rückbauspanne betrachtet stetiger. Sein Maximum liegt erfahrungsgemäß in der zeitlichen Mitte des Rückbaugeschehens. Im VKTA wurde von vornherein entschieden, ob es im jeweiligen Rückbauprojekt eine Dekontamination vor Ort, d. h. im Rückbaubereich, in einer Dekontaminationsanlage oder beides geben soll. Die Dekontamination vor Ort bietet folgende Vorteile:
 - Arbeiten zur Herstellung kontaminationsfreier Umverpackungen sind nicht notwendig
 - Die Anforderungen an die Transportsicherheit sind geringer (kein Straßentransport, Einsatz Flurförderfahrzeuge)

- Entfall von Reststofftransporten zwischen einzelnen Anlagen
- Der Nachweis der äußerlichen Kontaminationsfreiheit der Verpackung kann entfallen; es erfolgt lediglich eine Zustandsfeststellung der Kontaminationssituation in dem Maß, dass Kontaminationsverschleppungen und Personenkontaminationen vermieden werden.

Folgende Kriterien müssen jedoch erfüllt sein:

- Vorhandensein hinreichend dimensionierter Flächen zur Ausführung der Dekontaminationsarbeiten
 - Bereitstellung Objekte zur Dekontamination
 - Ausführung Dekontamination
 - Messung Dekontaminationserfolg
 - Verpackung/Lagerung dekontaminierter Objekte
 - Lagerung Dekontaminationsreststoffe
 - Hinweis: bei Bereitstellung und Lagerung Einfluss auf Strahlungsuntergrund beachten zwecks Erhaltung der Ausführbarkeit der Messungen zur Erfolgskontrolle
- Lagerflächen für Material zur Dekontamination sowie rekontaminationssicher getrennt von dekontaminiertem Material
- Ausstattung mit den strahlenschutztechnischen Erfordernissen, v. a. Raumlufttechnik, Strahlenschutzmesstechnik, Beschaffenheit der Oberflächen, ggf. Personen- und Materialschleusen...
- Räume zur Ausführung der Strahlenschutzmessungen; optimalerweise erfolgt die Freimessung und Freigabe direkt vor Ort, sofern die Freimessung durch eine Freimessanlage nicht möglich oder nicht wirtschaftlicher ist. Im VKTA wurde dieser Weg insbesondere für manuell handhabbare Gegenstände einfacher Geometrie sowie Abschirmelemente besprochen.

Von allem unbelassen ist, dass alle Objekte grundsätzlich abgesaugt und ein- oder zweimal feucht gewischt wurden, bevor sie der Dekontamination oder der Freimessung zugeführt wurden. Das oberste Ziel war, keine Kontamination aus dem Rückbaubereich

bzw. Abbauort in andere Bereiche zu „verschleppen“. Dementsprechend spielte eine etwaige Kontaminationsverschleppung kaum eine Rolle. Es wurden umfangreich Wischproben genommen, um kontaminierte von nicht kontaminierten Bereichen abzugrenzen. Es wurde ein dreistufiges Schleuskonzept entwickelt, um sicherzustellen, dass sich keine Kontamination durch die Schleusen zieht. Alles, was rückgebaut wird, wird prinzipiell gesaugt und gewischt und dann näher untersucht. Nur bei Objekten, die zweifelsfrei dem radioaktiven Abfall zuzuordnen waren oder die anderweitige Nebengefahren mit sich brachten, die eine Gefährdung des Rückbaupersonals zur Folge haben konnten (bspw. säurekontaminierte oder spitze/scharfkantige Gegenstände), wurde auf diese Vorgehensweise verzichtet. Wenn die Einordnung unsicher war, wurden die Objekte in ein 200 L Abfallfass gefüllt. Somit ließ sich der Stoffstrom in vier Kategorien teilen: radioaktiver Abfall, Dekontamination, freigabehöflicher Reststoff und „unklar“. In letzterem Fall waren weitere Einschätzungen oder Messungen notwendig, um den Reststoff den erstgenannten drei Kategorien zuzuordnen.

Gegenstände, die nicht vor Ort dekontaminiert werden konnten, wurden

- an spezielle Behandlungsanlagen abgegeben, vor allem an die Anlage zur Behandlung schwachradioaktiver Abfälle des VKTA („ESR“),
- zur Pufferlagerung gegeben, sofern eine kurzfristige Behandlung erwartbar war und die radiologischen Eigenschaften dies zuließen, oder
- ins Zwischenlager Rossendorf abgegeben, um dort eine Abklinglagerung zu erfahren oder von dort mittelfristig einer Behandlung (Dekontamination oder Konditionierung) zugeführt zu werden.

Der Anfall freigabefähiger Massen steigt mit Fortgang des jeweiligen Rückbauprojekts. Es kann aber auch zu Beginn einen solchen Anfall geben, bspw. bei Erdaushub in Freiflächen von Genehmigungsbereichen, der erforderlich ist, um darunterliegenden Rohrleitungen rückzubauen.

Festhaftende (schwer entfernbare) Kontaminationen finden sich bspw. an Metallen, die aggressiven Medium ausgesetzt waren. Ein Beispiel dafür war ein unterirdisches Behälterlager („Abklinglager 91.4, siehe Pos 3.4 in Abschnitt 2.3.8.3), in dem eine saure Atmosphäre herrschte. Auch Bleisteine, die mechanischen Belastungen ausgesetzt waren, sind schwer dekontaminierbar, da sich die Kontamination in eine weiche Oberfläche eingedrückt hat.

Zwischen den einzelnen Massenströmen der freigabefähigen Massen, der Massen zur Abklinglagerung, der Massen zur Behandlung/Dekontamination und der Massen zur Verabfallung bestehen zahlreiche Kreuzungs- und Schnittpunkte. Das können sein:

- Eine Abklinglagerung kann erforderlich sein, um nachher Reststoffe direkt einer Freimessung zuführen zu können. Sie kann aber auch erforderlich sein, um die Radioaktivität bis auf ein Maß abklingen zu lassen, die eine Reststoffbehandlung mit vertretbarer Personendosis erst möglich macht.
- Ziel einer Reststoffbehandlung kann eine Zerlegung aus technischen oder abfallrechtlichen Erfordernissen sein. Auch kann eine Trennung von freigabe- oder behandlungsfähigen Teilen eines Objekts von nicht freigabe- oder behandlungsfähigen Teilen erforderlich werden.
- Das Ziel einer Dekontamination ist meist das Unterschreiten von Freigabewerten. Untergeordnete Ziele können die Herstellung abfallrechtlich zulässiger Kriterien oder die Fortsetzung manueller Dekontamination (nach Dekontamination mit fernhantierten oder Abstandswerkzeugen) sein.
- Reststoffbewertung: Auch jeder zur Zwischenlagerung, Behandlung oder Verabfallung vorgesehene Reststoff wird weiterführend bewertet, bspw. an einem Fassmessplatz oder durch Probenahme. Diese weiterführende Bewertung zunächst nicht freigabefähiger Reststoffe erfolgt meist außerhalb des Rückbaubereichs. Nach so einer Messung liegen detaillierte Messergebnisse größeren Umfangs und Genauigkeitsgrades vor. Darauf basierend kann es vorkommen, dass die zunächst vorgenommene Einstufung revidiert wird. Dies kann bspw. für zunächst als zur Verabfallung vorgesehene Reststoffe hin zu Nichtverabfallung erfolgen, d. h. der Reststoff wird bspw. als geeignet zur Abklinglagerung eingeschätzt oder zur Dekontamination vorgesehen. Aber die Messung kann auch Schlussfolgerungen in umgekehrter Richtung nach sich ziehen.

Die Reststofflogistik ist so ausgelegt, dass möglichst wenig separate Wege für einzelne Reststoffgebilde beschränkt werden müssen. Es existierten Handlungsschemata, die dafür sorgten, dass möglichst viele Reststoffe zum Anfallzeitpunkt einem weiteren Weg zugeordnet werden konnten. Kriterien dafür konnten sein:

- Vor Rückbaubeginn:
 - Erkenntnisse aus der radiologischen Erkundung

- abfallrechtliche Parameter
- stoffliche Eigenschaften (Reststoffsorte)
- Umgebungsbedingungen während des Einsatzes → erwartete Dekontaminierbarkeit (bspw. senkt eine saure Atmosphäre die Dekontaminierbarkeit von Oberflächen vor allem bei Metallen)
- Zugänglichkeit des Abbauorts
- Handhabbarkeit ausgebaute Reststoffe
- Während des Rückbaus:
 - Erkenntnisse aus rückbaubegleitenden Messungen
 - Rückkoppelung von Erkenntnissen aus der Dekontamination oder der Verabfallung bereits abgebauter Reststoffe des jeweiligen Rückbauprojekts
 - Einspeisen von Erfahrungen aus Freimessung und Freigabe von Reststoffen des jeweiligen Rückbauprojekts
 - Nachjustierung durch Erkenntnisse aus der Entsorgungswirtschaft insbesondere nach Entsorgung von uneingeschränkt freigegebenen Reststoffen sowie aus der Entsorgung von Reststoffen, die zweckgerichtet freigegeben wurden (Deponierung, Verbrennung, Einschmelzen); hier fließen Erkenntnisse aus allen Entsorgungen des VKTA ein, d. h. über die Grenzen einzelner Rückbauprojekte hinweg.

Die aus den o. g. Punkten gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Vorbereitung und Ausführungsplanung nachfolgender Rückbauprojekte ein. Dies konnte durch langjährige Konstanz bei internem und externem Personal, welches sich für die Vorbereitung und Planung des Rückbaus, die Lenkung des laufenden Rückbaus sowie die Nachbereitung abgeschlossener Rückbauprojekte verantwortlich zeichnete, gewährleistet werden.

Entsorgung von Reststoffmassen aus dem jeweiligen Rückbaubereich heraus

Reststoffmassen (v. a. Gegenstände), die aus dem jeweiligen Rückbaubereich heraus freigegeben wurden, wurden chargenweise entsorgt. Je nach zur Verfügung stehendem Lagerplatz wurde versucht, dies aufwandsminimierend in möglichst großen Chargen durchzuführen. Groß bedeutet in dem Fall, dass minimale Transportaufwendungen bei

maximaler Materialabgabe zu berücksichtigen waren. Teils wurden Marktteilnehmer gesucht, teils wurden die etablierten Entsorger bedient. Je nach Materialart und Vorliegensform wurden bei der Entsorgung uneingeschränkt freigegebener Reststoffe auch Erlöse erzielt (wenngleich diese im Vergleich zu den Kosten des Rückbaus marginal sind).

Entsorgung von Reststoffmassen aus dem Freimesszentrum heraus

Reststoffmassen, die nicht aus dem jeweiligen Rückbaubereich heraus freigegeben wurden, wurden dem Freimesszentrum zugeführt. Dies geschah in der Regel durch Abgabe an das Pufferlager, wo die Bereitstellung der Gebinde zur Freimessung im Freimesszentrum erfolgte. Auf dem Pufferlager erfolgte auch die Homogenisierung von Erdstoffen zwecks repräsentativer Probenahme (Großprobe PE-Box 500 L zur Messung in der Freimessanlage oder mittels ISG). Teilweise wurden grundsätzlich freigabefähige Reststoffe (v. a. Schüttgüter) im Pufferlager aufbereitet, bspw. Betonteile oder Bauschutt, der aus zu großen Teilen bestand, durch Brechen mittels Großgerät.

Nach erfolgter Freimessung im Freimesszentrum wurden die Reststoffe entsprechend ihres Entsorgungsweges, der sich aus den abfallrechtlichen Parametern und dem anhand der Ergebnisse der Freimessung festgelegten Freigabeart bestimmt, in Großcontainer verkippt. Bei der Entsorgung der Großcontainer spielten die gleichen Fakten eine Rolle, die oben in Zusammenhang mit der Entsorgung von Reststoffmassen aus dem jeweiligen Rückbaubereich heraus genannt wurden.

Einen Sonderweg stellen Erdstoffe zum Wiedereinbau dar. Diese wurden in Erdstoffhalten in den Randbereichen des FSR gelagert. Dabei handelte es sich um folgende Gruppen, die abhängig vom Freigabeweg gebildet wurden:

- Freigabe bei Unterschreitung der Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 6 /SSV 01/ für Verfüllmaterial, das anschließend überdeckt wurde. Theoretisch hätte auch Spalte 5 aus besagter Literatur gereicht, aber um „unangreifbarer“ zu sein, hat sich VKTA freiwillig für Spalte 6 entschieden. Ein weiterer Vorteil ist, dass in letztgenanntem Fall keine Massenbegrenzung (1.000 t) vorliegt.
- Freigabe bei Unterschreitung der Werte der Anwendung der Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 7 /SSV 01/ für Erdstoffe, die zur Verfüllung oder Überdeckung zum Einsatz kamen. Äquivalent wurden Erdstoffmassen vom FSR eingesetzt, für die kein Erfordernis einer Freigabe bestand.

Die Anlage von Erdstoffhalden bot neben der Kostenersparnis den Vorteil, Deponiekapazitäten zu schonen und vermeidbaren Verkehr am und vor allem um den FSR zu verhindern. Voraussetzung war jedoch, dass die materialphysikalischen Eigenschaften einen Wiedereinbau zuließen. Limitierend ist hier insbesondere die mit dem jeweiligen Erdstoff erreichbare Verdichtung („Proctordichte“, Bestimmung durch Proctorversuch nach DIN 18127 /DIN 12/).

Gab es aus logistischen Gründen Einschränkungen bei der Freigabe/Reduzierung der freigegebenen Materialstoffmengen (z. B. Vorhandensein und Aufnahmekapazität von Deponien, Schmelz- oder Verbrennungsanlagen) (Pos 2.4)?

Der Bund der Bürgerinitiativen Umwelt hat im Jahr 2016 Emittenten freigegebener Massen sowie die am anschließenden Entsorgungsprozess beteiligte Firmen in einer Liste zusammengetragen. Daraufhin versagten einige Entsorgungsbetriebe die weitere Zusammenarbeit. Dieser Punkt ist der einzige, wo übergeordnete Zusammenhänge den Entsorgungsprozess behinderten. Aufgrund der Kündigung der Verträge durch einige Verbrennungsanlagen mussten in Sachsen nuklearmedizinische Praxen teilweise ihren Betrieb einstellen, da diese im Reststoff „erstickt“ sind (keine Lagerkapazitäten mehr). Es hat dem VKTA viel Mühe und Überzeugungsarbeit gekostet, bis neue Entsorgungspartner gefunden wurden und alle Reststoffsorten wieder entsorgt werden konnten; außerdem hat das VKTA schlechtere Preise erhalten. Es gab also eine Pause bzgl. der Entsorgung und dementsprechend ein Schwinden der Lagerkapazitäten für die Reststoffe. Um dem entgegenzuwirken hat VKTA versucht, Material nachzudeklarieren, um dann eine Abfallschlüsselnummer (der Abfallverzeichnisverordnung) zu erhalten, die „offen“ waren. Dies hatte zum Ziel, den Abfall dann an eine andere Endanlage abgeben zu können. Alternativ gab es bspw. eine Munitionsverbrennungsanlage, allerdings konnten hier Reststoffe nur in Eimern mit einem Volumen von 3-4 L angekommen werden; dies war also nur für gewisse Reststoffsorten interessant. Weitere Details finden sich in Abschnitt 2.4.4.4.

Daneben gab es wiederkehrend Details, die zu klären waren, weswegen Entsorgungswege kurzzeitig nicht bedient werden konnten. Meist lag dies an abfallrechtlichen Parametern. Dies führte aber zu keiner Verzögerung der Entsorgung, die eine Relevanz für die im Zuge des Forschungsprojekts zu erarbeitenden Aussagen hätte.

Flankierend zu der Fragestellung ist zu nennen, dass die in erster Lesart existierende Massenbegrenzung auf 1.000 t pro Jahr entsprechend der vor 2018 anzuwendenden

Strahlenschutzgesetzgebung Diskontinuitäten im Massenabfluss hätte verursachen können. Aus den Szenarien der Ermittlung der Freigabewerte ließ sich ableiten, dass eine sogenannte Mengenerhöhung anwendbar ist. Die Menge der abzugebenden Schüttgüter ließ sich entsprechend des Reziprokes der Ausschöpfung der Freigabewerte über 1.000 t pro Jahr hinaus erhöhen. Mit Umstellung der folgenden Gleichung kann die maximal im Jahr freizugebende Masse m ermittelt werden. Die Ungleichung fand Anwendung für Freigaben nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 /SSV 01/. Eine Anwendung für Freigaben nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 9 /SSV 01/ wäre nicht falsch gewesen, jedoch ergab sich keine Notwendigkeit, da zum einen die freigegebenen Massen unter 1000 t pro Kalenderjahr lagen und der Zusammenhang der durch den VKTA so bezeichneten Mengenerhöhung für Freigaben nach Anlage III Tabelle 1 Spalten 9a - 9d /SSV 01/ im Jahr 2011 Aufnahme in die Anlage IV Teil C /SSV 01/ fand.

$$\sum_i \frac{C_i}{R_{i,n}} \cdot \frac{m}{M_n} \leq 1 \quad (2.1)$$

- m Masse der im lfd. Kalenderjahr freigegebenen und freizugebenden Stoffe in t
- $R_{i,n}$ Freigabewert für das Nuklid i gemäß Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 StrlSchV (alt) in Bq/g
- C_i spez. Aktivität des im lfd. Kalenderjahr freigegebenen oder freizugebenden Stoffes in Bq/g
- M_n max. Jahresmenge; $M_n \leq 1.000$ t

In welchem Maße erfolgte eine Information und Beteiligung der Öffentlichkeit und welche Fragen und Probleme wurden dadurch aufgeworfen, die geklärt oder auch nicht geklärt werden konnten und damit die Nutzung von bestimmten Entsorgungswegen einschränkte bzw. verhinderte? (Pos. 2.4; siehe auch Pos. 2.2)

Über das Rückbaugeschehen wurde fortlaufend berichtet. Es wurden mehrere Kanäle bedient:

- Ausgewählte Themen wurden in der VKTA-Zeitung dargestellt, die auch im Umland des FSR verteilt wurde.
- Mit Informationen zu erreichten Meilensteinen oder herausfordernden Einzelpunkten wurde direkter Kontakt zu überregionalen Zeitungen gesucht, namentlich der Sächsischen Zeitung.

- Der VKTA-Jahresbericht stellt das Rückbau- und Freigabegeschehen dar. Er ist auf der Website des VKTA öffentlich einsehbar.
- Der VKTA veranstaltete Tage der offenen Tür, vorzugsweise gemeinsam mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf.
- Der VKTA nahm an der langen Nacht der Wissenschaften teil, wobei der Fokus dabei nicht auf dem Rückbaugeschehen lag.
- Der VKTA unterstützte lokale Deponien bei Bürgerversammlungen mit Fachleuten, die Auskunft zu Fragen aus dem Feld der Radioaktivität und Freigabe gaben.
- Der VKTA beantwortet in der Regel die Fragen, die aus Öffentlichkeit oder Medien an den VKTA herangetragen werden.

Eine Veranstaltung, die explizit das Thema Freigabe zum Inhalt hatte, gab es nicht. Es gab auch aus der den FSR umgebenden Öffentlichkeit wenig destruirendes Vorgehen in Bezug auf Rückbau und Freigabe.

Das Umfeld des FSR wird als vergleichsweise technikaffin eingeschätzt. Möglicherweise führte das dazu, dass der Dialog mit der Öffentlichkeit nur ein geringes Maß einnehmen musste und überwiegend konstruktiv verlief.

Ist eine Abklinglagerung von gemessenen Chargen mit einer späteren Nachmessung vorgesehen (Pos. 2.4)?

Eine Abklinglagerung ist grundsätzlich vorgesehen. Gründe für eine Abklinglagerung können die Herstellung der Freigabefähigkeit oder untergeordnet das Schaffen von Bedingungen sein, die eine manuelle Handhabung bzw. Dekontamination zulässt bzw. vereinfacht. Details zur Abklinglagerung sind oben in diesem Kapitel angeführt. Nachfolgend wird nur auf die Wechselwirkungen zwischen Messung und Abklinglagerung mit dem Ziel der abschließenden Freigabe eingegangen.

Der VKTA unterscheidet eine Bereitstellungs- oder Pufferlagerung von einer Abklinglagerung. Eine Bereitstellungs- oder Pufferlagerung dient primär der Vorbereitung/Konditionierung und Zuführung des Reststoffs zum Freigabe-Entscheidungsmessverfahren sowie den dann anschließenden Prozess der Freigabe bis zum Beginn des Abtransports zur Entsorgung. Dieser Prozess kann bei einzelnen Chargen drei Jahre in Anspruch

nehmen (v. a. bei Reststoffsorten, die mit geringem Volumen auftreten). Unter Abklinglagerung verstehen wir Lagerungen, die i. d. R. länger als fünf Jahre andauern.

Die Eingangsbedingung für die Abklinglagerung mit dem Ziel der abschließenden Freigabe ist, dass in geeigneten Zeiträumen unter angemessenem Aufwand eine Freigabe erwartbar ist. Dies ist nicht global definierbar, sondern richtet sich nach verschiedenen Gesichtspunkten, die von Projekt zu Projekt durchaus zueinander unterschiedlich gewichtet werden können:

- Platzangebot vor allen im Zwischenlager Rossendorf (ZLR)
- zusätzlicher Aufwand vor oder während der Abklinglagerung, bspw. durch erforderlich werdende Genehmigungsanpassungen, ergänzende Abschirmungen oder Kontaminationsschutzmaßnahmen
- zeitlicher Einlagerungshorizont
- erwartete oder bekannte Änderungen von Freigabewerten
- Art des Inhalts (faul- oder gärfähig, Trocken/feucht/nass...)
- Art des Behältnisses bzw. der Umverpackung
- nutzbare Entsorgungswege (aus abfallrechtlichen und freigabetechnischen Anforderungen)

Unterschreitet das Gebinde nach entsprechender Abklinglagerzeit die Freigabewerte, so wird es zu einem geeigneten Zeitpunkt dem Freigabeprozess zugeführt. Dies ist meist dann der Fall, wenn entweder eine ausreichende Anzahl von Gebinden entsprechend abgeklungen ist und sich die Zusammenstellung einer Messkampagne lohnt. Hintergrund ist, dass oftmals zahlreiche Umlagerungen von bspw. 20-Fuß-Containern notwendig sind, ehe alle Gebinde zusammengestellt sind. Daher wird die Bildung möglichst großer Kampagnen bevorzugt.

Jedoch wurden auch Freimessungen einzelner oder weniger Gebinde aus der Abklinglagerung durchgeführt, bspw. vor Änderungen von Freigabewerten oder -bedingungen: zuletzt kündigten sich im Laufe der Jahre 2017/2018 Änderungen von Freigabewerten an, die dann als StrISchV verbindlich wurden. Dabei sanken die Freigabewerte der uneingeschränkten Freigabe für Cs-137+ von 0,5 auf 0,1 Bq/g und für C-14 von 80 auf 1 Bq/g. Aus diesem Grund wurden Sonderkampagnen durchgeführt, um möglichst große

Mengen solcher Reststoffe der Freigabebewertung zuzuführen. Dies erfolgte nicht nur aus der Lagerung zu Abklingzwecken, sondern auch aus der Puffer- oder Zwischenlagerung zwecks späterer Dekontamination. So wurden zuletzt:

- Sonderkampagnen ausgeführt, um mit Cs-137+ kontaminierte Reststoffe zu behandeln oder aus der Abklinglagerung zu holen, sofern eine uneingeschränkte Freigabe erwartbar war, sowie
- die Behandlung und Bewertung der sogenannten thermischen Säule des RFR, die aus großen Graphitelementen besteht (und damit C-14-haltig ist), vorgezogen.

Nicht freigabefähige Gebinde werden durch die Rückbaubereiche des VKTA an die ESR abgegeben. Dort erfolgt eine Messung auf dem Fassmessplatz. Ist die ODL zu hoch und eine anderweitige Messung nicht möglich, erfolgt eine Deklaration des Aktivitätsinventars auf Basis der Daten des abgebenden SSB, der die Deklaration bspw. anhand ODL und Nuklidvektor vorgenommen hat. Auf Basis dieser Kenntnisse und der o. g. Kriterien erfolgt die Einstufung, ob eine Abklinglagerung sinnvoll ist oder nicht. Im letzteren Fall bedeutet das nicht, dass es sich dann in jedem Fall um radioaktiven Abfall handelt. Vielmehr wird dann eine Entscheidung getroffen, ob eine Abklinglagerung eingeleitet oder ein Aussortieren bzw. eine Dekontamination durchgeführt wird. Manchmal trägt bspw. nur ein einzelnes Teil eine zu große Kontamination.

Anhand des Aktivitätsinventars wurden nach erfolgter Abklinglagerung chargenweise Gebinde aus dem ZLR geholt und den Freigabe-Entscheidungsmessverfahren zugeführt:

- Im Falle von Schüttgütern war dies meist eine FMA des VKTA mit parallellaufender Gammaskopimetrie. In untergeordnetem Umfang wurde ISG durchgeführt.
- Im Falle von Stückgütern, d. h. Gebindeinhalten mit messbarer Oberfläche, wurden diese der ESR zugeführt, ausgepackt und einer vollflächigen OFK-Messung zugeführt. Einzelteile mit erkannten Überschreitungen der Freigabewerte wurden der Dekontamination zugeführt. Auf Basis dieser OFK-Messprotokolle erfolgten meist Freimessungen mittels FMA, ISG oder Probenahme. Wenn die Einzelteile dafür geeignet waren, erfolgten in untergeordnetem Umfang Freigaben auf Basis von OFK-Messungen mit OFK-Monitor und/oder Wischprobenahme mit anschließender Labormessung.

Die hier beschriebene Vorgehensweise wird nach wie vor im VKTA angewandt.

Die Gebinde wurden nicht durch Rechnungen zur Abklinglagerung nach berechneter Zeit zum Erreichen der Freigebbarkeit einer Freigabe zugeführt. Stattdessen wird stets auch eine Messung nach Abklingen der Radionuklide (Radionuklid-Gemische) durchgeführt. VKTA macht fast nie eine Freigabe von Reststoffe nur aufgrund von Berechnungen zur Dauer der Abklinglagerung. So werden Fehler vermieden gegenüber dem geringen Aufwand des erneuten Messens und die Messung erfolgt auf dem neuesten Stand der Technik in Gegenüberstellung zum aktuellen Stand des Regelwerks. Die Berechnungen erfolgen trotzdem, um den Zeitpunkt zu bestimmen ab wann ein Gebinde freizumessen ist.

Nachfolgend sind die Antworten von VKTA zu den Pos. 2.5./2.5a und 4.2/4.3 (siehe Abschnitt 2.3.4) angeführt.

Für welche Materialien/Vorhaben wurden Einzelfallnachweise geführt (Pos. 2.5)?

Zu folgenden Themengebieten wurden Einzelfallnachweise¹ (EFN) geführt (die Aufzählung enthält die aus Sicht von VKTA relevanten EFN):

- Verwendung der Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 6 /SSV 01/ für die Ränder und Sohlen von Baugruben, die anschließend verfüllt wurden.
- Verwendung der Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 6 /SSV 01/ für Verfüllmaterial, das anschließend überdeckt wurde.
- Anwendung der Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 7 /SSV 01/ für Erdstoffe, die zur Verfüllung oder Überdeckung zum Einsatz kamen.
- Anwendung größerer Mittelungsmassen für Erdstoffe, die entsprechend Anlage III Tabelle 1 Spalte 7 /SSV 01/ bewertet wurden.
- Anwendung der Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 8 /SSV 01/ für Gebäudeteile, die im Boden verblieben.

¹ Der Begriff „Einzelfallnachweis“ kann unterschiedlich interpretiert werden. Die hier gelisteten Sachverhalte beinhalten keine Anwendung höherer Freigabewerte gegenüber denen der StrSchV in der jeweiligen Fassung. Hier werden lediglich Freigabeverfahren durch untersetzende Betrachtungen Einzelfall-spezifisch präzisiert.

- Anwendung der Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 10 /SSV 01/ für ausgebaute Gebäudeteile, die unter Strahlenschutzbedingungen gebrochen wurden (der Abschluss der Freigabe erfolgte mit dem Abtransport nach erfolgtem Brechen).
- Anwendung größerer Mittelungsmassen für die abschließende In-situ-Gamma-spektrometrie von Erdreich/Bodenflächen nach erfolgter Verfüllung
- Bewertungsverfahren für Wandöffnungen und Durchführungen
- Bewertungsverfahren für nichtmineralische Komponenten, die baulich mit mineralischen Komponenten verbunden waren
- Bewertungsverfahren bei vorliegender Volumenaktivität (aus Aktivierung) durch Vergleich mit den Werten der Anlage III Tabelle 1 Spalte 10 /SSV 01/ oder der Anlage III Tabelle 1 Spalte 6 /SSV 01/ im Bereich einer Mittelungsmasse von 1.000 kg

Die meisten der benannten EFN fanden Anwendung in allen Rückbaukomplexen. Sie wurden jedoch für jedes Teilprojekt einzeln beschrieben und in Details hinsichtlich der im jeweiligen Fall vorliegenden Gegebenheiten und Anforderungen adaptiert.

Darüber hinaus gab es noch einen eigenen Satz an Werten für Gebäudeoberflächen und spezifische Aktivitäten in Böden bzw. Aushub in Abhängigkeit von der Entfernung zur Bodenoberfläche, das sogenannte Bodensanierungskonzept (BSK). Darin wurden weiterhin die Art und Weise sowie die Mindestmächtigkeit der Überdeckung, die erforderlichen Bewertungsschritte sowie (zeitbegrenzte) nutzungsbezogene Auflagen benannt. Das BSK fand Anwendung in einem Teilbereich des Rückbaukomplexes 3, wird aber im vorliegenden Bericht keine Berücksichtigung finden. Lediglich so bewertete Massen gehen im Abschnitt 2.4.4.4 teilweise ein.

Wurden Einzelfallnachweise für bestimmte Materialien bzw. Materialgruppen geführt (Pos. 2.5a)?

EFN bedeuten für den Antragsteller immer einen erhöhten Aufwand. Es lohnt sich demzufolge nicht, diesen Aufwand für kleine Mengen zu gehen. Die Rückbauprojekte des VKTA waren vom Anfall von Bauschutt und Bodenaushub/Erdreich sowie dem Vorliegen zu bewertender Gebäudeoberflächen und Bodenflächen geprägt.

Demzufolge wurden, wie sich aus der Aufzählung aus *Pos. 2.5* (oben) ergibt, vor allem für Bauschutt und Bodenaushub bzw. Erdreich sowie für zu bewertende Oberflächen von Gebäuden, Höfen und Freiflächen EFN geführt. Diese genannten Materialien wurden allerdings *nicht ausschließlich* über EFN freigegeben. Im Allgemeinen ist festzustellen, dass EFN für Materialien geführt wurden, die in großen Mengen anfallen (Baustoffe, Bodenflächen usw.) und sich der Aufwand dafür lohnt.

Führte dies zu einer (deutlichen) Erhöhung der freigegebenen Materialmenge (und Reduzierung der Menge radioaktiven Abfalls) (*Pos. 2.5a*)?

Die in den Anstrichen in Punkt 2.5 (oben) benannten EFN führten zu keiner Reduzierung oder Erhöhung des Umfangs/der Menge freigegebener Materialien. Ohne die EFN hätte der VKTA jedoch signifikant andere Massenströme innerhalb des Rückbauprozesses gehabt. Auch die Arten der Freigabe wären andere gewesen. Allerdings wären damit weder mehr noch weniger Materialien freigegeben worden, nur anders im Sinne von aufwändiger bewertet.

Hätte der Rückbau auf geplante EFN „warten“ müssen, so hätte sich die Zeitschiene verlängert. Daher war der VKTA bestrebt, die als notwendig erkannten EFN im Vorfeld zu führen. Traten Rückbauhindernisse auf, so konnten EFN ggf. helfen, die Hindernisse zu beseitigen. Insofern ist der EFN nicht das Hemmnis, sondern ggf. Teil der Lösung.

Die geführten EFN hatten zwei Zielrichtungen:

1. Schärfung der Definition und des Anwendungsumfangs sowie der Anwendungsgrenzen der einzelnen Bewertungspfade aus Anlage IV StrlSchV (alt)
2. Verschiebung von anfallenden Materialarten in andere, für den Ablauf des Rückbaus (und hier vor allem für die Art und Weise der Bewertung) günstigere Freigabepfade.

Oftmals gingen beide Punkte miteinander einher. Ein Beispiel hierfür ist die Anwendung der Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 6 StrlSchV (alt) /SSV 01/ für die Sohlen und Wände von Baugruben. Zunächst ist festzustellen, dass die Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 6 StrlSchV (alt) /SSV 01/ für Baugruben anwendbar sein könnten. Sie entsprechen aber weder dem, was eine Bodenoberfläche ausmacht, noch dem, wie eine Bodenoberfläche genutzt wird, bspw. für gärtnerische oder landwirtschaftliche Nutzung. Daher lag es nahe, für solche von der Geländeoberfläche fernen Bodenflächen zu

schauen, welche Freigabepfade/-szenarien zutreffender sind. Dies ist im Fall der Baugrube durch die uneingeschränkte Freigabe von Stoffen der Fall. Da Massen zu bewerten sein können, die größer als 1.000 t pro Kalenderjahr sind, wurden die Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 6 /SSV 01/ statt denen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 /SSV 01/ herangezogen. In Konsequenz müssen dann aber die oberflächennahen Bodenschichten die Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 7 /SSV 01/ unterschreiten, um nach erfolgter Freigabe und Entlassung aus der atomrechtlichen Aufsicht eine gärtnerische oder landwirtschaftliche Nutzung zu ermöglichen. Die Definition der Mindestmächtigkeit der Überdeckung wurde wiederum für die einzelnen Teilvorhaben in separaten Zustimmungsverfahren geregelt.

Kann der erhöhte Abstimmungs- und Nachweisaufwand als gerechtfertigt und angemessen eingeschätzt werden (Pos. 2.5a)?

Der Aufwand zum Erwirken der Zustimmungen zu den in Pos. 2.5 (oben) benannten EFN war gerechtfertigt. Eine Ausnahme hierzu kann (retrospektiv betrachtet) das im letzten Anstrich benannte Bewertungsverfahren bei vorliegender Volumenaktivität sein. Der Entwicklungsaufwand war im Vergleich zur tatsächlich angefallenen Materialmenge, die mit diesem Verfahren bewertet wurde, hoch.

Jedoch ist der Rückbau von Gebäudestrukturen mit volumengetragener Aktivität ein Punkt, der am FSR noch häufiger auftreten wird, da die Produktion radioaktiver Stoffe seit Ende des Reaktorbetriebs durch Beschleuniger erfolgt. Insofern wäre der jetzige Zeitpunkt verfrüht, eine endgültige Bilanz zu ziehen. Weiterhin hätten ohne dieses Bewertungsverfahren weitere Betonstrukturen zurückgebaut und mittels Messungen von Gebinden in Freimessanlagen (FMA) oder mittels In-situ-Gammaspektrometrie erfolgen müssen, was ebenfalls Kosten verursacht hätte.

Im Rahmen einer Videokonferenz zwischen GRS und VKTA wurde das o. g. Bewertungsverfahren näher erläutert. Das biologische Schild des RFR war erwartungsgemäß aktiviert. Durch Probenahme hatte man versucht, den Umfang der Aktivierung abzuschätzen. Allerdings war durch die vorhandenen Gegebenheiten keine Probenahme in dem erforderlichen Umfang möglich. Es wurden Strahlungstransportrechnungen durchgeführt, um die erwartete Aktivierung des biologischen Schildes zu bestimmen.

Die StrISchV (alt) /SSV 01/ benannte für die Bewertung von Aktivierungen in Anlage IV Teil D Nr. 6 lediglich: „Bei volumengetragener Aktivität durch Aktivierung sind die Teile

B, C oder F anzuwenden.“ Das war nicht präzise genug, um das biologische Schild des RFR bewerten zu können. Daher hat der VKTA ein Bewertungsverfahren entwickelt und mit der Behörde abgestimmt. Im Kern beinhaltet es: Für jeden vom Reaktorkern ausgehenden Projektionskegel, dessen Volumen höchstens so groß ist, dass die darin enthaltene Schwerbetonmasse maximal 300 kg beträgt, muss nachgewiesen werden, dass die Freigabewerte vorzugsweise der /SSV 01/ Anlage III Tabelle 1 Spalte 6 eingehalten sind.

Schlussendlich hat man damit jedoch nur wenige Dutzend Tonnen Material bewertet, weil die Ausdehnung der Aktivierung deutlich kleiner war und zum anderen bautechnisch bedingt mehr in den Abbruch gehen musste. Retrospektiv betrachtet war das ein Fall mit hohem Aufwand im Vergleich zum erzielten Nutzen. Aber bei den anderen o. g. Fällen, die bspw. Baugruben und Boden betrafen, hat sich der Aufwand für die EFN gelohnt.

Die Entwicklung des Bewertungsverfahrens für aktivierte Schwerbetonmassen lief, wie bei fast allen EFN im Vorfeld des Rückbauschlusses, weswegen es keinen verzögernden Einfluss auf den Rückbau hatte. Retrospektiv betrachtet wäre ein von vornherein geplanter Komplettabbruch der Strukturen mit anschließender Bewertung in einer FMA kostengünstiger gewesen als die Entwicklung des Verfahrens.

Führte dies zu (signifikanten) Verlängerungen im Ablauf des Freigabeverfahrens (Pos. 2.5a)?

Der VKTA hat den Rückbau so organisiert, dass zum einen möglichst bewährte Rückbau- und Bewertungsverfahren zum Einsatz kamen. Zum anderen war der Fachbereich Strahlenschutz vom Anbeginn der Rückbauplanung an in die Gestaltung des Rückbaus einbezogen. So wurden zum einen aus Strahlenschutzsicht notwendige Schritte von Anfang an berücksichtigt, zum anderen wurden die einzelnen Schritte auch mit den erforderlichen Zeitfenstern versehen.

In sogenannten Freimessprogrammen, die dem behördlichen Zustimmungsverfahren unterlagen, wurden die Kernpunkte der in den Rückbauablauf eingebetteten Freigabe beschrieben. Im einzelnen erfolgten Beschreibungen und Festlegungen von:

- der räumlichen und sachlichen Ausdehnung
- anfallenden Arten von Freigabeobjekten („Objektkatalog“)
- Bewertungsverfahren

- Heranzuziehenden Freigabepfaden und -werten
- anwendbaren Messverfahren
- Mittelungsgrößen
- Haltepunkten (bautechnisch oder für gutachterliche Nachmessungen)

Da die detailreiche Klärung des Freigabeprozesses frühzeitig startete, konnte in der Regel auch frühzeitig erkannt werden, wenn für einzelne Objekte oder Materialarten kein geeignetes und/oder für den Anwendungszweck zugelassenes Mess- oder Bewertungsverfahren vorhanden war. Dieses war dann zu entwickeln, entsprechend zu erproben und zu qualifizieren, damit es zum gewünschten Ersteinsatz rechtzeitig zur Verfügung stehen konnte.

Fazit: Aufgetretene Verzögerungen waren bautechnisch oder im Vorfinden von nicht beschriebenen Freigabeobjektarten begründet. Da die Beschreibung der einzusetzenden Verfahren und mithin die zu führenden EFN im Vorfeld erfolgte, kam es durch den Einsatz von EFN zu keinen signifikanten Verlängerungen im Ablauf der einzelnen Freigabeverfahren.

2.3.8.3 Rückbautechniken/-Strategien

(Pos 3.1/3.2) Der Rückbau wurde in folgende Phasen geteilt:

- Ausräumen/Leerräumen
- Entfernen und Entsorgen der Betriebsmittel und Reststoffen mit vorhandener Anlagentechnik
- Fernhantierte Technik (Umbau/Ertüchtigung zwecks Ausführung des manuellen Rückbaus, ggf. Vorschalten Fernhantierung bei entsprechender ODL)
- Gebäudestruktur dekontaminieren und – wenn möglich – freigeben
- Freigabebewertung
- Abriss bzw. Verfüllung/Profilierung von Baugruben

Für die Rückbauabfolge spielten die Aspekte der Freigabe nur eine untergeordnete Rolle. Übergeordnet waren Strahlenschutzaspekte bei den Arbeiten zu beachten. Es wurde entsprechend folgenden Prinzipien verfahren:

- vom Großen zum Kleinen, d. h. aktivierte und höher kontaminierte Stoffe zuerst (vor allem um Störstrahlung bei der verwendeten Messtechnik zu reduzieren)
- In-situ (Freigabe-)Messungen z. B. sind erst möglich, wenn die Störstrahler entfernt sind,
- vom Gefährlichen zum Ungefährlichen
- funktionierende Technik/Gebäudestruktur – wenn immer möglich – einsetzen, erst später Übergang zu zusätzlicher Technik, neuen Materialwegen, Schleusen, etc.
- die „Teilung“ von Gebäuden führte in Summe zu einer Vielzahl an Rückbauprojekten

Die Freigabe von Materialien wurde von Anbeginn des Rückbaus durchgeführt, um bspw. einen kontinuierlichen Prozess der Freigaben zu organisieren, jedoch waren am Anfang Strahlenschutzaspekte übergeordnet. Später dann spielten die Freigaben eine größere Rolle (je nach Rückbaufortschritt). In diesem Zusammenhang wurden bereits vorhandene Einrichtungen genutzt:

- Lüftungsanlage für die Laboranlage mit 85.000 m³ ausgelegt, diese wurde weiter genutzt
- Bei Notwendigkeit Einsatz von mobilen 20 Fuß Containern mit spezieller Lüftungstechnik und Filtern
- Grundsatz aber alles was ging zu nutzen,
- Zum Teil Schaffung eigener neuer Zugänge

(Pos 3.3) Berücksichtigung von Freigabeaspekten bei der Rückbauplanung

Bezüglich der Berücksichtigung von Freigabeaspekten bei der Rückbauplanung besteht folgende Frage (siehe auch Fragenkatalog in Abschnitt 2.3.4): „Wurden bei der Planung des Rückbaus explizit Aspekte der Freigabe berücksichtigt, die in die Abbaustrategie oder -reihenfolge eingeflossen sind?“

- Wenn ja, welche?
- Hat sich dies in der Praxis bewährt?“

Im Folgenden wird versucht, die Berücksichtigung von Aspekten der Freigabe und dem vorhergehend auch von Aspekten der Ausführung von Freimessungen bei der Rückbauplanung zu schildern.

Der Strahlenschutz des VKTA in seinen Zweigen des eng ins Rückbaugeschehen eingebetteten Anlagenstrahlenschutzes, des analytischen Strahlenschutzes und des zentralen, für den gesamten Forschungsstandort zuständigen Fachbereichs Strahlenschutz waren vom Beginn der Rückbauplanung an in die Gestaltung des Rückbaus einbezogen. So wurden zum einen aus Strahlenschutzsicht notwendige Schritte von Anfang an berücksichtigt, zum anderen wurden die einzelnen Schritte auch mit den erforderlichen Zeitfenstern versehen. Des Weiteren konnte frühzeitig erkannt werden, ob und wenn ja welche Bewertungsverfahren² in welchem Umfang einzusetzen sind und ob die erforderlichen technischen und personellen Ressourcen vorhanden sind.

Zuvorderst sollten immer möglichst bewährte Rückbau- und Bewertungsverfahren zum Einsatz kommen.

Bestanden Bewertungsaufgaben, die mit keinem der existierenden bzw. zugelassenen Verfahren bewältigt werden konnten, so musste ein Verfahren erstellt und qualifiziert werden. Dies sollte möglichst vor Rückbaubeginn bzw. vor dem geplanten ersten Einsatz erfolgt sein. Da in so einem Fall immer eine Behördeneinbindung notwendig ist (und dieser Prozess in der Regel iterativ ist), war es notwendig, die Verfahren möglichst mit deutlichem Vorlauf zu entwickeln und zu qualifizieren. Dies funktioniert aber nicht linear: die Rückbauplanung kann nicht warten, bis das Verfahren qualifiziert ist. Die Rückbauplanung geht also davon aus, dass ein einmal in seinen Eckpunkten beschriebenes Bewertungsverfahren dann auch termingerecht zur Verfügung steht.

² Der Begriff „Bewertungsverfahren“ umfasst das oder die Messverfahren, mit denen die radiologischen Eigenschaften eines Objekts ermittelt werden, die Dichte der erforderlichen Messwertaufnahme (Stichproben, vollflächige Messung) und die Gegenüberstellung der Messwerte zu entsprechenden Grenzwerten unter Verwendung benannter Mittelungsgrößen.

Wenn die technische Grobplanung (die sogenannte Grundlagenermittlung) abgeschlossen war, konnten die einzelnen Schritte mit Strahlenschutzmaßnahmen untersetzt werden. Dabei standen zu Beginn eines Rückbauprojekts meist die Maßnahmen des Personen-Strahlenschutzes vor Inkorporationen und hohen Ortsdosisleistungen nebst ihren zugehörigen Messverfahren sowie die Vertiefung der radiologischen Erkundung im Vordergrund (Ausnahme: Entnahme Erdreich oder anderer Strukturen zur Herstellung der Zugänglichkeit zum eigentlichen Rückbauobjekt).

Im Fortgang eines Rückbauprojekts gewinnen Freimessung und Freigabe an Bedeutung. Die speziellen Fragestellungen stellen sich meist nicht in Bezug auf die flankierenden Messungen und Freigaben, die den Rückbau vom ersten Tag an begleiten. Diese sind meist mit den Standardverfahren bewertbar und freigebbar. Herausforderungen, die angepasste Lösungen erfordern, stellen sich meist an folgenden Punkten:

- Mangelnde Zugänglichkeit des zu bewertenden Objekts
- Bewertungsgrenze unter kontaminierten Objekten (betrifft Erdschichten), d. h. bis in welche Tiefe muss bspw. Boden messtechnisch bewertet werden
- Bewertung von Gebäudestrukturen, vor allem bei Vorliegen von eingedrungener Aktivität oder Aktivierung
- Nuklidvektorbestimmung und -verfolgung (siehe Pos. 4.2 in Abschnitt 2.3.8.4)
- Bewertung von Rohrleitungen und Durchführungen
- Bewertung komplexer Objekte, vor allem beim Vorliegen von Aktivierungen

Wenn die o. g. Grundlagenermittlung die Ziele und Grenzen des jeweiligen Rückbauprojekts festgelegt hat und bekannt ist, welche Bewertungsverfahren zum Einsatz kommen sollen, wurde ein sogenanntes Freimessprogramm (siehe Abschnitt 2.3.8.2) entwickelt, welches dem behördlichen Zustimmungsverfahren unterlag. Darin wurden die Kernpunkte der in den Rückbauablauf eingebetteten Freigabe beschrieben sowie beabsichtigte Abweichungen von bestätigten Messmethoden benannt, bspw. die Vergrößerung der zulässigen Mittelungsfläche auf Basis einer in Voruntersuchungen nachgewiesenen Homogenität der Kontaminationsverteilung an Gebäudeoberflächen.

Die Durchführung der Freigabe, wie sie für den gesamten Forschungsstandort anwendbar ist, ist in der sog. Freigabefachanweisung S003 beschrieben (Äquivalent zu einem Betriebshandbuch). Wenn man von der Vorgehensweise zum Feststellen des Vorliegens

einer Freigabe abweichen möchte, benötigt man die entsprechende behördliche Zustimmung.

Im Einzelnen erfolgten in Freimessprogrammen Beschreibungen und Festlegungen von:

- der räumlichen und sachlichen Ausdehnung des zu bewertenden Bereichs
- anfallenden Arten von Freigabeobjekten („Objektkatalog“)
- Bewertungsverfahren
- Heranzuziehenden Freigabepfaden und -werten
- anwendbaren Messverfahren
- Mittelungsgrößen
- Haltepunkten (bautechnisch oder für gutachterliche Nachmessungen)

Da die detailreiche Klärung des Freigabeprozesses frühzeitig startete, konnte in der Regel auch frühzeitig erkannt werden, wenn für einzelne Objekte oder Materialarten kein geeignetes und/oder für den Anwendungszweck zugelassenes Mess- oder Bewertungsverfahren vorhanden war. Dieses war dann zu entwickeln, entsprechend zu erproben und zu qualifizieren, damit es zum gewünschten Ersteinsatz rechtzeitig zur Verfügung stehen konnte. Auch war es nicht ungewöhnlich, Freimessprogramme zu revidieren, wenn mit Rückbaufortschritt weitere Erkenntnisse gewonnen wurden oder sich Verfahren für einzelne Objekte als ungeeignet herausstellten.

Fazit: Den Erfordernissen von Freimessung und Freigabe wurde in der Rückbauplanung zentrale Bedeutung zugemessen, da über diesen Pfad der größte Anteil an Reststoffen in den einzelnen Rückbauprojekten entsorgt wurde.

Zur Minimierung des radioaktiven Abfalls erfolgte eine sorgfältige und kleinteilige Trennung der Materialien und eine Behandlung in VKTA-Einrichtungen sowie in einigen Fällen eine Abklinglagerung im Zwischenlager. Die Behandlung und Abklinglagerung einiger Komponenten dauert noch an und wird voraussichtlich noch einige Zeit in Anspruch nehmen /KNA 20/ (Stand 01/2020).

Weiterhin war die Annahmefähigkeit der Entsorgungsunternehmen (z. B. Deponie) Voraussetzung für einen konstanten Massenstrom der freigegebenen Materialien. Hierfür waren sowohl die Pflege der Kontakte zum Betreiber als auch die Kommunikation mit der Öffentlichkeit von Bedeutung.

Bei der Entsorgung von Metall zeigte sich, dass der Weg der Rezyklierung praktisch nicht gangbar war, da die Stahlindustrie über die bereits restriktiven gesetzlichen Vorgaben der StrlSchV (alt) hinaus eine sogenannte „Null-Aktivität“ fordern. Mithilfe dafür eingesetzter Portalmessanlagen wird daher auch freigegebenes Material bereits bei 50%iger Überschreitung des natürlichen Untergrundes von den Metallverwertern zurückgewiesen /VER 05/, /VER 06/, /VER 07/, /VER 08/, /VER 09/.

Weiterhin mussten bei der Planung der Rückbauprojekte die Mengenbeschränkungen der StrlSchV (alt) für Bauschutt und Bodenaushub berücksichtigt werden. Insbesondere in Bezug auf den Mengenanfall in den Kategorien „uneingeschränkt frei“ und „frei zur Beseitigung“ musste die Abgabe pro Jahr und ggf. eine Zwischenlagerung über das Projektende hinaus sowie die Möglichkeit zur Verwertung innerhalb der Rückbauprojekte sorgfältig eingeplant werden /VER 05/. Nach Bescheid vom SMUL war für die Freigabe von Bodenaushub und Bauschutt bei Nichtausschöpfung des Freigabewertes eine entsprechende Erhöhung der jährlichen Masse über 1.000 Mg hinaus möglich /VER 06/, /VER 07/, /VER 08/, /VER 09/, /VER 10/, /VER 11/, /VER 12/, /VER 13/, /VER 14/, /VER 15/, /VER 16/, /VER 17/, /VER 18/.

Musste die Infrastruktur für den Rückbau zunächst geschaffen/verändert werden (Pos. 3.4)?

Nachfolgend werden folgende Unterpunkte im Komplex mit beantwortet:

1. „Wenn ja, was wurde vorgenommen und wann/wie lange dauerten diese Arbeiten? (z. B. Einrichten Zerlegebereiche, Transportwege, Stau-/Puffer-/Stellflächen, Beschaffung/Anpassung von Hebezeugen)?“
2. „Welche Dekontaminationsanlagen wurden ertüchtigt oder neu geschaffen?“

Der Forschungsstandort Rossendorf hatte schon während der Zeiten des Reaktorbetriebs Anlagen zur Sammlung und Behandlung flüssiger und fester radioaktiver Reststoffe und dementsprechendes Betriebswissen. In Vorbereitung des Rückbaus wurde

ermittelt, welche Anlagen für die Durchführung des Rückbaus notwendig sind. Grundsatz war, dass einige Anlagen mit zentralen Funktionen bereitstehen sollten. Dies waren:

- Behandlungsanlage für flüssige und feste radioaktive Abfälle
- Pufferlagerung schwach radioaktiver sowie freigabefähiger Reststoffe
- Freimessung von Gebinden
- Abwasserreinigung
- Lagerung radioaktiver Abfälle und Kernmaterial

Andere Funktionen wurden dezentral gehalten. Spezielle Funktionen wurden zur Durchführung durch Dritte vorgesehen, konkret die Verbrennung sowie die Hochdruckverpressung radioaktiver Abfälle. Der Aufbau solcher speziellen Anlagen am FSR wäre nicht wirtschaftlich sinnvoll gewesen. Darauf aufbauend wurde entschieden, welche Anlagen zur Darstellung der o. g. Funktionen temporär oder langfristig nutzbar waren, welche Ertüchtigungen notwendig sind und welche Anlagen neu errichtet werden mussten. Als zentrale Anlagen wurden neu geschaffen:

- Kernmateriallager
- CASTOR-Transportbereitstellungshalle
- Anlage zur Behandlung fester und flüssiger radioaktiver Abfälle
- Freimesszentrum
- Pufferlager für die Behandlung und Bereitstellung freigabefähiger Reststoffe
- Laborabwasser-Reinigungsanlage

Dabei wurden oftmals vorhandene Gebäude, die Ende der 1980er Jahre errichtet wurden und für die Weiterentwicklung von Produktionsanlagen vorgesehen waren, erheblich umgebaut und erweitert. Die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle verlagerte sich Schritt für Schritt von den Altanlagen hin zum neu errichteten Zwischenlager Rossendorf. Die Landessammelstelle Rossendorf wurde ebenfalls neu errichtet, spielt jedoch im Zusammenhang mit dem Rückbau keine Rolle, da dort keine Einlagerungen von VKTA-Rückbauabfällen erfolgten.

Weiterhin wurden ungenutzte Flächen im Randbereich des FSR zur Zwischenlagerung von freigemessenen oder nicht aus Strahlenschutzbereichen stammenden Erdstoffen genutzt, die dann bei der Verfüllung der Baugruben und abschließenden Geländeprofilierung eingesetzt wurden (insgesamt > 10.000 m³).

Fortwährend ertüchtigt wurden Gebäude und Anlagen des zentralen Strahlenschutzes sowie der zentralen Radionuklidanalytik. Deren reibungsloses Funktionieren war essenziell für einen kontinuierlich durchzuführenden Rückbau.

Jedes Rückbau-Detailprojekt erforderte dezentrale Anpassungsarbeiten. Im Folgenden sollen zwei Beispiele näher betrachtet werden, die in Zusammenhang mit der gestellten Frage sehr einschlägig sind, d. h. die die Schaffung von Infrastruktur in erheblichem Umfang erforderlich machten.

1. Zementierung flüssiger mittelaktiver Abfälle: Im Zuge der Radiopharmakaproduktion wurden kurzzeitbestrahlte Brennelemente in Säure aufgelöst. Die dabei anfallenden Restlösungen wurden in unterirdischen Behältern gesammelt, wo sie abklingen konnten. Um diese stark sauren Lösungen als radioaktiver Abfall abgeben zu können, mussten sie neutralisiert und zementiert werden. Dazu wurde die sogenannte „MOSS-Anlage“ in einem neuen Gebäude („91.1“) errichtet, welches neben den notwendigen Schleusen auch eine eigene, fest installierte Lüftungsanlage hatte. Nach Abschluss der Zementierungskampagne war diese Anlage nebst dem Gebäude ebenfalls zu dekontaminieren und nach einer Zwischennutzung schlussendlich rückzubauen.
2. Rückbau der Lagerbehälter für flüssige radioaktive Abfälle: Um die Lagerbehälter für flüssige radioaktive Abfälle (die unter anderem die in der o. g. MOSS-Anlage behandelten Abfälle beinhalteten) rückbauen zu können, mussten über ihnen wie im Falle „Abklinglager 91.4“ Gebäude errichtet bzw. wie im Falle „Behälter 91.2/3“ vorhandene Gebäude umgebaut und erweitert werden. Diese für wenige Jahre zu nutzenden Gebäude wurden vorwiegend als Stahl-Leichtbauhallen errichtet, deren Außenverkleidung aus dämmenden Sandwichplatten bestand. Die einzubauende Ausrüstung entsprach den Erfordernissen des jeweiligen Rückbaus. Im Falle „Abklinglager 91.4“ waren die Errichtung einer Interventionshalle nebst Einbau eines Hallenkrans sowie eines Caissons notwendig. Die Lüftung erfolgte entweder über eingebauten

Anlagen wie oben im Falle „MOSS-Anlage“ geschildert oder durch Lüftungscontainer, die an die Gebäude gesetzt wurden. Der VKTA hatte dazu mehrere Zu- und Abluftcontainer in den Maßen 20 Fuß sowie Container für die Fortluftmesstechnik.

Nach Abschluss der Rückbauarbeiten des jeweiligen Projekts wurden die Hallen ihrerseits zum Rückbauobjekt. Bei der Errichtung wurden jedoch die Aspekte der Freimessung bereits berücksichtigt, insbesondere bei der Gestaltung der Oberflächen, leichter Demontierbarkeit, gegebener Zugänglichkeit etc. Im Falle der Halle über dem „Abklinglager 91.4“ erfolgte nach Freimessung eine Weiternutzung als Logistikbereich für benachbarte Rückbauprojekte und später nach Umsetzung an einen anderen Standort als Fahrzeughalle. Der Caisson wurde in die Behandlungsanlage für feste und flüssige Reststoffe Rossendorf („ESR“) umgesetzt. Er ist dort bis heute in Nutzung. Das für die „MOSS-Anlage“ errichtete Gebäude diente im Zuge des Rückbaus der „Behälter 91.2/3“ als Schleusbereich und Bereitstellungsort für gefüllte und neue Reststoffbehälter.

Die Anordnung der Gebäude 91.1 bis 91.4 im maximalen Ausbauzustand (d. h. einschließlich aller für den Rückbau errichteten Umhausungen und Neubauten) ist in Abb. 2.42 dargestellt³. Die Produktionsanlagen für radioaktive Stoffe befanden sich im Gebäude 91 („technologisches Zentrum II“), dessen hofseitige Kontur im unteren Bereich der Abb. 2.42 dargestellt sowie in Abb. 2.43 (hinter dem Schornstein querstehendes Gebäude) zu sehen ist.

³ Die Gebäude 91.1 bis 91.4 wurden zusammen mit dem Gebäude 91 und weiteren Gebäuden zum Rückbaukomplex 2 zusammengefasst.

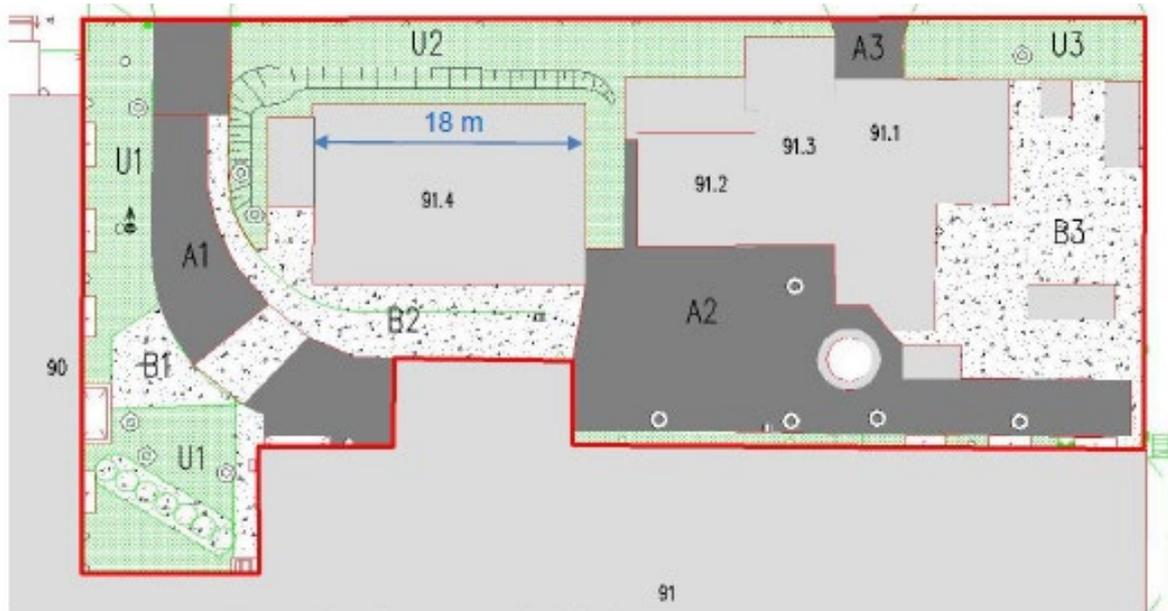


Abb. 2.42 Draufsicht auf den sogenannten „Hof 91“ mit den Gebäuden 91.1 bis 91.4 in ihren maximalen Dimensionen, sprich einschließlich aller für den Rückbau errichteten Umhausungen und Neubauten /VKT 22/



Abb. 2.43 Gebäude des Rückbaukomplex 2 im Jahr 1999 (Aufnahme vor Beginn der Rückbauarbeiten bzw. Umbauten im Betriebshof) /VKT 22/

Die beiden beschriebenen Beispiele erforderten die Schaffung von Infrastruktur wie bspw. Zuwegungen und Medienver- sowie -entsorgungen und Anpassungen an Elementen der Sicherung. Begleitend erfolgte immer auch die Anpassung der Messeinrichtungen des zentralen Strahlenschutzes wie bspw. des Immissions-Messsystems, des ODL-Messsystems, der ortsdosimetrischen Überwachung oder die Abwasser- und Fortluftüberwachung. Die Abwassersammlung erfolgte entweder durch Einbindung in vorhandene Anlagen oder den Einsatz von Abwasser-Sammelbehältern, bspw. auch Kleingebinden am jeweiligen Anfallort.

Die Schaffung der wichtigsten zentralen Anlagen dauerte einschließlich der Planung etwa 5 Jahre⁴. Sie war Ende der 1990er Jahre weitgehend abgeschlossen. Die zentralen Anlagen wurden während der gesamten Rückbauzeit fortwährend angepasst, ausgebaut und ertüchtigt.

Die Anpassung der dezentralen Anlagen erfolgte bezogen auf das konkrete Rückbauprojekt. Die Zeitschiene dabei war durch den Umfang der Planungen, die Durchführung der notwendigen Ausschreibungen und die bauliche Umsetzung bestimmt. Hierzu lässt sich keine generalisierende Aussage treffen.

Welche Freimesstechnik wurde angeschafft und welche räumlichen (Gebäude) Anpassungen waren dazu notwendig (Pos. 3.4)?

Im Zuge der radiologischen Erkundung und des Freimessprozesses wurden weitgehend die gleichen Messverfahren eingesetzt, wobei einige ihren Schwerpunkt bei der radiologischen Erkundung und den Vormessungen und andere bei Freigabe-Entscheidungsmessungen haben. Folgende Messverfahren bildeten den Schwerpunkt:

- Gamma-gesamtzählende Messungen mittels einer FMA
- in-situ-gammaspektrometrische Messungen
- OFK-Messungen oder Fluenzmessung mittels Oberflächenkontaminationsmonitor
- Probenahmen mit anschließender Laboranalytik für radioaktive Stoffe⁵; dafür standen im Hause (also dem VKTA) zur Verfügung:
 - Alpha- oder Beta-Gamma-gesamtzählende Messungen an Probenwechsellern, Low-Level-Messplätzen oder Filtermessplätzen
 - Gammaskpektrometrie

⁴ Die Laborabwasser-Reinigungsanlage ist davon nicht umfasst; sie wurde später errichtet.

⁵ Hinsichtlich Einordnung der Reststoffe zu den Schlüsselnummern nach Abfallverzeichnisverordnung wurden parallel Informationen zu chemischen Gefahrstoffen gewonnen, d. h. es wurden an ausgewählten Proben sogenannte Deklarationsanalysen durchgeführt.

- Alphaspektrometrie
- Flüssigszintillationsmessungen, auch Low-Level⁶
- Massenspektrometrie
- Röntgenfluoreszenzanalyse

Für viele dieser Verfahren ist eine umfangreiche Probenvor- oder Probenaufbereitung notwendig. Neben mechanischen Verfahren wie bspw. dem Mahlen steht im VKTA eine umfangreiche Palette radiochemischer Verfahren zur Verfügung, deren Einsatz besonders zur Vorbereitung von Flüssigszintillationsmessungen notwendig sein kann. Eine Vielzahl von Radionukliden ist, wenn sie in Radionuklidgemischen mit anderen Betastrahlern vorliegen, ohne radiochemische Probenaufbereitung nicht messbar (bspw. Cs-137, Sr-90+).

Der VKTA hat im Jahr 1997 eine Freimessanlage vom Typ RADOS RTM642 in Betrieb genommen. Sie wurde für den VKTA umgebaut; zusätzlich zu den großflächigen Plastikszintillationsdetektoren wurde ein HP-Germanium-Spektrometer⁷ eingebaut, welches der Nuklidvektorfalsifizierung dient (Details folgen im nächsten Kapitel). Auch Messungen von Großproben in abgeschirmter Umgebung im Zuge der radiologischen Erkundung sind damit möglich. Für die Freimessanlage wurde eine rechnerische Kalibrierung auf Basis von Strahlungstransportrechnungen nebst einem sogenannten Rekonstruktionsverfahren etabliert, welches auch eine tomographische Darstellung der Aktivitätsverteilung im Reststoffgebäude ermöglicht. Mit der RTM644Inc wurde im Jahr 2016 ein bauähnliches Backup in Betrieb angeschafft. Die RTM642 ist nach wie vor in Betrieb. Aktuell wird ein neues Kalibrierverfahren etabliert, welches von der Verwendung von Kalibriernukliden abrückt.

Die Freimessanlagen sind in der Lage, große Massen zeit- und kosteneffizient zu bewerten. Sie haben den Großteil der im Rückbau angefallenen Gebäude bewertet. Sie sind im Freimesszentrum lokalisiert.

⁶ Dies ist besonders wichtig im Hinblick auf den Nachweis der Einhaltung der Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 7 StrlSchV (alt) für Erdstoffe, die besonders bei Sr-90+ mit 0,002 Bq/g sehr niedrig sind, dessen Nachweismöglichkeit beim Vorhandensein von Spaltprodukten jedoch essentiell ist.

⁷ Bei vorhandener Detektorcharakterisierung ist dieses Spektrometer auch für ISG-Messungen nutzbar.

Der VKTA hat im Laufe der Jahre ca. 12 In-situ-Gammaspektrometer angeschafft, die meisten davon stickstoffgekühlt (die anderen sind elektrisch gekühlt). Stickstoffgekühlte Gammaspektrometer haben eine vergleichsweise bessere Energieauflösung (im Bereich von wenigen Prozent). Die ISG werden folgendermaßen eingesetzt:

- Messung von Gebinden im Freimesszentrum, deren Geometrie oder Nuklidzusammensetzung eine Messung in einer FMA nicht erlauben.
- Messung von Objekten in den Anlagen
- Ermittlung von Nuklidzusammensetzungen im Zuge der radiologischen Erkundung
- Bewertung von Gebäude- und Bodenoberflächen

Die ISG werden im Freimesszentrum vorgehalten, kalibriert, im Zuge der Qualitätssicherung geprüft und gewartet. Nur ein Teil wird ständig einsatzbereit („kalt“) gehalten.

Im Zuge der radiologischen Erkundung hatte die Materialprobenahme ihren Einsatzschwerpunkt. Sie diente dann vor allem zur Nuklidvektorermittlung sowie der Bewertung von Reststoffen, deren Nuklidzusammensetzung keine Bewertung mittels ISG oder FMA erlaubt. Die Auswertung von Materialproben erfolgte vor allem im zentralen Fachbereich Analytik (und den zugehörigen Labors). Wischprobenahmen wurden vorzugsweise in Strahlenschutzlabors ausgewertet, wo neben OFK-Monitoren bspw. Probenwechsler und Low-Level-Messplätze vorgehalten wurden. Bei der Einrichtung von Rückbaubereichen war demzufolge die Errichtung oder das Vorhandensein eines vom Rückbaugeschehen unbeeinflussten Strahlenschutz-Messraumes zu bedenken.

Neben der Freimesstechnik waren auch die notwendigen Reststoffbehältnisse anzuschaffen. Folgende Gebinde waren (und sind) am FSR geläufig:

- Europalettenbox („PE-Box“) 500 L
- Fass 200 L (Spannring, Flanschdeckel, mit oder ohne Presstrommel/Doppeldeckel)
- Restmülltonne 240 L; diese kann man sich als „normale“ Mülltonnen vorstellen.

Gebinde, die in keines der o. g. Gebinde passen, aber von der Messkammer der Freimessanlage aufgenommen werden können, werden kontaminationsfrei auf Europaletten gepackt und in Stretchfolie verpackt. Erforderlichenfalls werden sie mittels Spannbändern fixiert.

Am FSR kommen vor allem PE-Boxen zum Einsatz. Wenn unsicher ist, ob ein Reststoff freimessfähig ist, wird dieser in ein Abfallfass 200 L gefüllt. Freigabefähige Sekundärreststoffe werden meist in Reststoff-Mülltonnen gemessen. Zum Gebindehandling notwendige Flurförderfahrzeuge, Transportfahrzeuge und Anschlagmittel waren ebenfalls anzuschaffen. Weiterhin wurden 20-Fuß-Container angeschafft, die vor allem der Lagerung zu behandelnder oder zu verabfallender Reststoffe dienen, sowie Absetzcontainer, in die die mit einer Freigabeentscheidung versehenen Reststoffe entsprechend ihrer Zuordnung zu den AVV-Nummern gekippt.

Für die Bewältigung rückbauüblicher Massenströme sind entsprechend große Liegenschaften erforderlich. Die Situation am FSR ist insofern speziell, als dass freizumessende Reststoffe nicht von einem eingegrenzten räumlichen Bereich, sondern von einer Vielzahl von rückzubauenden Gebäuden und Einrichtungen kommen können, die über den FSR verteilt lokalisiert sind. Abb. 2.44 stellt mit Ausnahme der alle Kontrollbereiche verbindenden speziellen Kanalisation die wesentlichen der rückgebauten Gebäude und Anlagen dar.



Abb. 2.44 Luftbild vom FSR mit Markierung und Benennung der wesentlichen Anlagen, die rückzubauen waren /VKT 22/

Es wurde beschlossen, die Freimessung von Reststoffen, insbesondere die von Schüttgütern, am FSR an einem Ort zu zentralisieren. Dazu wurde ein Freimesszentrum, früher Freimessstation genannt, errichtet (siehe Abb. 2.45 und Abb. 2.46).

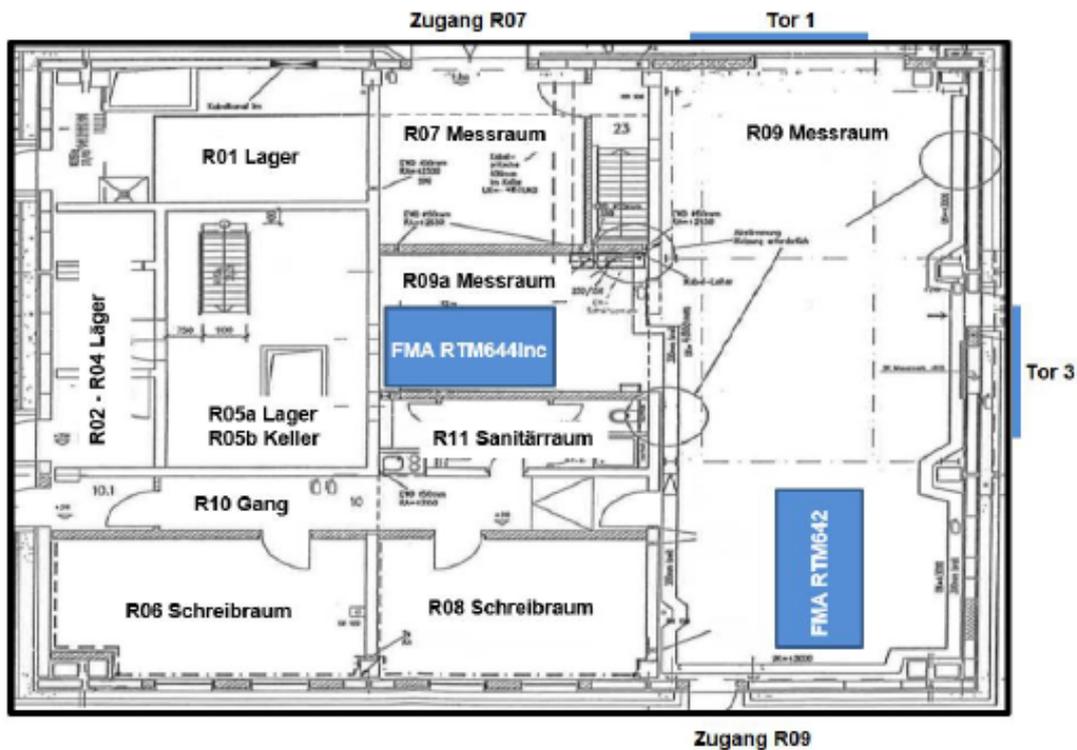


Abb. 2.45 Erdgeschoss-Grundriss des Freimesszentrums /VKT 22/

Zur Errichtung des Freimesszentrums wurde ein vorhandenes Gebäude umgebaut und eine Brachfläche erweitert und zum Betriebshof der Freimessanlage ertüchtigt. In dem Gebäude wurden

- Messräume geschaffen,
- fahrzeug- und fördermittelgeeignete Zuwegungen hergestellt,
- Büros und Sanitärräume eingerichtet,
- Lagermöglichkeiten für Strahlenschutzmaterial, Probenahme- und Messequipment geschaffen und
- ein Hallenkran eingebaut.

Der Betriebshof des Freimesszentrums diente der Bereitstellung der zu messenden und der gemessenen Gebinde, der Vorhaltung der Container/Absetzmulden, in die das gemessene Material gekippt wurde, sowie der Lagerung von Kalibriergebinden und Messhilfsequipment in 20-Fuß-Containern.

Zur logistischen Unterstützung des Freimesszentrums wurde in den Folgejahren benachbart ein Pufferlager errichtet.



Abb. 2.46 Freimesszentrum mit Betriebshof; rechts im Hintergrund ist die Leichtbauhalle des Pufferlagers zu erkennen /VKT 22/

Für die Errichtung des Pufferlagers wurde ebenfalls eine Brachfläche genutzt und erweitert sowie ein Bunker der Zivilverteidigung abgebrochen. Auf dem Pufferlager wurde eine Leichtbauhalle errichtet, um auch Möglichkeiten zur witterungsgeschützten Lagerung oder Bearbeitung v. a. von freizugebenden Reststoffen zu haben. Das Pufferlager hat in Bezug auf den Prozess der Freimessung und Freigabe folgende Aufgaben:

- Aufbereitung von Schüttgütern wie bspw. Brechen von Beton
- Bereitstellung Reststoffe zur Probenahme im Zuge der radiologischen Charakterisierung
- Homogenisierung von Erdstoffen mit dem Ziel der Möglichkeit der Entnahme einer repräsentativen Großprobe

- Schaffung von zusätzlichen Lagerkapazitäten
 - für freizumessende Schüttgüter (Lagerung als abgedeckte Miete)
 - für in Gebinde verpackte freizumessende Reststoffe
 - für freigemessene Schüttgüter, die vom FSR abgefahren werden sollen (siehe Abb. 2.47)



Abb. 2.47 Momentaufnahme der Tätigkeiten auf einem Pufferlagerschnitt im Jahr 2013 während der „Hochzeiten“ des Rückbaus /VKT 22/

Eine weitere Frage, die im Laufe der VK gestellt wurde, war nach den verwendeten Zerlegeverfahren und ob diese einen Einfluss auf die Freigabe hatten (*Pos 3.5*). Als verwendete Zerlegeverfahren sind Säurebäder, Abrasivstrahlen, Wasserdruckverfahren und chemische Verfahren zu nennen (also übliche Zerlegeverfahren). Für die Behandlung der Spaltproduktlösungen wurde früher ein Dienstleister beauftragt. Die Vortrennung und Vorzerlegung wurde überwiegend durch Fremdfirmen durchgeführt. Es wurde möglichst bis zur Nachweisgrenze des jeweiligen anzuwendenden Messverfahrens dekontaminiert.

Die Zerlegung von Komponenten und Strukturen erfolgte, wenn möglich, vor Ort. Hier wurden auch Dekontaminationsarbeiten wie Absaugen und Abwischen durchgeführt. Weitere Dekontaminationsverfahren erfolgten zentralisiert in der Behandlungsanlage.

Für die Zerlegung des biologischen Schildes wurde bspw. sukzessive von oben nach unten ein funkferngesteuerter Abbruchbagger eingesetzt und das Abbruchmaterial innerhalb der Reaktor-Einhausung in einem Brecher zerkleinert, vor Ort verpackt und dann zur Freimessanlage abtransportiert /KNA 20/.

(Pos. 3.6) Entgegen der Planung konnten Teile von Gebäuden/Böden nicht an der stehenden Struktur freigegeben werden. Die umliegenden, freigabefähigen Strukturen wurden freigegeben, ggf. abgerissen und abtransportiert. Die hierdurch freigelegten sog. „Freigabeinseln“ konnten erst im Nachhinein bewertet werden.

Um den heißen Zellenblock abzutrennen, mussten aufgrund der Statik umliegende Strukturen ertüchtigt werden. Dies war allerdings von vornherein geplant. Generell wurden 2/3 der Zeit für Planung und nur 1/3 der Zeit für den tatsächlichen Abbau verwendet. Da der Rückbau in den drei Rückbaukomplexen in Abbruchbereiche und diese wiederum in Teilprojekte gegliedert waren, gab es am FSR ein mehr oder weniger durchgängiges Rückbaugeschehen

Allgemein wurde in den Rückbauprojekten durch eine begleitend flexible und geänderte Planung rechtzeitig auf neue Sachlagen reagiert, so dass der Prozess als solches nicht zum Erliegen gekommen ist.

In einigen Teilprojekten waren Umplanungen aufgrund der radiologischen Situation und statischer Erfordernisse bei der Durchführung des Abbaus und notwendig. So war ursprünglich eine vollständige Freigabe des Labortraktes mit Reaktorhalle sowie des Ventilations- und Filtergebäude an der stehenden Struktur gefolgt von einem konventionellen Abriss vorgesehen. Dies erwies sich allerdings als nicht möglich, da die Entfernung oder Dekontamination kontaminierter Komponenten sowie die messtechnische Bewertung einzelner Objekte die Statik beeinträchtigt hätte. Daher wurden sogenannte „Freigabeinseln“ eingerichtet, die zunächst aus der Gesamtheit freizugebender Strukturen herausgenommen waren und nach Abriss der restlichen Gebäude weiter bewertet und abgebaut wurden. Hierdurch war ein Gebäudeabriss unter Strahlenschutzbedingungen notwendig. Es entstanden allerdings keine größeren zeitlichen und finanziellen Probleme /KNA 20/.

Weitere Umplanungen waren auch aufgrund der vorgefundenen radiologischen Situation in den „Heißen Kammern“ im Keller des Reaktorgebäudes notwendig. Deren Abbruch war zunächst nicht geplant, und eine Freimessung sollte an der stehenden Struktur erfolgen. Stattdessen mussten diese ebenfalls abgebrochen werden. Die Arbeiten hierfür waren umfangreich und mussten teilweise in fremdbelüfteten Vollschutzanzügen durchgeführt werden. Zusätzlich war eine Änderung der Materialwege notwendig.

(Pos. 3.7) Mit Ausnahme der Blöcke der heißen Zellen, Straßenplatten und Beton-Abschirmelementen wurden mineralische Strukturen fast ausschließlich als Schüttgut freigegeben. Der Nachweis der Einhaltung der Werte der Oberflächenkontamination wurde bei Bauschutt generell nicht geführt, sondern nur bei Vorliegen einer festen messbaren Kontamination. Die Strukturen wurden im ÜB gebrochen und das Metall weitgehend aussortiert und separat bewertet. Die Korngröße des Schüttguts wurde so definiert, dass möglichst eine dichte homogene Packung entstand.

(Pos. 3.8) Die Gebäudefreigabe erfolgte – wenn möglich – an der stehenden Struktur. Dies war aber insbesondere aufgrund der vorgefundenen radiologischen und statischen Gegebenheiten und der damit verbundenen Einrichtung von „Freigabeinseln“ nicht immer möglich.

(Pos. 3.9) Eine Freigabe von Metallschrott zum Recycling wurde vorzugsweise nicht durchgeführt. Die Metalle wurden dekontaminiert oder zum Abklingen gelagert, bis eine uneingeschränkte Freigabe erreicht werden konnte. Teils wurde die Option des Dekontaminationsschmelzens bei Siempelkamp genutzt. Die Oberflächenkontamination wurde immer bewertet, solange kein Schüttgut vorlag. Generell war die Freigabe von Metallen zur Rezyklierung wenig relevant, da nicht viel Material vorlag. Bei nichtmineralischen Teilen, die zum Teil in mineralische Strukturen eingebettet waren (bspw. Eisenträger) wurde für den freigelegten Teil der Nachweis der Einhaltung der flächen- und massenspezifischen Freigabewerte geführt. Bei Metallteilen, die auch bei der Dekontamination des Betons nicht freigelegt wurden, wurde hierauf verzichtet.

Fazit: Bevorzugt wird die uneingeschränkte Freigabe von Metallen, um keine Verzögerung zu haben und den Massenstrom einzuschränken, dies kann ggf. mit einem höheren Dekontaminationsaufwand verbunden sein, der aber augenscheinlich gerechtfertigt ist.

2.3.8.4 Radiologische Charakterisierung

(Pos. 4.1) Die radiologische Ausgangssituation der Anlage war geprägt durch zu Beginn des Rückbaus noch vorhandene be- und unbestrahlte Kernbrennstoffe sowie lokal und aktivitätsmäßig sehr differenzierte Aktivierung und Kontamination unterschiedlichster Stoffe.

Die radiologische Charakterisierung wurde nicht generalisiert, sondern für einzelne Anlagenteile durchgeführt. Es wurden ebenfalls viele Aktivierungsrechnungen durchgeführt, welche als Optimierungswerkzeuge zur Lenkung der Probennahme fungierten. Diese wurden vermehrt von Physikern aus Betriebszeiten durchgeführt, die weiter beschäftigt wurden. Darüber hinaus war in jedem Fall eine engmaschige Probennahme notwendig, da durch Materialinhomogenitäten auch nicht vorhersehbare Aktivierungen auftreten können. So wurde im biologischen Schild eine „Europium-Linse“ gefunden, welche auf Zuschlagstoffe im Beton zurückzuführen ist.

Erschwerend für die Freigabe waren alle Nuklide, die nicht zufriedenstellend durch Verfahren zur Messung der Gammastrahlung erfasst werden konnten. In diesen Fällen erwies sich die hauseigene Analytik als vorteilhaft.

Bei der Messung eingelagerter radioaktiver Abfälle, bei denen vergleichsweise geringe Aktivitäten und kurze Halbwertszeiten die Möglichkeit zur Freigabe vermuten ließen, musste bezüglich des Nuklidvektors auf die ursprünglichen Deklarationsdaten zurückgegriffen werden. Problematisch waren hier Gebinde, deren Nuklidvektor nicht oder nur ungenau bekannt war und/oder die keine gammastrahlenden Nuklide enthielten. Hier war meist – vor allem bei Mischabfall – keine repräsentative Beprobung mit vertretbarem Aufwand möglich, so dass die betreffenden Gebinde als radioaktiver Abfall im Zwischenlager verblieben /VER 05/, /VER 06/, /VER 07/.

Wie erfolgte die Bestimmung von Nuklidvektoren/Hochrechnungsfaktoren/Korrelationsfaktoren (Pos. 4.2)?

Der Text zu dieser Position wurde von VKTA verfasst.

Der Rückbau startete in den 1990er Jahren. Bestimmung und Anwendung von Nuklidvektoren waren in der damals zur Verfügung stehenden Literatur wenig beschrieben.

Auch ließ sich aus dem Charakter der Anlagen und dem Betriebsgeschehen schlussfolgern, dass die Verwendung eines oder weniger Nuklidvektoren nicht zielführend sein wird.

Man hat sich daher entschieden, für Freigabe-Entscheidungsmessungen vor allem solche Messtechnik einzusetzen, die spektrometrische Informationen ermitteln. Entweder beruht die Aktivitätsermittlung auf den spektrometrischen Informationen, oder die spektrometrischen Informationen werden zur Verifizierung oder Falsifizierung der in gesamtzählende Messverfahren gesteckten Annahmen zur Nuklidzusammensetzung verwendet. Als Beispiel dafür sind die zwei FMA des VKTA zu nennen, die parallel zur gamma-gesamtzählenden Messung ein Germaniumspektrometer besitzen, welches Informationen zur Zusammensetzung der gammastrahlenden Radionuklide liefert.

Anhand der Vielzahl der vorliegenden nuklidspezifischen Informationen entwickelten sich auch die Methoden der Bestimmung von Nuklidvektoren und in Zusammenhang damit die der Hochrechnungsfaktoren sowie der Einsatz von Korrelationsfaktoren. Dies mündete in /BOT 09/, wo der damalige Stand der Bestimmung von Nuklidvektoren, Hochrechnungsfaktoren und Korrelationsfaktoren festgehalten ist. Jedoch ist zu erwähnen, dass nicht jeder Nuklidvektor entsprechend der in /BOT 09/ geschilderten Verfahrensweise zu bilden ist. Es gibt Fälle, wo ein konservativ abdeckender Nuklidvektor/Einzelnuclid hinreichend ist, um das Freigabeziel zu erreichen, d. h. die Einhaltung der Freigabewerte zu dokumentieren, ohne damit ein großes Freigabepotential unberücksichtigt zu lassen.

Auch hier spielt nicht zuletzt die Frage des Aufwands und beizubringenden Nutzens eine Rolle. Bestimmend dabei ist das in Rede stehende potenzielle Freigabevolumen.

Auf große Teile des Rückbaus ließen sich folgende Korrelationen zwischen dem Vorkommen des jeweiligen Schlüsselnuclids oder der jeweiligen Schlüsselnuclide und daran zu korrelierende Nuclide anwenden:

- Spaltstoff: Anhand des Verhältnisses der Uranisotope zueinander konnten Rückschlüsse auf die Spaltstoffmatrix gezogen werden.
- Spaltprodukte: Anhand des Vorkommens von Cs-137+ ließ sich auf das Vorhandensein weiterer Spaltprodukte schließen.

- Aktivierungsprodukte der Isotopenproduktion: Anhand des Vorkommens des jeweiligen Zielnuklids (bspw. Co-60) ließen sich Rückschlüsse auf weitere Aktivierungsnuklide ziehen.
- Aktivierungsnuklide an den Reaktoren: Anhand des Vorkommens von Co-60 in Metallen ließen sich Rückschlüsse auf andere Aktivierungsprodukte schließen. Ähnliches gilt für Eu-152 in Normalbeton oder Ba-133 in Schwerbeton.

Anhand der Funktion der jeweiligen Teilanlage ließen sich Schlussfolgerungen hinsichtlich der Mischung der einzelnen Nuklidgruppen bilden. Es war jedoch unerlässlich, trotz der Vielzahl der vorhandenen Daten eine große Zahl von Proben zu nehmen, die nuklidspezifisch untersucht wurden.

Dies war in den Bereichen, wo Einzelnuclide im Rahmen von Forschungstätigkeiten gehandhabt wurden, unerlässlich, da dort die o. g. Korrelationen keine Anwendung finden konnten.

Die Bestimmung der Nuklidvektoren erfolgt im Regelfall vor dem Beginn der Rückbauarbeiten, weswegen der Einfluss auf den Massenstrom der Freigabe als mäßig einzuschätzen ist.

Wie erfolgt die Festlegung der Verfahrensweise zur Berücksichtigung von bestimmten Radionukliden auch z. B. unter Berücksichtigung der für die Entscheidungsmessungen verwendeten Messmethoden (z. B. Gesamt-Gamma, spektrometrisch) (Pos. 4.2)?

Die einzusetzenden Messverfahren müssen sich immer am Messzweck orientieren. Dabei sind am Anfang die Fragen zu stellen, die vor jeder Auswahl eines Messverfahrens und darin spezifisch des konkreten Messgeräts gestellt werden müssen:

- Strahlungsart: α -, β -, γ -, n-Strahlung oder Kombinationen mehrerer Arten
- Messgröße
- Dosis, Dosisleistung
- Aktivität
 - Oberflächenkontamination
 - massenspezifische Aktivität

- Aktivitätskonzentration
 - Raum- oder Fortluft
 - Abwasser
- Chemisch/physikalische Vorliegensform (fest, flüssig, gasförmig, Aerosol)
- Handhabbarkeit in Bezug auf die Messung ausgebauter Messobjekte bzw. die Positionierung
- in Einbaulage zu bewertender Messobjekte⁸
- Energie(-bereich) der Strahlung
- erforderliche Energieauflösung
- Bereich der Fluenz (niedriges oder hohes Strahlungslevel)
- gewünschte Messgenauigkeit → Detektorgröße → Messzeit
- unerwartete Umweltbedingungen

Anhand des zurückliegenden Anlagenbetriebs ist grundsätzlich bekannt, welches Nuklidspektrum zu erwarten ist bzw. welche Nuklide und Nuklidgruppen ausgeschlossen werden können. Dass diese Annahmen nicht in jedem Falle in vollem Umfang belastbar sind, wurde nach dem zurückliegenden breit gefächerten Umgang über 2 bis teils fast 4 Dekaden erwartet. Die radiologische Erkundung war demzufolge breit aufzustellen.

Am Anfang des jeweiligen Rückbauprojekts stand die radiologische und die historische Erkundung, die parallel zu den Rückbauplanungen gestartet wurde. Mit einfachen, meist gesamtzählenden Messverfahren wurden Aktivitätsmaxima lokalisiert. Dort erfolgten dann umfangreiche Probenahmen, von denen ausgewählte Proben einer sogenannten Vollanalyse unterzogen wurden, der meist radiochemische Probenaufbereitungen vorausgehen mussten. Diese sehr teuren Analysen waren meist erforderlich, um in Radionuklidgemischen mit mehreren nichtgammastrahlenden Nukliden einzelne dieser nicht-

⁸ Hinweis: Die rechtzeitige Beschaffung oder Fertigungsbeauftragung von Positionierhilfen ist zu berücksichtigen

gammastrahlenden Nuklide identifizieren und quantifizieren zu können. Parallel dazu erfolgten dort, wo die Ortsdosisleistung es zuließ, in-situ-gammaspektrometrische Messungen.

Mit den Ergebnissen der gesamtzählenden Messungen, der Probenahmen und der in-situ-gammaspektrometrischen Messungen lag eine breite Datenbasis über die Aktivitäts- und Nuklidverteilung vor. Anhand dessen konnte ermittelt werden, ob ein abdeckender Nuklidvektor gebildet werden kann, oder ob mehrere Nuklidvektoren für sachlich oder räumlich getrennte Felder zur Anwendung kommen müssen. Auch konnten Abschätzungen zum weiteren Analysenbedarf vorgenommen werden. Eine starke Streuung der Nuklidzusammensetzung innerhalb der Messergebnisse, die zur Bildung eines Nuklidvektors herangezogen wurden, zieht einen größeren Analysenbedarf nach sich als ein „stabiler“ Nuklidvektor. Ein Beispiel hierfür soll Sr-90+ sein:

- Ist der Nuklidvektor „stabil“, so kann man Sr-90+ in gammaspektrometrischen Messungen über Korrelationsverfahren (siehe Abschnitt 2.3.8.2) quantifizieren bzw. im Kalibrierfaktor von gesamtzählenden Messverfahren berücksichtigen. In dem Falle sind nur wenige weitere hinsichtlich Sr-90+ auszuwertende Proben zu nehmen, um die Annahmen zur Nuklidzusammensetzung zu kontrollieren.
- Andernfalls ist die Anzahl der zu nehmenden Proben größer. Sie stellt dann meist auch einen zu berücksichtigenden Haltepunkt dar, da über das weitere Vorgehen erst entschieden werden kann, wenn die Analyseergebnisse vorliegen.

Die erwartete Nuklidzusammensetzung stellt eine der wichtigsten Informationen zur Auswahl der erforderlichen Entscheidungsmessverfahren anhand der o. g. Kriterien dar. Bei der Auswahl wird versucht, im Hinblick auf die Erreichung des Messziels möglichst effiziente Entscheidungsmessverfahren einzusetzen. Die Erfahrung zeigte, dass die Kosten der Einzelmessung untergeordnet sind, wenn das Messverfahren für einen effizienten Rückbauablauf und einen guten Materialfluss sorgt.

Anlagenweit/systemweise/aus Dekontaminationsabtrag (Pos. 4.2)?

Je umfangreicher der Anwendungsbereich eines Nuklidvektors ist, umso einfacher gestaltet sich der Bewertungsprozess. Die Einflussfaktoren und Grenzen sind im vorigen Abschnitt dargestellt. Anhand dessen ergab sich, dass es keinen Rückbaukomplex und untersetzend auch keinen Abbruchbereich gab, der durch lediglich einen Nuklidvektor ausreichend beschrieben war. Innerhalb von Anlagen oder Systemen gab es jedoch

häufig eine für die Anwendung nur eines Nuklidvektors ausreichende Homogenität der Nuklidverteilung bzw. es konnte ein abdeckender Nuklidvektor bestimmt werden, ohne das Freigabeziel dadurch systemisch zu gefährden.

Die „letzte“ Messung (d. h. die Freigabeentscheidungsmessung) beinhaltete nuklidspezifische Bewertungsverfahren, oder sie wurde durch solche begleitet. So wurde die Nuklidzusammensetzung meist bis in den letzten Schritt des Rückbaus verfolgt. Daher lässt sich die Aussage treffen, dass es bei Baustrukturen je nach vorliegender Kombination aus kontaminationstragendem Medium, Umfang des strukturellen Eingriffs in die Baustrukturen und (Material-) Matrix im Ausnahmefall vorkam, dass sich der Nuklidvektor mit zunehmender Abtragtiefe verschob. Die Regel war es nicht.

Bei Böden ist die Verschiebung der Nuklidzusammensetzung relevant. Mit zunehmender Eintragtiefe im gewachsenen Boden ändert sich die Nuklidzusammensetzung dahingehend, dass die physikochemische Mobilität des Elements bzw. der Verbindung bestimmt, wie tief es eindringt. Dies kann dazu führen, dass an der größten Vordringtiefe der Kontamination nur noch das mobilste Element anzutreffen ist (bspw. Tc-99).

Aus diesem Grund ist es bei Bodenkontaminationen mit relevantem Wasserzutritt erforderlich, die Nuklidzusammensetzung fortlaufend zu verifizieren oder wenigstens zu falsifizieren, um zu erkennen, ob der Nuklidvektor die reale Nuklidzusammensetzung noch hinreichend beschreibt. Dies kann entweder konstant begleitend oder mit Erreichen entsprechender neuer Tiefenhorizonte erfolgen. Im VKTA erfolgte ersteres vollständig (durch den Einsatz der FMA, in der zu jeder Messung begleitend ein Gammapektrum aufgenommen wird). Letzteres erfolgte stichprobenartig oder anlassbezogen, bspw. wenn sich Anhaltspunkte ergaben. Diese konnten sowohl bautechnisch bedingt sein (enge Kommunikation mit bauausführenden Firmen) als auch durch die rückbaubegleitenden Strahlenschutzmessungen ausgelöst werden.

Hinsichtlich der Verschiebung der Nuklidzusammensetzung in anderen Bereichen wie dem Fußboden oder Gebäudestrukturen wurde keine Systematik im Laufe des Rückbaus festgestellt. Auch mit zunehmender Abtragtiefe/Dekontaminationsabtrag wurde keine systematische Verschiebung festgestellt. Generell ist es möglich, dass mit steigendem Abtrag eine größere Veränderung des Nuklidvektors auftreten kann. Die in der FMA ermittelten Messergebnisse sind stets in die Bewertung hinsichtlich der noch anfallenden Massen eingeflossen (die zuletzt abgebaute Masse gibt oftmals gute Hinweise

auf jene Massen, die als nächstes folgen). Wenn festgestellt wird, dass die Nuklidvektoren anfangen „abzuwandern“, ist man gezwungen den aktuellen Nuklidvektor zu überdenken, also evtl. einen neuen aufzustellen.

Konservativ/realitätsnah (Pos. 4.2)?

Erstes Ziel war immer der realitätsnahe Nuklidvektor, d. h. der Grad der Konservativität sollte möglichst niedrig sein. Dies gewährleistet, dass so wenig wie möglich Materialien unnötig verabfällt werden müssen (d. h. aus Gründen der Deklaration mit einem abdeckenden Nuklidvektor, obwohl die tatsächliche Nuklidzusammensetzung eine Freigabe ermöglichen würde). Diese Forderung muss mit zwei Faktoren in Einklang gebracht werden:

- Die Anzahl der Nuklidvektoren kann nicht beliebig groß werden.
- Der Geltungsbereich der Nuklidvektoren muss sinnvoll groß und am Rückbaugeschehen orientiert sein. Räumlich zu feingliedrig gebildete Nuklidvektoren erfordern ggf. einen zu nuancierten Rückbauablauf; sie scheitern daher oft an praktischen Erfordernissen.

Zu beachten ist, dass die Aussagen keinen Anspruch auf Absolutheit haben. Zum einen entwickelt sich das Wissen während des Rückbauprozesses weiter, zum anderen liegen auch in den einzelnen Rückbauprojekten verschiedene Gegebenheiten vor, die zu abweichenden Vorgehensweisen führen können. So war zum Beispiel immer individuell zu diskutieren, wie mit sich verschiebenden Nuklidverhältnissen über die Materialtiefe hin umzugehen ist (Informationen aus der tiefengestaffelten Probenahme).

Wie in den vorangegangenen Abschnitten geschildert, stellen Rückbauablauf, Rückbautechnik, Einsatz der Messverfahren und Rationalität des Vorgehens die wesentlichen Einflussparameter dar, aus denen sich die Bildung abdeckender Nuklidvektoren ergibt. Die Grenzen dafür liegen in den oben geschilderten Folgerungen aus Mess- und Analyseenergebnissen (Streuung der Werte etc.).

Es gibt keine kanonische Grenze, welche Bereiche oder wie viele Proben zur Bildung eines realitätsnahen oder abdeckenden Nuklidvektors führen, und wann ein weiterer

Nuklidvektor gebildet wird. Dies wird zu einem wesentlichen Teil durch die Gegebenheiten und Anforderungen des Einsatzbereiches des Nuklidvektors sowie der Erfahrung des Strahlenschutzpersonals bestimmt, welches den Nuklidvektor bildet. An der Stelle sei an den eingangs gebrachten Hinweis erinnert, dass sich der VKTA, geschuldet in der erwarteten breiten und kleinteiligen Inhomogenität der Nuklidverteilung, für die Bildung einer Vielzahl von Nuklidvektoren, die damit weniger konservativ und in höherem Maße zutreffend („realitätsnah“) sind, entschieden hat.

Gab es Änderungen im Laufe des Rückbaus hinsichtlich ihrer Bestimmung und Anwendung (Pos. 4.2)?

Das Verfahren der Nuklidvektorbestimmung hat sich mit der Zeit deutlich verändert. Wir haben umfangreiche Erfahrungen gesammelt, die dann auch in einem Forschungsprojekt mündeten /BOT 09/. Aktuell wird /BOT 09/ aktualisiert.

Die Messverfahren wurden fortlaufend angepasst. Dies lag zum einen in dem mit fortschreitender Anwendung der jeweiligen Messverfahren bedingten Wissensgewinn. Beispiele dafür sind:

- Erweiterung und Untersetzung der Kalibrierungen der FMA
- Erweiterung des Einsatzbereiches für in-situ-gammaspektrometrische Messungen vor allem im Hinblick auf die Bewertungsmöglichkeit für eine zunehmende Anzahl von möglichen Messgeometrien
- Erweiterung der Kalibrierungen für spektrometrische Messungen im Analytiklabor in Bezug auf Alpha-, vor allem aber auf Gammaspektrometrie.

Zum anderen stellte der Rückbau Anforderungen hinsichtlich der Schaffung von Bewertungsmöglichkeiten oder der Rationalisierung von Messverfahren. Beispiele hierfür sind:

- Schaffung einer Low-Level-Analytik für Sr-90+, um die Einhaltung des sehr niedrigen und bis dato nicht nachweisbaren Wert der Anlage III Tabelle 1 Spalte 7 /SSV 01/ für Sr-90+ in Erdstoffen nachweisen zu können.
- Kalibrierung rohrgängiger Sonden
- maximumorientierte Probenahme in Erdstoffen auf Basis von Messungen der Fluenz mit beta-gamma-gesamtzählenden Monitoren

- Ermittlung der Aktivität kontaminierter Bodenschichten durch Messung der Fluenz mit betagamma-gesamtzählenden Monitoren
- Beschaffung und Kalibrierung von Großflächen-Oberflächenkontaminationsmonitoren
- Bau von abgeschirmten selbstfahrenden alpha-beta-gamma-gesamtzählenden Oberflächenkontaminationsmonitoren

Gibt es verfahrensfestlegende Unterlagen wie z. B. Anweisungen oder Technische Berichte (Pos. 4.2)?

Alle Messverfahren sind in Fachanweisungen, Messanleitungen und dergleichen niedergelegt. Sollen sie im Zuge von Freigabeentscheidungsmessungen zur Anwendung kommen, so sind sie durch die Genehmigungsbehörde zu bestätigen. Dieser Prozess beinhaltet intensive technische und formale Prüfungen, oft auch unter Beteiligung von externen echten Sachverständigen, die die Verfahren begutachteten.

Der Prozess der Schaffung entsprechend freigabezulässiger Messverfahren nahm hinsichtlich des zeitlichen Vorlaufs und der erforderlichen Personalkapazitäten einen großen Raum ein. Ziel war daher, erforderliche Verfahren frühzeitig zu entwickeln und in den Genehmigungsprozess einzuspeisen. Während des laufenden Rückbaus sollten Verfahren allenfalls adaptiert oder geringfügig erweitert werden, da der geschilderte Aufwand zu Verzögerungen im Rückbau und mithin einer Störung des reibungslosen Ablaufs führt.

Traten unerwartete Anforderungen auf, so war zunächst immer Ziel, dies mit erprobten und genehmigten Verfahren zu lösen.

Anzahl Nuklidvektoren/Hochrechnungsfaktoren/Korrelationsfaktoren (Pos. 4.3)?

Der folgende Text zu dieser Pos. wurde von VKTA verfasst.

Die Anzahl der im Rückbau insgesamt eingesetzten Nuklidvektoren betrug etwa 120. Dabei ist zu beachten, dass niemals die Gesamtheit der Nuklidvektoren zur Verfügung stand, sondern nur ein Teil entsprechend dem jeweils laufenden Rückbaugeschehen. Die gegenüber anderen Anlagen ungewöhnlich hohe Anzahl an Nuklidvektoren liegt an

dem mehrfach angeführten Vorhandensein eines großen Nuklidspektrums, was für einen Forschungsstandort eher typisch ist, für ein Kernkraftwerk aber sicher nicht, und daran, dass der VKTA eher mit zutreffenden („realitätsnahen“) als mit weite Bereiche abdeckenden und dann notwendigerweise erheblich konservativeren Nuklidvektoren arbeiten wollte.

Im jeweiligen Rückbauschritt innerhalb eines den jeweiligen Rückbaukomplex untersetzenden Teilprojektes oder Abbruchbereiches standen 3 bis 5 Nuklidvektoren zur Verfügung, selten mehr. Es kam vor, dass ein Nuklidvektor nur für einen einzelnen Raum oder eine rückzubauende Experimentiereinheit galt.

Hochrechnungsfaktoren und Korrelationsfaktoren werden im VKTA-Sprachgebrauch synonym verwendet. Sie kommen bei Nutzung der Nuklidvektoren bei spektrometrischen Messungen zum Einsatz, bei denen nicht-gammastrahlende Radionuklide enthalten sind oder gammastrahlende Nuklide, deren Erkennungs- bzw. Nachweisgrenzen ungeeignet sind, um die Einhaltung des jeweiligen Freigabewerts zu dokumentieren. Bei alpha-beta-gesamtzählenden Messverfahren sind die Anteile der einzelnen Strahler in den Kalibrierfaktoren für die Nuklidgemische berücksichtigt. Bei gamma-gesamtzählenden Messverfahren werden die Anteile der Nicht-Gammastrahler bzw. sogar der Gammastrahler, für die keine Kalibrierung existiert, durch Hochrechnungsfaktoren berücksichtigt.

Kam es zu Problemen bei der konkreten Anwendbarkeit der Nuklidvektoren? Wie wurden diese gelöst (Pos. 4.3)?

Aus den in den vorangegangenen Abschnitten gemachten Angaben geht hervor, dass die Nuklidvektoren einer fortlaufenden Kontrolle unterzogen sind. Selbst die FMA des VKTA nehmen begleitend ein Gammaskpektrum auf, was dazu dient, die Annahmen zum Nuklidvektor zu falsifizieren.

Insofern war das Bewertungssystem auf von deklarierten Nuklidvektoren abweichende Nuklidzusammensetzungen ausgelegt. Damit wurde es im Regelfall nicht zum Problem, insbesondere nicht bei Gebinden aus Messungen in FMA.

Zum Problem wurde es, wenn sich die Nuklidzusammensetzung in einigen Bereichen in der Art verschob, dass das favorisierte Messverfahren nicht, nur noch begrenzt oder mit hohen Messzeiten eingesetzt werden konnte. In dem Fall mussten individuelle Lösungen

gefunden werden, die meist den Einsatz aufwändigerer Messverfahren oder rückbautechnische Umplanungen, meist eine Kombination aus beidem, zur Folge hatten. Ein Beispiel dafür ist eine Kontamination unter einem Betriebshof in mehreren Metern Tiefe, die ausschließlich Tc-99 (β -Strahler, kein γ) enthielt, während die Kontamination an der Oberfläche von Co-60, Sr-90+ und Cs-137+ dominiert war. Hier konnte die Bewertung nicht mehr mit den vorgesehenen Methoden durchgeführt werden, sondern musste mittels Probenahme und Analytik nach radiochemischer Aufbereitung erfolgen.

Die Auswirkungen auf den Fortgang des Rückbaus im Ganzen blieben klein, da allenfalls wenige % der Gesamtmasse in der Art betroffen waren, sodass keine „größeren“ Eingriffe in das Rückbaugeschehen notwendig wurden. Am FSR betrafen solche größeren Eingriffe Bodenflächen. Im Beton handelte es sich um kleinräumige Bereiche, die im Rahmen des laufenden Rückbaus entsprechend gehandhabt werden konnten (bspw. Beton im Tiefkeller sowie Estrich/Beton im Bedienraum der heißen Zellen des Gebäudes 8d, d. h. der „alten“ Isotopenproduktion).

Wurden (signifikante) Abweichungen bzw. Radionuklide später identifiziert, die nicht im angenommenen Nuklidvektor berücksichtigt wurden (Pos. 4.3)?

Diese Frage lässt sich nicht pauschal beantworten, insbesondere nicht ohne genaue Definition, was unter später verstanden wird:

1. Nach Festlegung des Nuklidvektors, aber während des laufenden Rückbaus: Dieser Fall stellt keinen ungewöhnlichen Fall dar. Wie oben mehrfach dargelegt gehörte die Verwendung einer Vielzahl von Nuklidvektoren zur Rückbauroutine. Insofern war es geläufig, aus den durch den fortschreitenden Rückbau und den parallellaufenden Entscheidungsmessungen an ausgebauten Reststoffen sowie freigabefähig dekontaminierten Teilbereichen gewonnenen Informationen Rückschlüsse auf den Nuklidvektor zu ziehen und zu erkennen, wenn er nicht mehr zutreffend bzw. abdeckend war, um dann einen neuen Nuklidvektor zu bilden und diesen fortan oder alternativ für eingrenzbarere Anwendungsfälle zu verwenden.
2. Zum Ende des jeweiligen Teilprojekts, aber vor Beginn der abschließenden Freigabemessungen: Dieser Fall konnte dazu führen, dass der Start der Freigabe-Entscheidungsmessungen später erfolgte, weil weitere Proben gewonnen und zusätzliche Messungen durchgeführt werden mussten. Dies war durch Terminverschiebungen realisierbar, konnte aber zu steigenden Rückbaukosten führen.

3. Im Laufe der Freigabe-Entscheidungsmessungen an Gebäudestrukturen, befestigten Flächen, Baugruben oder Bodenflächen: Dieser Fall ist für ein gesamtes Rückbauprojekt nicht einschlägig. Für kleinräumige oder kleinvolumige Teile eines Rückbauprojekts konnte dies vorkommen. Die Reaktion darauf erfolgte mit den Methoden aus 1) oder 2) oder durch Ausbau der entsprechenden Bereiche bis zur Aktivitätsfreiheit, sodass der verwendete Nuklidvektor für diesen Bereich abdeckend konservativ war und trotzdem die Freigabefähigkeit nachweisen konnte.

Anmerkung (von VKTA)

Der Themenbereich „Nuklidvektor“ enthält im Subkontext immer auch die Frage, welche Abweichungen des Nuklidvektors von der realen Nuklidzusammensetzung des Messobjekts toleriert werden können. Dem liegt die Erkenntnis zugrunde, dass spätestens auf der Mikroskala die Nuklidzusammensetzung des Einzelelements vom Nuklidvektor abweicht. Es ist stets eine wie auch immer geartete Mittelung über größere Massen- und Flächenbereiche nötig. Die für den Freigabeprozess benannten Mittelungsflächen und -massen dienen zuvorderst der messtechnischen Bewertung des konkreten Freigabeobjekts. Aus ihnen lässt sich nicht ableiten, dass auch die Nuklidzusammensetzung innerhalb einer Mittelungsgröße dem Nuklidvektor vollständig (im Rahmen der Messunsicherheit) entsprechen muss.

Der Grundsatz der Freigabe ist simpel: Entsprechend dem „De-minimis-Prinzip“ können Dosen im Bereich von einigen 10 $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$ vernachlässigt werden, bedürfen also keiner Regelung. Dennoch gibt es die Freigabe, die diesen Bereich des „Nichtregelungserfordernisses“ recht umfangreich regelt. Durch Freigaben werden Einzelpersonen der Zivilbevölkerung mit bis zu 10 $\mu\text{Sv}/\text{a}$ exponiert, wenn alle Freigabepfade mit maximalen Massen (100 ... 1000 t, teils auch darüber) und maximal zulässigen Aktivitäten ausgeschöpft werden. Davon ausgehend lässt sich schlussfolgern, dass der Bereich tolerierbarer Abweichungen viel größer sein kann, als er in praxi gelebt wird.

Wie der Bereich tolerierbarer Abweichungen in praxi gelebt wird, ist zum einen einer Evolution entworfen. VKTA hat während der Rückbauzeit tendenziell eine ständige Steigerung der Anforderungen, teilweise mit Sprüngen⁹, erlebt, bspw. neue gesetzliche oder normative Grundlagen. Zum anderen ist er von Doktrin abhängig, die nicht technisch determiniert sind, d. h. politisch motiviert sind.

Aus diesem Grund werden sich nach Auffassung des VKTA nur schwer allgemeingültige Aussagen zu tolerierbaren Abweichungen des Nuklidvektors von der tatsächlichen Nuklidzusammensetzung des Messobjekts treffen lassen.

(Pos. 4.4) Da die radiologische Erkundung jeweils im Vorfeld/begleitend (siehe Pos. 4.1) zu den jeweiligen Teilprojekten vorgenommen wurde, war die übergeordnete Reihenfolge des Rückbaus durch deren Ergebnisse nicht betroffen. Innerhalb des jeweiligen Teilprojektes gab es Auswirkungen, z. B. die Notwendigkeit der „Freigabeinseln“. In ähnlicher Weise konnten sich Erkenntnisse zur stofflichen Charakterisierung auswirken.

(Pos. 4.5) Alle nicht gamma-messbaren Nuklide, insbes. Tritium, da dies schlecht zu korrelieren ist.

2.3.8.5 Messtechnik

(Pos. 5.1) Es wurde zu 80-90 % die FMA für Entscheidungsmessungen eingesetzt. Ansonsten wurde mit In-Situ-Gammaspektrometer gemessen (bzw. Probenahme und Analytik, ggf. nach radiochemischer Probenvorbereitung).

(Pos. 5.2.) Es wurde vorrangig eigene Messtechnik verwendet.

(Pos. 5.3) Hinsichtlich Sondernuklidanalytik wurde weitgehend auf eigene Ressourcen zurückgegriffen. Mit externen Laboren erfolgten Abgleiche in Form von Ringversuchen.

⁹ Die Änderung der Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 StrlSchV (alt) ist ein solcher Sprung. Den VKTA trifft das bei Cs-137+ und v. a. bei C-14 in der Form, dass durch den von 80 auf 1 Bq/g gesunkenen Freigabewert ein bedeutender Teil des aus aktuellen Zerlege- und Dekontaminationsarbeiten zur abschließenden Bewertung anstehenden Graphits der thermischen Säule des RFR nicht mehr uneingeschränkt freigabefähig ist.

(Pos. 5.4 bzw. 5.6) In der FMA wurde eine realistische Kalibrierung und ein konservativer Nuklidvektor verwendet. Die Bestimmung der jeweiligen Aktivitätsverteilung im Gebinde als Basis für die Zuordnung der realistischen Kalibrierung erfolgte durch rechentechnische Auswertung der einzelnen Detektorsignale der FMA unter Anwendung eines selbst entwickelten Verfahrens. Es konnte bei Messungen mit der FMA ebenfalls eine größere Mittelungsfläche verwendet werden, wenn ein Homogenitätsnachweis vorlag. Es gab Fälle (geringe Massen), bei denen keine gammastrahlenden Nuklide vorlagen. Die Freigabe erfolgte hier über gesamtzählende Direktmessungen und/oder Material- bzw. Wischprobenahme.

(Pos. 5.7) Es wird ein Hintergrundabzug für natürliche Radionuklide durchgeführt. Es liegen 90 Datensätze zu natürlichen Radionukliden vor, zur Anwendung kommt die konservativste Annahme.

2.3.8.6 Dekontaminationstechniken

Der Text in diesem Kapitel wurde von VKTA verfasst.

Welche Dekontaminationstechniken wurden eingesetzt (Pos 6.1)?

Kontaminationsformen

Bei der Auswahl einer Dekontaminationstechnik spielte die Form der Kontamination sowie der Werkstoff des zu dekontaminierenden Reststoffes eine Rolle. Als Kontaminationsform wird unterschieden zwischen:

- staubförmiger (nicht haftender Kontamination)
 - luftgetragene Verschmutzung von Oberflächen
 - leicht zu entfernen
- mechanisch haftender Kontamination
 - Verschmutzung von Oberflächen mit bindenden Aerosolen/Stäuben, wässrigen Lösungen, Ölen, Fetten; die entsprechende Eigenschaft kann durch den Werkstoff oder dass die Kontamination verursachende Medium mitgebracht werden.
 - leicht entfernbar mit einfachen Reinigungsmitteln oder Poliermitteln
- chemisch/physikalisch haftender Kontamination

- durch chemische Reaktion zwischen Kontaminant (z. B. aggressive Lösungen oder Dämpfe) mit einer Oberfläche (Ablagerung)
- durch Adsorption und Diffusion, vorzugsweise aus Lösungen oder Dampf- und Gasphasen
- oft sehr fest haftend
- mit üblichen Reinigungsmitteln meist nicht entfernbar – Oberflächenabtrag erforderlich

Angewandte Dekontaminationsverfahren

Bei den Dekontaminationsverfahren, welche in Abhängigkeit der Kontaminationsform eingesetzt wurden, kann unterschieden werden zwischen physikalischen und chemischen Verfahren, welche auch kombiniert werden können. Je nach Ausgangszustand (Größe und Masse) der zu dekontaminierenden Reststoffe und dem anzuwendenden Dekontaminationsverfahren ist eine vorbereitende Behandlung zur Reduzierung von Größe und Gewicht nötig. Dazu kommen bzw. kamen die nachfolgend genannten Maschinen, Techniken und Verfahren zum Einsatz:

- Bandsägemaschine
- Plasmaschneidanlage (im Caisson)
- Brennschneidanlage (im Caisson)
- Trennschleifen
- Sägen (Handwerkzeug)
- Nibbeln („Knabbern“)

Physikalische Verfahren

Abwischen mit Zell- oder Vliesstoff

- Meist angewendet für staubförmige, nicht anhaftende Kontaminationen, da leicht entfernbar
- oft unter Zuhilfenahme von Detergenzien (Reinigungsmittel) wie bspw. Wasser mit Spülmittel oder anderen tensidhaltigen Substanzen

Absaugen mit Staubsauger (K1-Filter)

- meist angewendet für staubförmige, nicht anhaftende Kontaminationen, da leicht entfernbar
- Vorteil bei trockener Anwendung: geringere Mobilisierung des Staubes im Vergleich zum Abwischen

Waschen mit Bürste

- rotierend oder Handbürste, mit oder ohne Detergenzien oder im Tauch- bzw. Ultraschallbad
- angewendet für staubförmige oder mechanisch haftende Kontaminationen an „kleineren“, vorher zerlegten Teilen
- mit Bürste (meist manuell) am Handdekontplatz unter Zuhilfenahme von Reinigungsmitteln und kaltem oder (bevorzugt) warmem Wasser

Waschen im Tauchbad

- für staubförmige oder mechanisch haftende Kontaminationen an „kleineren“, vorher zerlegten Teilen
- Durchführung mit bestimmter Temperatur, Dauer und ggf. Zusatz von Reinigungsmittel
- je nach Art der eingesetzten Reinigungsmittel physikalisches Verfahren (Ultraschall) mit „chemischer“ Unterstützung

Spanabhebende Verfahren

- z. B. Schleifen, Feilen, Meißeln, Kratzen, Schaben oder auch Fräsen, Drehen
- bei mechanisch, chemisch oder physikalisch haftenden Kontaminationen

Strahlen abrasiv, trocken

- Strahlmittel: Sand, Stahlkies, Korund, Glasperlen
- angewendet zum Abtragen der Oberflächenkontamination bei mechanisch, chemisch oder physikalisch haftenden Kontaminationen → Staubabscheidung, Strahlmittlrückgewinnung

- in einer Trockenstrahlanlage (Strahlkabine) oder auch als „Freistrahlen“ möglich

Strahlen nass („Kärchern“)

- Strahlmittel: Wasser (warm oder kalt ggf. mit Zusatz von Reinigungsmitteln) im Caisson
- bei mechanisch haftenden Kontaminationen
- als Unterart auch möglich: Strahlmittel Dampf, Trockeneis oder CO₂ (derzeit nicht im VKTA verfügbar)

Chemische Verfahren

Beizen

- mit Beizpasten (mit Flusssäuren), Kaliumpermanganat, Oxalsäure, Zitronensäure, etc.)
- bei chemisch haftenden Kontaminationen
- Beizmittel auf den Werkstoff und Anwendungsfall abgestimmt, bevorzugt Beizpaste mit Flusssäure → Auftragen → Einwirken → Abwaschen

Auflösen

- mit Säuren und Laugen

Kombination von physikalischen und chemischen Verfahren

- im Nachgang zu physikalischen Verfahren (meist Trockenstrahlen) bei nicht ausreichendem Dekontaminationserfolg
- Beizen mit anschließendem Schleifen der Oberfläche
- Behandlung von Reststoffen im Ultraschallbad (Verstärkung der Effekte) mit für die Anwendung passendem chemischen Dekontaminationsmittel

Fazit

Der Einsatzumfang der verschiedenen Dekontaminationsmittel richtet sich nach dem Aufwand und der Effektivität, also dem Dekontaminationserfolg. In der Regel wird mit einfachen, aufwandsarmen Verfahren begonnen – der VKTA hat grundsätzlich immer

mit Absaugen und Abwischen abgebauter Teile begonnen. Das Trockenstrahlen ist ebenfalls ein effektives und im Aufwand „überschaubares“ Dekontaminationsverfahren mit guter Erfolgsquote. Ähnlich verhält es sich mit dem Nassstrahlen („Kärchern“), sofern in Punkto Wasserrückhaltung und Verhinderung Kontaminationsverschleppung geeignete Bedingungen vorliegen.

Schleifen, Fräsen und Nageln sind Verfahren, die oft einen guten Erfolg versprechen, jedoch einen höheren zeitlichen Aufwand erfordern als die vorbenannten. Das Ultraschallbad findet seine Anwendungsgrenze in der Größe der Ultraschallwanne, ist jedoch zu den aufwandsärmeren Verfahren zu zählen. Die weiteren angeführten Verfahren sind eher Verfahren, die bei Einzelobjekten zur Anwendung kommen denn bei relevanten Massenströmen.

Welche/wie viele Geräte wurden zur Dekontamination eingesetzt (z. B. Muldenbandstrahlanlage, Sandstrahlbox), (Pos. 6.2)?

Die Frage ist durch folgende Punkte untersetzt:

- „Ab welchem Zeitpunkt wurden die Geräte eingesetzt?“
- Gab es Änderungen im Verlauf des Rückbaus?“

Die Art und Anzahl der eingesetzten Geräte richtete sich nach den auszuführenden Rückbauarbeiten. Nachfolgend werden die Zusammenhänge dargestellt, wie sie für einen Anlagenrückbau mit anschließender Gebäudedekontamination einschlägig waren.

Die Dekontaminationsarbeiten wurden nahe dem Abbauort und weitere in entsprechenden zentralen Dekontaminationsanlagen der ESR durchgeführt (siehe dazu auch Abschnitt 2.3.8.3).

Alle Einzelteile wurden, sofern nicht dem radioaktiven Abfall ohne Dekontaminationsmöglichkeit zugeordnet, abgesaugt und abgewischt. Wenn die Messung ergab, dass weitere Dekontamination erforderlich ist, so wurde entschieden, ob vor Ort dafür Mittel zur Verfügung stehen und eingesetzt werden sollen, oder ob eine Abgabe zur zentralen Dekontamination durchzuführen ist. Nachfolgend sollen zwei Beispiele für Dekontamination von Einzelteilen im Rückbaubereich angeführt werden:

- metallische Einzelteile, vor allem Abschirmsteine des Rückbaukomplex 2: Das abgeschätzt große Aufkommen an metallischen Einzelteilen, vor allem Abschirmsteinen, führte dazu, für den Rückbau der Isotopenproduktionsanlagen des Rückbaukomplex 2 im Jahr 2003 eine Sandstrahlanlage nebst Strahlbox und Zyklonabscheider anzuschaffen. Der Zyklonabscheider wurde so positioniert, dass eine steigende Ortsdosisleistung aufgrund sich akkumulierender Aktivität keine Auswirkungen auf den Betrieb der Strahlbox oder das umliegende Rückbaugeschehen hat. Um die Anlage wurde ein Strahlzelt errichtet, welches an die Abluftanlage angeschlossen war. Die abgesaugten und abgewischene Einzelteile wurden gesammelt und chargenweise vorzugsweise dem Trockenstrahlen zugeführt. Nach dem meist einmaligen Strahldurchgang wurde der Dekontaminationserfolg messtechnisch überprüft.
- Nach Bewältigung des großen Massenanfalls entsprechender Teile im Rückbaukomplex 2 wurde die Anlage in die ESR umgesetzt, wo sie bis heute eingesetzt wird. Alle anderen Rückbau-Teilprojekte haben ihre entsprechenden Teile entsprechend an die ESR abgegeben oder zur Zwischenlagerung im Zwischenlager Rossendorf. U. a. solche Reststoffe aus dem Rückbau werden bis heute in der ESR mit dem Ziel der abschließenden Freimessung und Freigabe behandelt.
- Betonabtrag: Hier ist zwischen entnommenen Betonelementen (bspw. Abschirmsteinen) und Gebäudestrukturen zu unterscheiden. Betonelemente wurden teils nahe dem Abbauort behandelt, teils wie die oben geschilderten Bleisteine abgegeben zur späteren Behandlung. Gebäudestrukturen wurden durch Abstemmen oder Fräsen des Betons behandelt. Anders als bei zu strahlenden Einzelteilen, wo ein zweiter Trockenstrahldurchgang meistens geringe weitere Dekontaminationserfolge brachte, war es bei Beton eine Optimierungsfrage zwischen Kosten, Nutzen und Freigabeziel, wie oft oberflächenbearbeitende Verfahren zum Einsatz kamen.

Im Rückbau fanden noch folgende Dekontaminationsverfahren Anwendung:

- Wasserdruckstrahlen (geeignete Rückhalte- oder Auffangmöglichkeiten vorausgesetzt)
- Einsatz von Ultraschallbädern unter Zusatz entsprechender Abrasivmittel oder Tenside
- Nageln mit Nagelpistolen

- das Schruppen mit Schruppscheiben auf handgeführten Geräte

Alle anderen Verfahren wie bspw. das Beizen/Laugen waren der ESR vorbehalten (siehe oben).

Je weiter der Rückbau Fortschritt und je weniger Räumlichkeiten an den einzelnen Rückbauorten zur Verfügung standen, in desto größerem Umfang wurden anfallende Teile zur weiteren Dekontamination in der ESR vorgesehen. Es blieb dann beim Absaugen und Abwischen nahe dem Abbauort.

Welche Materialien/Materialmengen wurden dekontaminiert? (insgesamt, wenn möglich zeitlich aufgeschlüsselt), (Pos. 6.3)

Der VKTA verwaltet seine Reststoffe im Reststoffverfolgungs- und Kontrollsystem ReVK. Dort sind alle Reststoffe, die seit 1999 angefallen und in die ESR übernommen wurden, bilanziert. Eine im ReVK durchgeführte Abfrage für freigegebene Gebinde (Zeitraum der Gebinde-Entstehung 1999 bis heute) mit Herkunft aus beispielhaften Teilprojekten¹⁰ innerhalb der Rückbaukomplexe ergab folgende Reststoffmassen:

- Metalle: 421 t
- Mischabfälle brennbar: 173 t
- PVC: 35 t
- Sonstiges 22 t

Vermutlich eher behandelt (bspw. umgefüllt, getrocknet, verfestigt) und nur im Einzelfall dekontaminiert (bspw. bei Filtern mit kontaminierter Außenfläche) wurden:

- Bauschutt /Erde: 207 t
- Filter: 5,3 t
- Harze: 163 kg
- Schlämme: 1,3 t

¹⁰ D. h. die Aufzählung stellt die Zusammensetzung von Reststoffen, die zur Behandlung vorgesehen sind, beispielhaft für ausgewählte Rückbauprojekte summarisch dar. Sie enthält keine Darstellung aller Massen, die in der ESR behandelt wurden.

Dekontamination bis zu welcher Aktivität und wie wurde der Dekontaminationserfolg überprüft (Pos. 6.4)?

Dieser Punkt ist durch zwei Teilfragen untersetzt:

- „Bis zu welchem Aktivitätsniveau erfolgte die Dekontamination und wie wurde der Dekontaminationserfolg überprüft?
- Wurden verschiedene Verfahren eingesetzt und hinsichtlich ihrer Effizienz, ihres zeitlichen und finanziellen Aufwandes verglichen?“

Der Strahlenschutz hat allgemein zwei Schwerpunkte:

- den Schutz vor unzulässiger äußerer Exposition
- Vermeidung bzw. als Minimalziel Begrenzung von Inkorporationen

Neben dem Einsatz von Schutzkleidung und Abschirmmitteln ist das Senken des Aktivitätsniveaus ein probates Mittel, um die Ziele des Strahlenschutzes zu erreichen. Wie in den Abschnitten oben angeführt, hat der VKTA versucht, nach dem Leerfahren der Anlagen zuerst solche Dekontaminationsverfahren einzusetzen, die schnell eine Reduktion des Aktivitätsniveaus zur Folge hatten (natürlich nur sofern entsprechende Verfahren anwendbar waren).

Neben diesen vorrangig in Personenschutzgründen motivierten Einsätzen von Dekontaminationsmaßnahmen besteht im Rückbau das Ziel, möglichst große Reststoffmengen der Freigabe zuzuführen. Zur Beantwortung der Frage muss also unterschieden werden, ob die Dekontaminationsmaßnahme aus Gründen des Personenschutzes oder aus Gründen der Freigabe eingesetzt wurde. Im letzteren Fall war die Unterschreitung der Werte der uneingeschränkten Freigabe gemäß Anlage III Tabelle 1 Spalten 4 und 5 /SSV 01/ das erste Ziel. Wurde dies nicht erreicht, so war die Unterschreitung der Werte der eingeschränkten Freigabe gemäß Anlage III Tabelle 1 Spalten 4 und 9a/9b/9c/9d /SSV 01/ das nächste Ziel, um die Stoffe zur Deponierung oder Verbrennung abgeben zu können. Der Weg der Freigabe zum Einschmelzen besaß im Rückbau am FSR keine erwähnenswerte Relevanz.

Die Überprüfung des Dekontaminationserfolgs erfolgte zunächst visuell durch den die Dekontamination Ausführenden, direkt danach messtechnisch durch das arbeitsbegleitende Strahlenschutzpersonal. Durch den Messwertvergleich vorher/nachher ließ sich

der Erfolg der Maßnahme feststellen. Grundsätzlich wurde die Dekontamination aller kontaminierten Reststoffe angestrebt, sofern die Objektbeschaffenheit und der radiologische Zustand dies zulassen (Details siehe Abschnitt 2.3.8.3) Ineffiziente Dekontaminationsverfahren wurden geändert oder gestoppt. Dafür gab es keine kanonischen Kriterien. Die Entscheidung erfolgte durch die Rückbauleitung unter Einbeziehung des Dekontaminationspersonals.

Da Absaugen und Abwischen am einfachsten und kostenärmsten einzusetzen sind, gleichzeitig aber oft eine gute Effizienz besitzen, wurden alle Teile bei hinreichend geeignetem Zustand dergestalt behandelt. Der Einsatz weiterführender Dekontaminationsmaßnahmen wurde unter Effizienzgesichtspunkten betrachtet. Die Wahl zwischen verschiedenen Dekontaminationsverfahren, die alternativ einzusetzen waren, bestand im Rückbaualltag selten. Dazu ist anzumerken, dass direkte Dekontaminationskosten sowie Mess- und Entsorgungskosten recht gut kalkulierbar sind. Die Overhead-, Logistik- und Lagerkosten sind es weit schwerer, genauso wie die Endlagerkosten¹¹.

Bei unklaren Effizienzprognosen wurde stets dem Dekontaminationsversuch der Vorzug eingeräumt. Wenn eine weitere Dekontamination erwarten ließ, dass aus einer Freigabe zur Beseitigung eine uneingeschränkte Freigabe werden kann, so wurde dies bei vertretbarem Aufwand ebenfalls durchgeführt ohne „spitzes“ Berechnen der Wirtschaftlichkeit. Andere Unternehmen würden aus wirtschaftlichen Erwägungen wahrscheinlich keine weiteren Dekontaminationen durchführen. Wie im Abschnitt darüber beschrieben, wird jedoch empfohlen, im Zweifel lieber eine Dekontamination durchzuführen, da der Aufwand für Handling, Deklaration, Transport und Abgabe/Entsorgung von radioaktiven Abfällen meist größer wird als im Vorfeld abgeschätzt.

Es hat sich gezeigt, dass das Erzielen uneingeschränkter Freigaben vor allem mit zeitlich fortschreitendem Rückbau und einem sich verschlechterndem Entsorgungsumfeld für nicht uneingeschränkt freigegebene Reststoffe sehr vorteilhaft ist, da sehr zeitnah Entsorgungen durchgeführt werden können, ohne dass weitere der o. g. Kosten für die Reststoffhandhabung entstehen.

¹¹ Da der VKTA seine radioaktiven Abfälle in einem eigenen Zwischenlager zu sammeln hat, ergeben sich unkalkulierbare Kosten bis zur Abgabe an ein Endlager. Daher wurde der Vermeidung radioaktiven Abfalls besonders hohe Priorität eingeräumt.

Einsatz standardisierter Dekontaminationsverfahren (Pos. 6.5)?

Als standardisierte Dekontaminationsverfahren können nur das Absaugen und Abwischen angesehen werden und beim Vorliegen geeigneter Einzelteile der Einsatz des Druckstrahlens, nicht jedoch die Art und Weise der Durchführung. Alle anderen Verfahren wurden unter Betrachtung der am konkreten Objekt vorliegenden spezifischer Bedingungen eingesetzt. Selbst beim Vorliegen des aus Dekontaminationsgesichtspunkten trivialen Falles Estrichfußboden ist zu betrachten, ob es oberflächliche Beschichtungen gibt und wenn ja welche oder ob es Faserzusätze gibt. Dementsprechend erstreckt sich die Palette der Dekontaminationsverfahren vom Wasserdruckstrahlen über Fräsen bis hin zum schichtenweisen Abstemmen oder Komplettausbau.

Wie in den vorigen Abschnitten geschildert erfolgte nach Einsatz eines Dekontaminationsverfahrens eine messtechnische Überprüfung des Dekontaminationserfolgs und anhand dessen die Entscheidung über Fortsetzung, Adaption/Wechsel oder Abbruch des Verfahrens.

Maßnahmen bezgl. Nuklidvektorverschiebung (Pos. 6.6)

Weitere Informationen zu dieser Pos. finden sich in Abschnitt 2.3.8.4 (Pos. 4.2) und Abschnitt 2.4.5.

Dekontaminationstechniken: positive/negative Erfahrungen (Pos. 6.7)?

Das trockene Druckstrahlen hat sich bei der Dekontamination metallischer Teile im Zuge des Rückbaus sehr gut bewährt. Es hat die Erwartungen in den meisten Fällen sogar übertroffen. Es wurden Dekontfaktoren von oftmals über 90 %, bei lackierten Metallteilen oder angerosteten Oberteilen ferritischer Materialien teils sogar bis zu > 99 % erreicht. Im Vorfeld wurden Trockenstrahlversuche an ausgewählten Materialien durchgeführt. In Vorbereitung auf die Dekontamination größerer Mengen Abschirmmaterial der Anlage zur Molybdänproduktion Rossendorf („AMOR“) wurden Trockenstrahlversuche an dort verbauten Bleisteinen ausgeführt, um den zu erwartenden Dekontaminationserfolg abschätzen zu können (siehe Abb. 2.48).

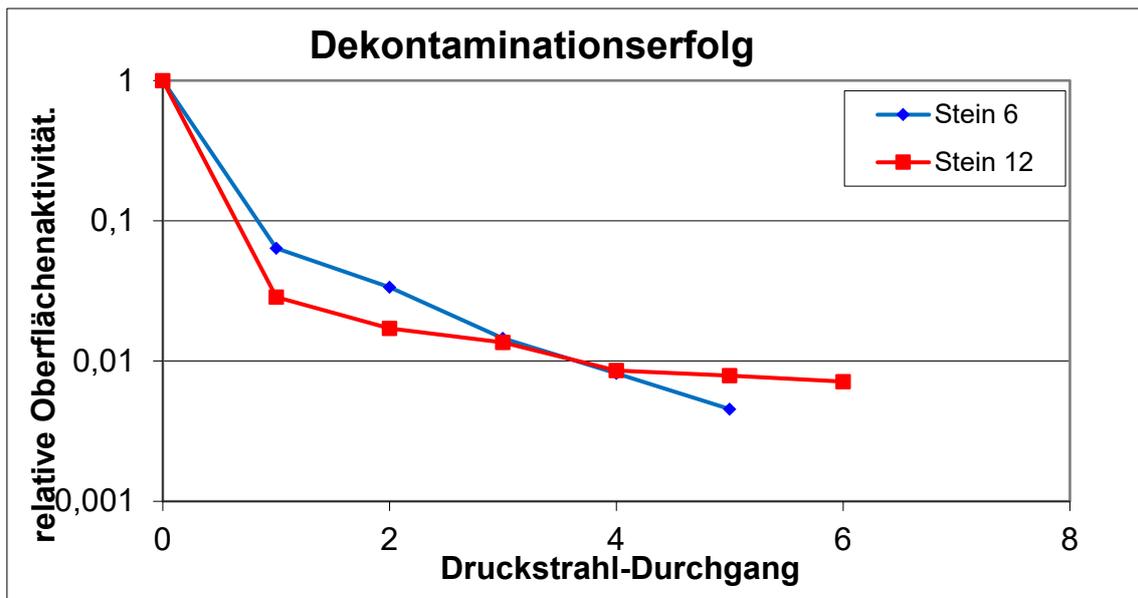


Abb. 2.48 Im Rahmen von Druckstrahlversuchen ermittelter Dekontaminationserfolg an Bleisteinen des Rückbauprojekts AMOR in Abhängigkeit der angewendeten Strahldurchgänge

Der Dekontaminationserfolg ist abhängig von

- der Oberflächenbeschaffenheit des zu strahlenden Materials,
- der Atmosphäre, in der das Teil eingesetzt war (feucht/trocken, vor allem aber basisch/sauer oder neutral)
- Art des Strahlguts (untergeordnet)
- der Anzahl der Strahldurchgänge

In der Regel war ein gründlich durchgeführter Druckstrahlgang ausreichend. Ein zweiter Durchgang führte nur selten zu signifikant größeren Dekontaminationserfolgen.

Der generelle Ausschluss einer Dekontaminationstechnik ist den Autoren (VKTA) nicht erinnerlich. Einzig in einzelnen Fällen wurde das eine oder andere ausgeschlossen (bspw. das Druckstrahlen bei Bleisteinen, die in saurer Atmosphäre eingesetzt waren).

2.3.9 Small Facility: ^{14}C -, ^{36}Cl - und $^{239/240}\text{Pu}$ -Messungen mit AMS

Der Textbeitrag in folgenden Abschnitten wurde von der Universität zu Köln erstellt.

2.3.9.1 Allgemeines

Neben den Kernkraftwerken bzw. Forschungsstandort Rossendorf wurde im Vorhaben zur Überprüfung der Anwendbarkeit der Beschleunigermassenspektrometrie (*Accelerator Mass Spectrometry, AMS*), auch ein im Rückbau befindliches Radionuklidlabor betrachtet. Diese Labore weisen zum einen oftmals eine komplexe Betriebshistorie hinsichtlich der verwendeten Nuklidspektren auf und erfüllen zum anderen selten eine für ein Freigabeverfahren notwendige Dokumentation sämtlicher Tätigkeiten.

Die Messungen fanden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens als unterstützende Arbeiten zu AP 3 statt. In diesem Zusammenhang wurden stilllegungsbegleitend Proben aus Wänden und Böden einer *small facility* (Abteilung Nuklearchemie der Universität zu Köln in der Otto-Fischer-Straße 12 - 14, siehe Abschnitt 2.1.5) entnommen, in der u. a. mit ^{14}C , ^{36}Cl und $^{239/240}\text{Pu}$ umgegangen wurde.

Die Proben wurden dabei an unterschiedlichen Punkten genommen (z. B. Labor- bzw. Messräume, Wände/Böden, Böden vor Abzügen und an vielbegangenen Stellen etc.), s. Anhang B. Insgesamt wurden an 20 unterschiedlichen Punkten Proben genommen, die mittels Beschleunigermassenspektrometrie (AMS) auf die genannten Nuklide untersucht werden.

Diese Untersuchungen wurden durch den Unterauftragnehmer Universität zu Köln durchgeführt; dementsprechend wurden die folgenden Abschnitte dieses Kapitels von der Universität zu Köln verfasst.

2.3.9.2 ^{14}C -Messungen

2.3.9.2.1 Untersuchte Proben

Die Probenentnahme erfolgte wie geplant aus dem Kontrollbereich der *small facility* der Abteilung Nuklearchemie der Universität zu Köln. Insgesamt wurden 20 Proben entnommen (s. Anhang B), davon wurden 10 Proben auf ^{14}C -Gehalte überprüft (Tab. 2.5). Für die Messung von ^{14}C wurden aus jedem Raum, in dem mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wurde, jeweils eine Probe aus der Wand (1,30 m Höhe vom Boden aus gemessen) und eine Probe aus dem Boden ausgewählt. Die Bohrlöcher waren jeweils etwa 5 cm tief bei einem Durchmesser von 15 mm, was eine Materialmenge von 20-30 g ergab.

Tab. 2.5 Verwendete Feststoffproben für die ¹⁴C-Messungen

Probennummer	Wand/Bodenprobe	Entnahmeort
WL11EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 11, EG
BL11EG3	Boden, mittig	Labor 11, EG
WL10EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 10, EG
BL10EG3	Boden, mittig	Labor 10, EG
WL9EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 9, EG
BL9EG3	Boden, mittig	Labor 9, EG
WL2EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 2, EG
BL2EG3	Boden, vor ehem. Abzug	Labor 2, EG
WR1EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 1, EG, Aktivvorbereitung
BR1EG4	Boden, Eingangsbereich	Labor 1, EG, Aktivvorbereitung

2.3.9.2.2 Messung und Ergebnis

Die Proben wurden homogenisiert. Für die ¹⁴C-Messungen wurden jeweils etwa 10 mg Material entnommen und in ein Probenschiffchen überführt. Die Messung der ¹⁴C-Gehalte erfolgte mit Hilfe eines an das AMS gekoppelten Elementaranalysators. Die Messwerte sind in Tab. 2.6 wiedergegeben. Die primären Messwerte F¹⁴C sind das Atomzahlverhältnis der gemessenen ¹⁴C-Gehalte im Vergleich zum ¹⁴C-Gehalt der Atmosphäre (Gehalt im Jahr 1950 = 1, „*modern Carbon*“).

Tab. 2.6 Messwerte der AMS-Messungen

Die angegebenen Unsicherheiten entsprechen 1σ und berücksichtigen sowohl statistische Unsicherheiten der Zählraten als auch sonstigen Messunsicherheiten. $F^{14}\text{C}$ ist der Faktor gegenüber dem $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ Verhältnis in der Atmosphäre (Bezugsjahr 1950).

Probe	$F^{14}\text{C}$	+/-
WL11EG1	0,8269	0,0055
BL11EG3	0,7937	0,0054
WL10EG1	0,8043	0,0097
BL10EG3	0,5745	0,0042
WL9EG1	0,9594	0,0064
BL9EG3	0,6345	0,0048
WL2EG1	4,4144	0,0288
BL2EG3	0,4805	0,0039
WR1EG1	1,3597	0,0090
BR1EG4	0,9813	0,0089

2.3.9.2.3 Diskussion

2.3.9.2.3.1 Allgemeines

Wie aus Tab. 2.6 ersichtlich, liegen 8 von 10 der bestimmten $F^{14}\text{C}$ -Werte unterhalb von 1, d. h. niedriger als der atmosphärische Gehalt im Jahr 1950. Ein Messwert (WR1EG1) ist geringfügig erhöht gegenüber diesem Wert, und der Messwert einer Probe (WL2EG1) ist etwa 4-fach überhöht gegenüber der Atmosphäre.

Diese Messwerte lassen sich einordnen im Vergleich zu den atmosphärischen Werten des 20. Jahrhunderts (Abb. 2.49): Da das Gebäude Anfang der 1960er Jahre gebaut wurde, könnten im Prinzip Werte bis zu $F^{14}\text{C} = 2$ dadurch zustande kommen, dass in den Baumaterialien atmosphärischer Kohlenstoff dieser Zeit fixiert worden sein kann. Durch die oberirdischen Kernwaffentests in dieser Zeit war der ^{14}C -Gehalt der Atmosphäre erhöht.

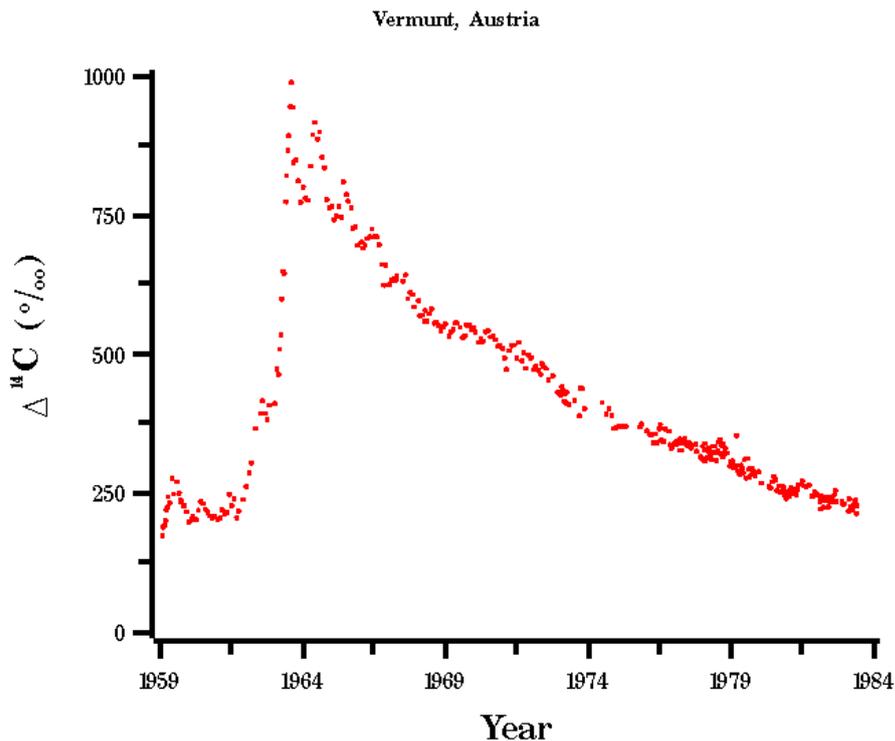


Abb. 2.49 Messdaten der Untersuchung der ^{14}C -Gehalte in der Atmosphäre aus Vermunt, Österreich /LEV 94/. Angaben als relative Erhöhung $\Delta^{14}\text{C}$ in ‰; d. h. $\Delta^{14}\text{C} = 1.000$ entspricht $F^{14}\text{C} = 2$.

Die meisten Proben zeigen allerdings sogar eine Erniedrigung ($F^{14}\text{C} < 1$). Auch das ist erklärlich, da die Baustoffe „toten“ Kohlenstoff aus fossilen Quellen enthalten können. Dies ist etwa der Fall, wenn beim Brennen von Zement fossile Brennstoffe eingesetzt werden. Vor diesem Hintergrund sind die Werte der 8 genannten Proben unauffällig.

Die beiden Proben mit „höheren“ ^{14}C -Gehalten ($F^{14}\text{C} > 1$) stammen aus den Räumen 1 und 2. Das ist plausibel, da Raum 2 allgemein das am stärksten genutzte Laboratorium des Kontrollbereichs gewesen ist und in Raum 1 z. B. Proben aus Vorratsbehältern umgefüllt worden sein können. Beide Proben werden im Folgenden noch einmal gesondert betrachtet.

2.3.9.2.3.2 Probe WR1EG1

Der ^{14}C -Gehalt in Probe WR1EG1 ist geringfügig erhöht gegenüber dem atmosphärischen Wert. Die Erhöhung liegt in einem Bereich, der mit einem ^{14}C -Gehalt der Atmosphäre etwa 1963 vergleichbar ist. Plausibler ist allerdings, dass der erhöhte Gehalt

durch den offenen Umgang mit ^{14}C im Labor zu Stande gekommen ist. Eine eindeutige Unterscheidung kann aber nicht getroffen werden.

2.3.9.2.3.3 Probe WL2EG1

Der ^{14}C -Gehalt in Probe (WL2EG1) ist etwa 4-fach überhöht gegenüber dem atmosphärischen Wert. Diese Erhöhung kann auf jeden Fall nicht mehr als Erhöhung durch die oberirdischen Kernwaffentests in dieser Zeit interpretiert werden, sondern geht offenbar eindeutig auf den Umgang mit radioaktiven Stoffen zurück. Dabei ist schlüssig, dass der einzige signifikant gegenüber dem atmosphärischen Wert erhöhte ^{14}C -Gehalt in demjenigen Labor des Kontrollbereiches auftritt, das historisch am intensivsten genutzt worden ist. Ebenso plausibel ist, dass ein erhöhter Gehalt ausschließlich in der Probe aus der Wand gefunden wird, wo er zum Beispiel durch Eindiffusion entstanden sein kann.

2.3.9.2.3.4 Radiologische Aspekte

Zur Diskussion radiologischer Aspekte wurden die zuvor bestimmten ^{14}C -Gehalte der Proben WR1EG1 und WL2EG1 wie folgt umgerechnet:

- Zur Bestimmung der spezifischen Aktivität [Bq/g] wurde ein Gesamt-Kohlenstoff-Gehalt der Proben von 1 Massen-% zu Grunde gelegt. Dies entspricht dem Erfahrungswert und ist konsistent mit den bei der Messung beobachteten freigesetzten Gasmengen. Unter Berücksichtigung der Zerfallskonstante von ^{14}C ergeben sich die Werte in Spalte 3 von Tabelle 3.
- Zur Bestimmung einer hypothetischen Oberflächenaktivität [Bq/cm²] wurde jeweils die Gesamtaktivität der Bohrproben (ca. 27 g) berechnet und der ausgebohrten Oberfläche (Loch mit 15 mm Durchmesser, Fläche ca. 1,8 cm²) zugewiesen. Dadurch ergeben sich die Werte in Spalte 4 von Tab. 2.7.

Tab. 2.7 Spezifische Aktivität der ausgebohrten Proben und zugewiesene Flächenaktivität. Die Unsicherheit der letzten Stellen ist jeweils in Klammern angegeben.

Probe	F ¹⁴ C	Spezifische Aktivität [Bq/g]	Flächenaktivität [Bq/cm ²]
WL2EG1	4,414(29)	0,00988(6)	0,1482(10)
WR1EG1	1,360(09)	0,00306(2)	0,0460(03)

Aus der aktuellen Strahlenschutzverordnung /SSV 18/ können sinnvollerweise folgende Freigabewerte als Vergleichswerte für ^{14}C herangezogen werden:

- Die Freigrenze für die uneingeschränkte Freigabe von festen und flüssigen Stoffen beträgt 1 Bq/g (Spalte 3 von Tabelle 1 in Anlage 4)
- Die Freigrenze für die Oberflächenkontamination beträgt 100 Bq/cm² (Spalte 5 von Tabelle 1 in Anlage 4)
- Der Freigabewert für die spezifische Freigabe von Bauschutt bis 1.000 Mg/a beträgt 60 Bq/g (Spalte 6 von Tabelle 1 in Anlage 4)
- Der Freigabewert für die Oberflächenkontamination für die spezifische Freigabe von Gebäuden zur Wieder- und Weiterverwendung beträgt 1.000 Bq/cm² (Spalte 12 von Tabelle 1 in Anlage 4)
- Der Freigabewert für die Oberflächenkontamination für die spezifische Freigabe von Gebäuden zum Abriss beträgt 6.000 Bq/cm² (Spalte 13 von Tabelle 1 in Anlage 4)

Wie leicht ersichtlich ist, werden trotz der auf Grund der Kontamination alle anwendbaren Freigabewerte deutlich unterschritten.

2.3.9.3 ^{36}Cl -Messungen

2.3.9.3.1 Untersuchte Proben

Die Probenentnahme erfolgte wie geplant aus dem Kontrollbereich der *small facility*. Insgesamt wurden 20 Proben entnommen, davon wurden 10 Proben auf ^{36}Cl -Gehalte überprüft. Für die Messung von ^{36}Cl wurden die gleichen Proben ausgewählt wie für ^{14}C : aus jedem Raum, in dem mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wurde, wurde jeweils eine Probe aus der Wand (Höhe über Boden 1,30 m) und eine Probe aus dem Boden ausgewählt. Die Bohrlöcher waren jeweils etwa 5 cm tief bei einem Durchmesser von 15 mm, was eine Materialmenge von 20 - 30 g ergab. Jeweils etwa 1 g wurde abgewogen und für AMS-Messungen aufbereitet (s. Tab. 2.8).

Tab. 2.8 Verwendete Feststoffproben für die ^{36}Cl -Messungen

Probennummer	Wand/Bodenprobe	Entnahmeort	Masse [g]	NaCl spike [mg]
WL11EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 11 EG	1,0004	5,04
BL11EG3	Boden, mittig	Labor 11 EG	1,0017	5,13
WL10EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 10 EG	1,0019	5,07
BL10EG3	Boden, mittig	Labor 10 EG	1,0016	5,21
WL9EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 9 EG	1,0011	5,43
BL9EG3	Boden, mittig	Labor 9 EG	1,0004	5,05
WL2EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 2 EG	1,0016	5,22
BL2EG3	Boden, vor ehem. Abzug	Labor 2 EG	1,0015	5,31
WR1EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 1 EG	1,002	5,09
BR1EG4	Boden, Eingangsbereich	Labor 1 EG	1,0013	5,2

2.3.9.3.2 Messung und Ergebnis

Die Aufbereitung der ^{36}Cl -Proben für die Messung mittels AMS wurde nach einem an der Universität zu Köln entwickelten Trennungsgang durchgeführt /BIN 14/. Für die ^{36}Cl -Messungen wurden jeweils 1 g Material der homogenisierten Proben entnommen und mit 5 mg NaCl als ^{35}Cl -Spike versetzt (Tab. 2.8). Da mittels AMS keine Konzentration, sondern ein Atomzahlverhältnis $^{36}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ gemessen wird, ermöglicht die Zugabe dieses Spikes eine Zurückrechnung auf die Konzentration in der Probe. Zuvor war anhand einer LSC-Messung abgeschätzt worden, dass keine für AMS-Messungen zu hohe ^{36}Cl -Kontamination zu erwarten war (deutlich kontaminierte Proben hätten für AMS sinnvollerweise mit einer höheren Menge inaktiven NaCl verdünnt werden müssen). Anschließend wurden die Proben in saurem Milieu gelöst und homogenisiert. Das Chlorid wurde anschließend gemäß /BIN 14/ als Silberchlorid gefällt und aufgereinigt. Für die Messung von ^{36}Cl mittels AMS ist es wichtig, dass das stabile Isobar ^{36}S entfernt wird, um eine Interferenz mit dem ^{36}Cl im Detektor zu unterdrücken. Daher wurde das Silberchlorid abermals gelöst, mit Bariumnitratlösung versetzt und bei 4 °C inkubiert. Dadurch fällt Schwefel als Bariumsulfat aus und kann entfernt werden. Die gelösten Chloride wurden daraufhin erneut als Silberchlorid gefällt, aufgereinigt und getrocknet. Die Proben wurden jeweils in Kupfertargets gepresst und mit AMS gemessen.

Die Messwerte der ^{36}Cl -Messung sind in Tab. 2.9 wiedergegeben. Für die Bestimmung der Atomzahlen aus den $^{36}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ -Verhältnissen wurde der Blank-Wert ($2,61 \cdot 10^{12}$) abgezogen und mit dem Korrekturfaktor 0,758 multipliziert (bestimmt aus Messung von vier ^{36}Cl -Standards). Die Unsicherheit der Werte auf Grund statistischer Unsicherheiten der Zählraten und der auch sonstigen Messunsicherheiten beträgt durchgehend etwa 4 % (1σ). In allen untersuchten Proben war eine Erhöhung der ^{36}Cl -Konzentration gegenüber der natürlichen Konzentration nachweisbar. Keine der bestimmten Aktivitäten wäre ohne weiteres mit radiometrischen Methoden nachweisbar gewesen (zur radiologischen Relevanz s. Diskussion im folgenden Abschnitt).

Tab. 2.9 Messwerte der AMS-Messungen: $^{36}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ -Verhältnis, Erhöhung gegenüber dem natürlichen $^{36}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ -Verhältnis ($F^{36}\text{Cl}$), Anzahl der ^{36}Cl -Atome in der Probe und Umrechnung in Aktivität A

Probe	$^{36}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$	$F^{36}\text{Cl}$	^{36}Cl [at]	A [Bq]
WL11EG1	1,99E-11	7,6	3,1(1)E+08	2,3E-05
BL11EG3	8,60E-12	3,3	1,10(4)E+08	8,1E-06
WL10EG1	3,23E-12	1,2	1,13(4)E+07	8,9E-07
BL10EG3	5,43E-12	2,1	5,3(2)E+07	3,9E-06
WL9EG1	6,14E-12	2,4	6,8(3)E+07	5,0E-06
BL9EG3	5,21E-12	2,0	4,7(2)E+07	3,4E-06
WL2EG1	1,32E-10	51	2,4(1)E+09	1,8E-04
BL2EG3	1,17E-11	4,5	1,7(1)E+08	1,3E-05
WR1EG1	1,13E-10	43	2,0(1)E+09	1,5E-04
BR1EG4	8,02E-11	31	1,45(6)E+09	1,1E-04

2.3.9.3.3 Diskussion

2.3.9.3.3.1 Allgemeines

Das in der Natur vorliegende $^{36}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ -Verhältnis (*Blank*) liegt bei etwa $2\text{E-}12$. Wie aus Tab. 2.9 ersichtlich, liegen alle gemessenen Werte über diesem Blank-Wert (Faktor 1,2

bis 51). Die höchsten Werte finden sich in Labor 2, in dem der meiste Umgang stattgefunden hat, sowie in Labor 1, in dem Proben längere Zeit aufbewahrt wurden. Aber auch in allen anderen Räumen sind erhöhte $^{36}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ -Verhältnisse vorzufinden.

Dies ist auf Grund folgender Tatsachen nicht besonders verwunderlich:

- Es ist bekannt, dass ein regelmäßiger Umgang mit ^{36}Cl stattgefunden hat.
- Beim offenen Umgang mit ^{36}Cl kann leicht in Spuren gasförmige Salzsäure (HCl) freigesetzt werden. HCl wird wiederum leicht an Oberflächen adsorbiert (insbesondere leichter als z. B. CO_2 im vergleichbaren Fall von ^{14}C).
- Die gemessenen Aktivitätsmengen liegen sämtlich im Bereich weniger μBq . Selbst vergleichbare Konzentrationen auf vielfach größeren Flächen liegen damit immer noch unter der Schwelle eines Kontaminationsmonitors.

Insgesamt ist die beobachtete Verteilung plausibel; dass ^{36}Cl tatsächlich in allen untersuchten Proben nachgewiesen werden konnte, spricht für eine Verbreitung in der Gasphase. Insbesondere in den Räumen 1 und 2 mit den höheren Werten könnte der Ursprung auch auf eine ursprüngliche Kontamination hindeuten, die nicht vollständig beseitigt werden konnte, bzw. nur bis zum Unterschreiten der Empfindlichkeit eines Kontaminationsmonitors.

2.3.9.3.3.2 Radiologische Aspekte

Zur Diskussion radiologischer Aspekte lassen sich die ^{36}Cl -Gehalte der Proben auf zwei Arten umrechnen:

- Im Baustoff ist von vernachlässigbaren Cl-Konzentrationen auszugehen. Die $^{36}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ -Werte lassen sich daher in Aktivitätskonzentrationen umrechnen, wenn sie auf die zugesetzten Mengen inaktiven NaCl-Trägers bezogen (Tab. 2.8) und auf die jeweilige Probenmenge (Tab. 2.8) normiert werden. Dies ergibt die Werte in Spalte 3 von Tab. 2.10
- Zur Bestimmung einer hypothetischen Oberflächenaktivität [Bq/cm^2] wurde jeweils auf die Gesamtaktivität der Bohrproben (ca. 27 g) hochgerechnet und der ausgebohrten Oberfläche (Loch mit 15 mm Durchmesser, Fläche ca. $1,8 \text{ cm}^2$) zugewiesen. Dadurch ergeben sich die Werte in Spalte 4 von Tab. 2.10.

Tab. 2.10 Spezifische Aktivität der ausgebohrten Proben und zugewiesene Flächenaktivität (die Unsicherheit der Werte beträgt etwa 4 %, siehe oben)

Probe	Akt. [Bq]	spez. Akt. [Bq/g]	Flächenaktivität [Bq/cm ²]
WL11EG1	2,3E-05	2,3E-05	3,4E-04
BL11EG3	8,1E-06	8,1E-06	1,2E-04
WL10EG1	8,3E-07	8,3E-07	1,2E-05
BL10EG3	3,9E-06	3,9E-06	5,8E-05
WL9EG1	5,0E-06	5,0E-06	7,6E-05
BL9EG3	3,4E-06	3,4E-06	5,2E-05
WL2EG1	1,8E-04	1,8E-04	2,7E-03
BL2EG3	1,3E-05	1,3E-05	1,9E-04
WR1EG1	1,5E-04	1,5E-04	2,2E-03
BR1EG4	1,1E-04	1,1E-04	1,6E-03

Aus der aktuellen Strahlenschutzverordnung /SSV 18/ können sinnvollerweise folgende Freigabewerte als Vergleichswerte für ³⁶Cl herangezogen werden:

- Die Freigrenze für die uneingeschränkte Freigabe von festen und flüssigen Stoffen beträgt 1 Bq/g (Spalte 3 von Tabelle 1 in Anlage 4)
- Die Freigrenze für die Oberflächenkontamination beträgt 100 Bq/cm² (Spalte 5 von Tabelle 1 in Anlage 4)
- Der Freigabewert für die spezifische Freigabe von Bauschutt bis 1.000 Mg/a Stoffen zur Deponierung oder Verbrennung beträgt 0,3 Bq/g (Spalte 6/10/11 von Tabelle 1 in Anlage 4)
- Der Freigabewert für die Oberflächenkontamination für die spezifische Freigabe von Gebäuden zur Wieder- und Weiterverwendung oder zum Abriss beträgt 30 Bq/cm² (Spalten 12/13 von Tabelle 1 in Anlage 4)

Wie leicht ersichtlich ist, werden trotz der Kontamination alle anwendbaren Freigabewerte mehrere Größenordnungen unterschritten.

2.3.9.3.3.3 Fazit

Im Gegensatz zu den nur vereinzelt erhöhten ^{14}C -Werten sind die gemessenen ^{36}Cl -Werte durchgängig in allen gemessenen Proben erhöht. Der Grund dafür liegt sicherlich teilweise in der Chemie begründet: bei einem offenen Umgang ist zwar für beide Elemente gleichermaßen zu erwarten, dass Spuren leicht in flüchtige Form (z. B. CO_2 , HCl) überführt werden können. Während aber die Kohlenstoffverbindungen vergleichsweise inert sind, kann HCl auf Grund seiner Reaktivität leichter an Oberflächen absorbiert bzw. in Baumaterialien absorbiert werden.

Obwohl alle nachgewiesenen ^{36}Cl -Werte mehrere Größenordnungen unter den relevanten Freigabewerten liegen, verdeutlicht dies, dass sich unter Umständen geringe Mengen flüchtiger Radionuklide relativ weit in einem Gebäude verteilen können.

Als radiometrische Standardmethode für den Nachweis von ^{36}Cl z. B. in einem Freigabeverfahren ist AMS sicherlich auf Grund des hohen Arbeitsaufwandes sicherlich nicht die erste Wahl. Wie die Ergebnisse zeigen, kann aber die Untersuchung von Stichproben mit AMS aber unter Umständen sinnvoll sein, etwa in folgenden Fällen:

- wenn schlecht belegt ist, mit welchen Radionukliden in einer *small facility* umgegangen wurde, kann mit einer relativ kleinen Stichprobe (z. B. eine Probe pro Raum) überprüft werden, ob ein Umgang mit ^{36}Cl stattgefunden hat. Es ist sehr wahrscheinlich, dass in einem solchen Fall mit AMS nachweisbare Spuren gefunden werden,
- wenn bekannt ist, dass in einer *small facility* ein Umgang mit ^{36}Cl stattgefunden hat, aber die genauen Räumlichkeiten nicht dokumentiert wurden, erlauben stichprobenartige Messungen eine schnelle Eingrenzung, in welchen Räumen sehr wahrscheinlich ein Umgang stattgefunden hat,
- oder wenn überprüft werden soll, ob die Berücksichtigung von ^{36}Cl in einem Nuklidvektor für ein Freigabeverfahrens grundsätzlich sinnvoll sein kann.

2.3.9.4 $^{239/240}\text{Pu}$ -Messungen

2.3.9.4.1 Untersuchte Proben

Die Probenentnahme erfolgte wie geplant aus dem Kontrollbereich der *small facility*. Insgesamt wurden 20 Proben entnommen (s. Anhang B), davon wurden 11 Proben auf

$^{239/240}\text{Pu}$ -Gehalte überprüft. Für die Messung von $^{239/240}\text{Pu}$ lag der Fokus auf den Labors 9 und 1 (Aktivvorbereitung), da bekannterweise in den Jahren 2014-2017 in diesen beiden Räumen mit isotonenreinen Plutonium-Referenzmaterialien umgegangen worden war. Die Bohrlöcher waren jeweils etwa 5 cm tief bei einem Durchmesser von 15 mm, was eine Materialmenge von 20-30 g ergab. Jeweils etwa 5 g wurde abgewogen und für AMS-Messungen aufbereitet (siehe Tab. 2.11).

Tab. 2.11 Verwendete Feststoffproben für die ^{239}Pu -Messungen

Probennummer	Wand/Bodenprobe	Entnahmeort	Masse [g]	^{242}Pu spike [μl]
WL11EG2	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 11 EG	5,0032	200
WL9EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 9 EG	4,4806	200
WL9EG2	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 9 EG	5,0019	200
BL9EG3	Boden, mittig	Labor 9 EG	5,0044	200
BL9EG4	Boden, vor Abzug	Labor 9 EG	5,0031	200
WL2EG2	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 2 EG	4,2598	200
WR1EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 1 EG	4,3158	200
WR1EG2	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 1 EG	5,0018	200
WR1EG3	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Labor 1 EG	5,0012	200
BR1EG4	Boden, Anfang	Labor 1 EG	4,9957	200
WSBUG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	Sperrbereich UG	5,0016	200

2.3.9.4.2 Messung und Ergebnis

Die Aufbereitung der ^{239}Pu -Proben für die Messung mittels AMS über einen Anionenaustauscher-Prozess durchgeführt. Dafür wurde der in /HOO 13/ beschriebene Trennungsgang modifiziert:

Vor dem Auslaugen der Proben mit 8-molarer Salpetersäure wurden den Proben 200 μl einer ^{242}Pu -Lösung ($w_{(242\text{Pu})} = 22,13 \text{ pg } ^{242}\text{Pu/g}$) als Spike zugesetzt. Um das vierwertige Pu von anderen Aktiniden wie U und Po abzutrennen, wurde die Mischung auf eine vor-konditionierte Anionenaustauschersäule (AG-50 WX8) geladen. Zuvor wurde ggf. vorhandenes Pu(VI) zu Pu(IV) reduziert. Unter diesen Umständen passiert Uran die Trennsäule, während Pu und ggf. vorhandenen Thorium auf der Säule verbleiben. Pu wurde anschließend auf der Säule durch Ammoniumiodid als Reduktionsmittel zu Pu(III) reduziert und mit konzentrierter Salzsäure eluiert. Das Pu wird durch Mitfällung mit $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ unter Zugabe von AgNO_3 ausgefällt, um eine $\text{PuO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Matrix zu erhalten. Diese wird in ein AMS-Target gepresst und gemessen.

Nur in einer einzigen Probe (WR1EG1) konnte Plutonium nachgewiesen werden, und zwar das Isotop Pu-239 (Tab. 2.12) mit einer Aktivität von ca. 4 mBq bzw. ca. 0,8 mBq/g in der genommenen Probe (zur radiologischen Relevanz s. Diskussion in Abschnitt 2.3.9.4.3).

Tab. 2.12 Messwerte der AMS-Messungen: $^{239/242}\text{Pu}$ -Verhältnis, Umrechnung in spezifische Aktivität A [Bq/g], $^{240/242}\text{Pu}$ -Verhältnis.

Probe	$^{239}\text{Pu} / ^{242}\text{Pu}$	^{239}Pu [at]	A [Bq]	$^{240}\text{Pu} / ^{242}\text{Pu}$
WR1EG1	0,4(1)	4E+9	0,004(1)	< NWG

2.3.9.4.3 Diskussion

2.3.9.4.3.1 Allgemeines

Nur in einer der Proben konnte Plutonium nachgewiesen werden, und zwar das Isotop ^{239}Pu . Die nachgewiesene Menge von 4 mBq bzw. 0,8 mBq/g liegt allerdings in der gleichen Größenordnung wie die Bodenkontamination durch die oberirdischen Kernwaffentests der 1960er Jahre auf der nördlichen Hemisphäre (vgl. /SRN 08/). Da in den ande-

ren Proben sämtlich kein Plutonium nachgewiesen werden konnte, ist trotzdem plausibel, dass das nachgewiesene Plutonium aus dem Umgang mit radioaktiven Stoffen stammt, zumal die untersuchte Probe aus dem Aktivlager stammt, in dem die oben genannten Pu-Referenzmaterialien gehandhabt und aufbewahrt worden waren. Eine eindeutige Zuordnung ist jedoch nicht möglich: Sollte es sich bei dem nachgewiesenen Plutonium um Fallout-Plutonium handeln, dann wäre auch das Vorhandensein des Isotops ^{240}Pu im Verhältnis von etwa 1:5 zu erwarten, was unter den vorliegenden Bedingungen etwa der Nachweisgrenze entspricht.

2.3.9.4.3.2 Radiologische Aspekte

Zur Diskussion radiologischer Aspekte lässt sich der ^{239}Pu -Gehalt der Probe WR1EG1 auf zwei Arten umrechnen:

- Die ^{239}Pu -Wert kann in eine Aktivitätskonzentration umgerechnet werden, indem er auf die Probenmenge normiert wird. Damit ergäbe sich ein Wert von ca. 0,8 mBq/g (s. o.).
- Zur Bestimmung einer hypothetischen Oberflächenaktivität [Bq/cm²] wurde jeweils auf die Gesamtaktivität der Bohrproben (ca. 27 g) hochgerechnet und der ausgebohrten Oberfläche (Loch mit 15 mm Durchmesser, Fläche ca. 1,8 cm²) zugewiesen. Dadurch ergäbe sich eine Flächenaktivität von 22 mBq/cm²

Aus der aktuellen Strahlenschutzverordnung /SSV 18/ können sinnvollerweise folgende Freigabewerte als Vergleichswerte für ^{239}Pu herangezogen werden:

- Die Freigrenze für die uneingeschränkte Freigabe von festen und flüssigen Stoffen beträgt 100 mBq/g (Spalte 3 von Tabelle 1 in Anlage 4)
- Die Freigrenze für die Oberflächenkontamination beträgt 100 mBq/cm² (Spalte 5 von Tabelle 1 in Anlage 4)
- Der verschiedenen Freigabewerte für die spezifische Freigabe von Bauschutt bis 1.000 Mg/a Stoffen zur Deponierung oder Verbrennung liegen zwischen 80 mBq/g und 1 Bq/g (Spalte 6/10/11 von Tabelle 1 in Anlage 4)
- Der Freigabewert für die Oberflächenkontamination für die spezifische Freigabe von Gebäuden zur Wieder- und Weiterverwendung oder zum Abriss beträgt 100 mBq/cm² bzw. 2 Bq/cm² (Spalten 12/13 von Tabelle 1 in Anlage 4)

Alle anwendbaren Freigabewerte werden also für die gemessene Probe unterschritten. Die Unterschreitung ist teilweise nicht so deutlich wie bei ^{36}Cl , allerdings ist festzuhalten, dass die in Probe WR1EG1 bestimmte ^{239}Pu -Konzentration im gleichen Bereich liegt wie übliche Bodenkontaminationen durch Fallout.

2.3.9.4.3.3 Fazit

Es wurde nur in einer der untersuchten Proben ^{239}Pu nachgewiesen; die Herkunft lässt sich nicht eindeutig zuordnen. Vom absoluten Gehalt her könnte es sich auch um Fallout-Plutonium in Baumaterialien handeln; für eine Kontamination spricht hingegen, dass der Nachweis nur in einer der Proben erfolgte. Beim Vorhandensein im Baumaterial wäre der Nachweis in mehreren Proben zu erwarten gewesen.

Da Plutonium im Gegensatz zu Kohlenstoff und Chlor in der Regel nicht in flüchtigen Verbindungen vorliegt, wäre aber auch zu erwarten, dass Kontaminationen durch radiochemisches Arbeiten eher lokal und nicht großflächig sind.

$^{239/240}\text{Pu}$ sind unter den hier untersuchten AMS-Nukliden diejenigen, die sich am leichtesten radiometrisch nachweisen lassen würden, da die Nachweisgrenzen für die Alpha-Spektrometrie sehr niedrig liegen. Der Vorteil von AMS bei der Untersuchung von Pu-Kontaminationen liegt darin, dass (im Gegensatz zur Alpha-Spektrometrie) zwischen den Isotopen unterschieden werden kann. Es lässt sich also der Nachweis führen, ob eventuelle Kontaminationen als Fallout (mit einem typischen $^{239/240}\text{Pu}$ -Verhältnis von ca. 5:1) zu erklären sind oder ob sie eine abweichende Isotopie besitzen.

2.3.9.5 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob sich durch Messungen mit AMS an Proben aus einer *small facility* für die Stilllegung relevante Informationen ermitteln lassen. Dazu wurden die Proben auf ^{14}C , ^{36}Cl und $^{239/240}\text{Pu}$ untersucht, da bekanntermaßen mit diesen Radionukliden ein offener Umgang stattgefunden hatte.

Erhöhte ^{14}C -Werte wurden in drei Proben, erhöhte ^{36}Cl -Werte in allen untersuchten Proben und ^{239}Pu nur in einer einzigen Probe nachgewiesen. Alle gefundenen Werte liegen deutlich unter den relevanten Freigabewerten. Obgleich es Indizien gibt, dass die gefundenen ^{14}C - und ^{239}Pu -Konzentrationen aus dem offenen Umgang stammen, liegen sie dennoch in den niedrigen Bereichen, die auch in Umweltproben zu finden sind.

Die gefundenen ^{36}Cl -Konzentrationen sind durchgehend über dem natürlichen Untergrund, teilweise erheblich. Wenngleich auch unterhalb der Freigabewerte, liegt hier eine deutliche Signatur dafür vor, dass ein offener Umgang mit ^{36}Cl stattgefunden hat und es ist wahrscheinlich, dass die höchsten Konzentrationen dort gefunden wurden, wo der meiste Umgang stattfand.

Speziell der Umgang mit ^{36}Cl in einer *small facility* kann also in der Praxis durch AMS-Messungen an Stichproben leicht überprüft und durch mehrere Messungen räumlich eingegrenzt werden. Ähnliches wäre auch für ^{14}C zu erwarten: da Kohlenstoff ebenfalls flüchtige Verbindungen bilden kann, die an Wänden adsorbiert werden können, würden Kontaminationen durch offenen Umgang ggf. großflächig sein. Beim Plutonium hingegen würden aufgrund der geringeren Flüchtigkeit eher nur lokale Kontaminationen resultieren. Wenn für eine unzureichend dokumentierte *small facility* ein Umgang mit Plutonium vermutet wird, wäre daher in der Praxis wahrscheinlich sowieso die Entnahme einer größeren Stichprobenzahl für alpha-spektrometrische Messungen erforderlich. AMS-Untersuchungen könnten dann zwar ggf. nachgelagert die Isotopie ermitteln; dies dürfte aber nur in sehr speziellen Fällen relevant sein.

Insgesamt können damit AMS-Messungen an Stichproben bei der Stilllegung von *small facilities* sinnvoll sein, etwa um zu entscheiden, ob die Radionuklide in einem Nuklidvektor für ein Freigabeverfahren generell oder in bestimmten Raumbereichen eingeschlossen werden sollten oder nicht. Unter den hier untersuchten Radionukliden ist dies am ehesten für ^{36}Cl der Fall, aber prinzipiell kämen bei entsprechendem Umgang auch Nuklide wie beispielsweise ^{90}Sr oder ^{99}Tc in Frage, die ebenfalls flüchtige Verbindungen eingehen, die auch nach der Betriebszeit einer *small facility* noch eine Signatur hinterlassen können.

2.4 AP 4: Einfluss von Rückbaustrategie, -verfahren und Messtechnik beim Rückbau von KKW auf die Freigabe

In diesem Arbeitspaket werden die in AP 3 ermittelten Daten der betrachteten KKW bzw. des Forschungsstandortes Rossendorf gegenübergestellt und ausgewählte Aspekte miteinander verglichen. Berücksichtigt werden Faktoren wie die Abbauplanung, Dekontaminationstechnologien, Messtechnik, angewendete Vorgehensweisen zur Ermittlung des Nuklidvektors einer Nuklearanlage im Rückbau.

In einem ersten Schritt wurden die Jahresberichte des KGR ausgewertet (von 2010 bis 2019), um sog. Masse-Zeit-Diagramme zu erstellen (siehe Abschnitt 2.4.1). Dies hatte zum Ziel, den Massenstrom der Freigabe „sichtbarer“ zu machen und etwaige Einflüsse auf den Massenstrom identifizieren zu können. Abschnitt 2.4.2 geht kurz auf die Herausforderungen bzgl. KKS/KWW ein. Abschnitt 2.4.3 behandelt die Untersuchung des Materialflusses radioaktiver Reststoffe auf Basis einer Literaturrecherche. Abschnitt 2.4.4 thematisiert die Einflussfaktoren auf den Massenstrom der Freigabe bei der Stilllegung des FSR. In Abschnitt 2.4.5 werden ausgewählte Beispiele zur Lösung unerwarteter Probleme bei der Stilllegung des FSR präsentiert. In Abschnitt 2.4.6 werden ausgewählte Aspekte der Stilllegung des FSR mit Leistungsreaktoren verglichen. Abschnitt 2.4.7 fasst die Einflüsse auf den Massenstrom der Freigabe bei den hier untersuchten Anlagen zusammen.

2.4.1 KGR

Im Folgenden werden die ausgewerteten Masse-Zeit-Diagramme (für Beton Abb. 2.50, Metallschrott Abb. 2.51, Verbrennung Abb. 2.52, und Deponierung Abb. 2.53) dargestellt. Der Verlauf des Beton-Massenstroms in Abb. 2.50 wurde von TÜV NORD näher untersucht und die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Abschnitt 2.4.1.1 erläutert.

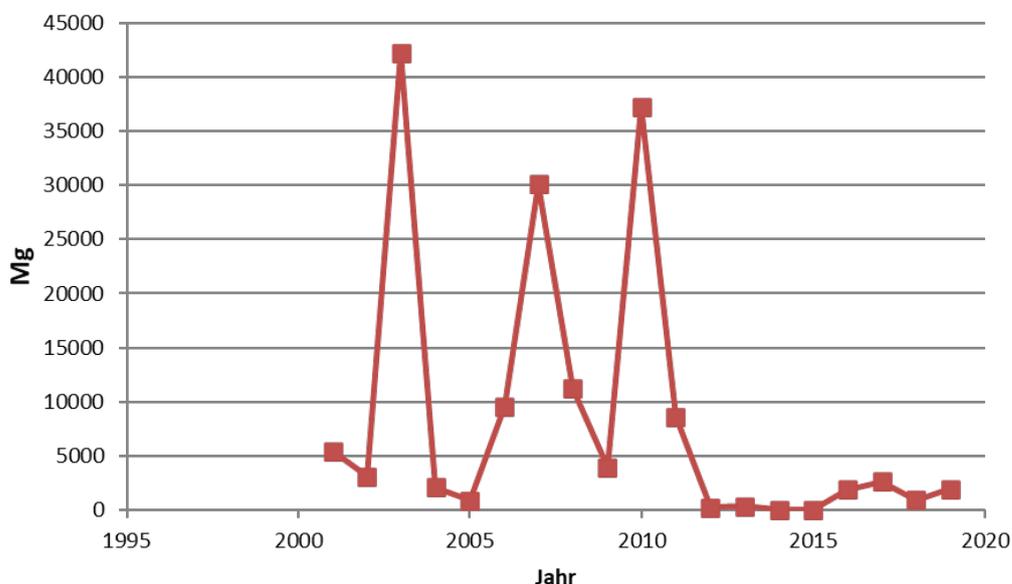


Abb. 2.50 Entsorgungspfad A: Massenströme Beton (KGR)

Abb. 2.51 zeigt das Masse-Zeit-Diagramm für Metallschrott. In der Besprechung mit EWN GmbH am 24.09.2020 wurde von Seiten des Betreibers festgestellt, dass es keinen

besonderen Grund für die Spitzen bei den Massenströmen des Metallschrotts gibt. Es seien jedenfalls immer „Schübe“. Recyclinganlagen standen immer zur Verfügung, limitierender Faktor für die Entsorgung ist eher die Kapazität des Schrotthändlers (mehrere stehen zur Verfügung; es wird eine Ausschreibung gemacht, um dann einen Händler zu beauftragen). Die Schrotthändler transportieren das Material dann zur Schmelzanlage (es wird nicht direkt von EWN GmbH zur Schmelzanlage verbracht).

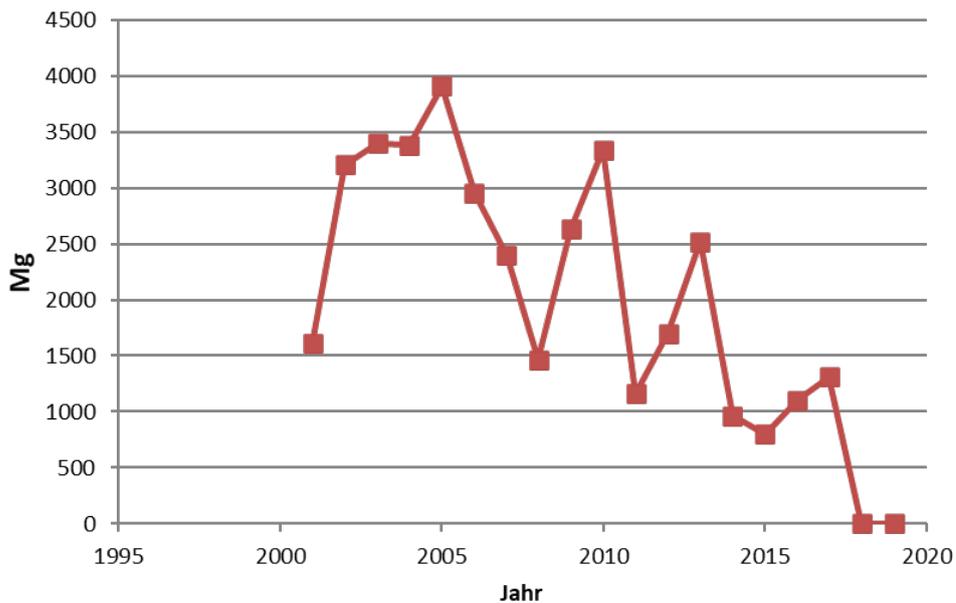


Abb. 2.51 Entsorgungspfad A: Massenströme Metallschrott (KGR). Metallschrott stellt neben Beton eine weitere relevante Masse dar, die jährlich uneingeschränkt freigegeben wird

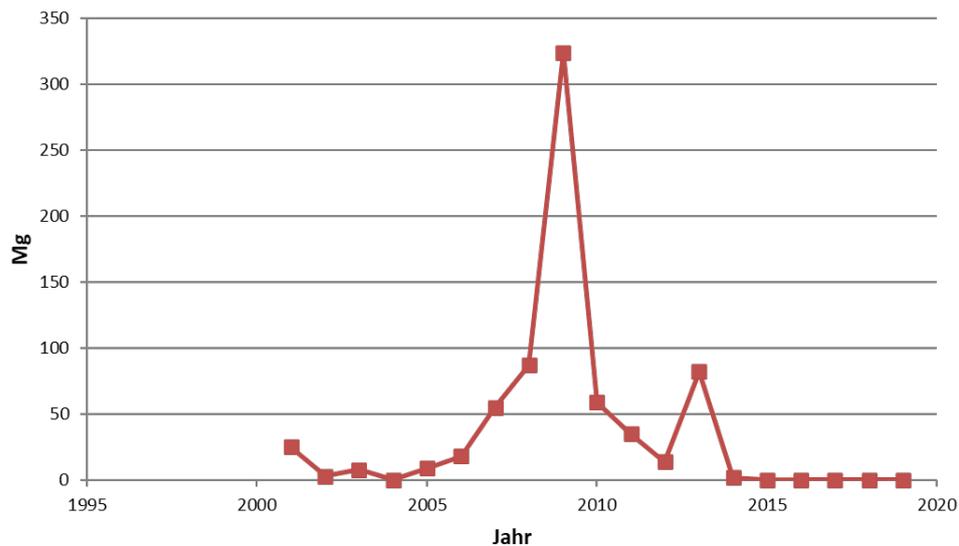


Abb. 2.52 Entsorgungspfad B: Verbrennung (KGR)

Abb. 2.52 zeigt das Masse-Zeit-Diagramm für Material zur Verbrennung. Die wenigen „Spitzen“ erklären sich dadurch, dass erst eine gewisse Menge an Material gesammelt wird, bevor es zur Beseitigungsanlage gegeben wird (die konkrete Anlage wurde nicht genannt). Auch heute wird noch Material zur Verbrennung gegeben, allerdings nur kleine Tonnagen, z. B. Arbeitsschutzkleidung, Öle, Fette, Holz. Massenmäßig spielt dieser Entsorgungspfad offensichtlich nur eine geringe Rolle.

Abb. 2.53 zeigt das Masse-Zeit-Diagramm für Material zur Deponierung. Auf den Massenanstieg wurde bei der Besprechung am 24.09.2020 nur wenig eingegangen. Für das Jahr 2001 wurde allerdings festgestellt, dass es sich um Erde/Aushub aus Sanierungsmaßnahmen handelt.

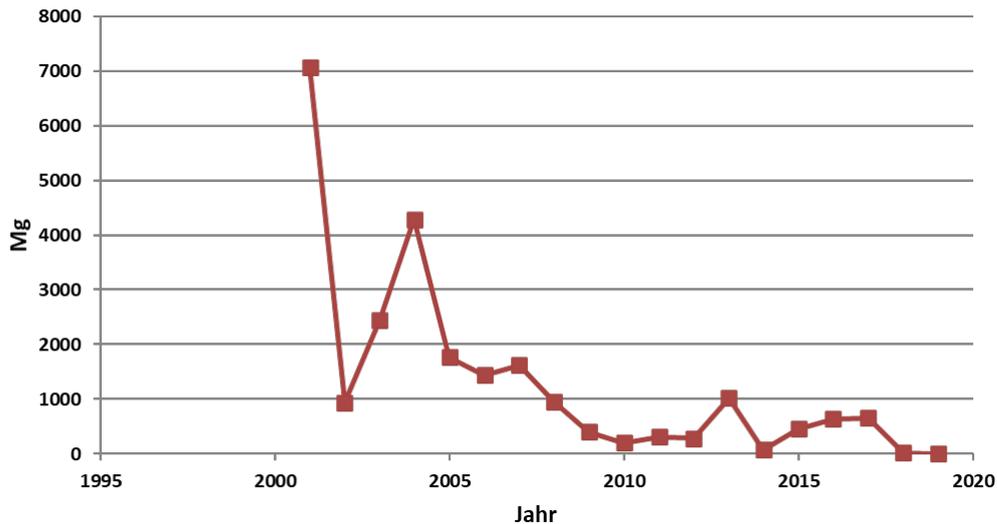


Abb. 2.53 Entsorgungspfad B: Deponierung (KGR)

Bezüglich der oben gezeigten Diagramme wurde bei der Besprechung am 24.09.2020 mit EWN GmbH folgendes festgestellt: Starke „Spitzen“ der freigegebenen Massen auf dem Maßstab von mehreren tausend Mg, die in der Vergangenheit für einzelne Jahre aus den ausgewerteten Betriebsberichten des KGR ersichtlich sind, werden von der EWN GmbH auf einen abbaubedingt erhöhten Anfall von zu entsorgenden Stoffen im betreffenden Zeitraum zurückgeführt. Es handelt sich beispielsweise um Beton und Erdreich/Aushub aus großen Sanierungsmaßnahmen im Gelände, die nach ihrem Anfall zeitnah freigegeben und entsorgt wurden. Es fand bislang keine Akkumulation vieler kleiner Mengen freizugebender Stoffe aufgrund von vorlaufenden Verzögerungen statt, die zu einer derartigen Konzentration von Freigaben in späteren Einzeljahren geführt hat.

Aufgrund nicht eingehaltener Verfahrensregelungen zur Freigabe (vorrangig die Dokumentation und den Abtransport freizugebender Stoffe betreffend) sind die Freigabe und der Abtransport ab 2018 zum Erliegen gekommen. Nach Klärung und Fehlerbehebung kann sich hierdurch zukünftig ein Anstieg im freigegebenen Massenstrom ergeben, der nicht dem zeitlichen Anfall der Abbaumassen folgt.

2.4.1.1 Massenströme im KGR bei der Freigabe von Beton

Der Textbeitrag in diesem Abschnitt wurde von TÜV NORD erstellt.

Einleitung

Auf Basis der vorliegenden Daten in den Jahresberichten des KGR wurden von der GRS im Vortrag „Einfluss von Rückbaustrategie, -verfahren und Messtechnik beim Rückbau von Kernkraftwerken auf die Freigabe; Auswertung der Jahresberichte KGR“ vom 24.09.2020 (Abb. 2.50) die jährlich entsorgten Massenströme von Beton vorgestellt, die im KGR zwischen den Jahren 2001 und 2019 angefallen sind. Im KGR wurden in den Jahren 2003, 2007 und 2010 sehr hohe Massenströme festgestellt. In diesem Abschnitt wird die Zuordnung der Betonmassen zu einzelnen Abbauprojekten dargestellt und diese im Hinblick auf freigabespezifische Aspekte untersucht.

Ergebnisse

Die Maxima bei den entsorgten Betonmassen des KGR in den Jahren 2003, 2007 und 2010 stammen jeweils zu mindestens 95 % aus den vier Kampagnen:

1. F 109 Abbau der Neutralisationsanlage (ZSA),
2. F 139 Abbruch der Tos- bzw. Kraftschlussbecken),
3. F 204 Abbruch des geschlossenen Auslaufkanals (ALK) und
4. F 323 Abbau des Zwischenlagers für abgebrannte Brennstoffe (ZAB)

Eine Übersicht der im jeweiligen Jahr entsorgten Betonmassen und deren Zuordnung zu den entsprechenden Kampagnen sowie der Anteil am gesamten jährlichen Betonmassenstrom ist in Tab. 2.13 zusammengefasst. Im Folgenden werden die einzelnen Kampagnen näher erläutert. Ein Überblick über die Kampagnenzeiträume, Nuklidvektoren sowie die entsorgten Massen ist in Tab. 2.14 dargestellt.

Tab. 2.13 Zuordnung der Kampagnen und Betonmassen zu den Entsorgungsjahren mit hohem jährlichen Massenstrom

Jahr	Kampagne	Massen [Mg]	Anteil am jährlichen Massenstrom
2003	F 204	34.360	81 %
	F109	6.981	17 %
2007	F204	22.210	73 %
	F 139	6.700	22 %
2010	F 323	36.688	98 %
	F 139	566	2 %

Tab. 2.14 Für die hohen Betonmassenströme verantwortliche Kampagnen mit den Randbedingungen bezüglich Kampagnenzeitraum, Radiologie und Masse gemäß Chargenblätter der EWN GmbH¹²

Kampagne	Kampagnenzeitraum ²⁾	Nuklidvektor	Zusammensetzung des Nuklidvektors gemäß Chargenblatt	Gesamtmasse in Mg	Zeitliche Gliederung		
					Charge	Entsorgungszeitraum /2/	Teilmasse in Mg
F 109	05/2000-06/2005	NV für KB Blöcke 1-4	22,1% Co-60 4,5% Cs-137 49,2% Fe-55 24,2% Ni-63	6981	F109.03.001	2003	6981
F 139	01/2003-02/2012	NV für Maschinenhaus Blöcke 1-5	18,9% / 12,9% Co-60 ³⁾ 4,5% / 5,9% Cs-137 ³⁾ 26,3% / 8,5% Fe-55 ³⁾ 50,3% / 72,7% Ni-63 ³⁾	8710 566	F139.01.001	2008	2010
					F139.01.002	2010 ⁵⁾	566
F 204	12/2002-04/2008	NV für KB Blöcke 1-4	22,8% Co-60 5,7% Cs-137 39,5% Fe-55 32,0% Ni-63	63980	F204.01.001	2003	34360
						2006	7500
						2007	22120
F 323	03/2009-?	NV für ZAB	30,8% / 28,2% Co-60 ⁴⁾ 11,5% / 13,1% Cs-137 ⁴⁾ 19,2% / 13,7% Fe-55 ⁴⁾ 38,5% / 45,0% Ni-63 ⁴⁾	45417	F323.01.001	2010/2011 ⁶⁾	18651 ⁷⁾
					F323.01.002	2010/2011 ⁶⁾	26749 ⁷⁾
					F323.01.003	ab 2012	4,3 ⁷⁾
					F323.01.004	ab 2012	8 ⁷⁾
					F323.01.005	ab 2012	4 ⁷⁾
					F323.01.006	ab 2012	0,5 ⁷⁾

228

¹² ²⁾ der Kampagnenzeitraum reicht von der behördlichen Zustimmung zur Anmeldung der Kampagne bis zur behördlichen Zustimmung zu deren Abmeldung; ³⁾ Erster Wert für Charge .001, zweiter Wert für Charge .002; ⁴⁾ Erster Wert für Chargen .001 - .002, zweiter Wert für Chargen .003 - .006; ⁵⁾ es handelt sich um eine Bodenplatte, die im Boden verbleibt; ⁶⁾ Die Summe der Betonmassen der Chargen F323.01.001 und F323.01.002 wurde überwiegend im Jahr 2010 und anteilig 2011 entsorgt; ⁷⁾ Die Massen wurden aus den Chargenanmeldungen extrapoliert, da noch keine exakten Massen vorliegen

F 109: Abbau der Neutralisationsanlage (ZSA)

In der Kampagne F 109 wurde die Neutralisationsanlage abgebaut und der anfallende Beton dem Freigabepfad B3 (Gebäude zum Abriss) zugeführt /EWN 00/. Der Kampagnenzeitraum reichte von 5/2000 bis 06/2005. Mit 6.981 Mg war die in diesem Abbauprojekt freigegebene Betonmasse vergleichsweise gering. Die Entscheidungsmessungen wurden im Zeitraum 08 - 11/2001 mittels Kontaminationsmonitor und Gammaskopie an Materialproben durchgeführt /EWN 99/, /EWN /. Es kam der „Nuklidvektor für den Kontrollbereich der Blöcke 1 - 4“ zur Anwendung /EWN /.

Die Entsorgung fand in einer Teilcharge statt, wobei das letzte Gebinde in 01/2003 beim Entsorger abgeliefert wurde /EWN /.

Zusammenfassend wurde zeitnah innerhalb von 14 Monaten nach den Entscheidungsmessungen die Entsorgung abgeschlossen.

F 139: Abbruch der Tos- bzw. Kraftschlussbecken

Die Freigabe der Tos- und Kraftschlussbecken erfolgte mit der Kampagne F 139 /EWN 02a/. Der Kampagnenzeitraum reichte von 01/2003 bis 04/2012. Der angefallene Beton wurde in zwei Teilchargen freigegeben. Die erste Teilcharge umfasste 8.710 Mg und wurde dem Freigabepfad B3 (Gebäude zum Abriss) zugeordnet /EWN 09b/. Der Großteil dieser Masse (6.700 Mg, ca. 77 % der Masse der 1. Teilcharge) wurde im Jahr 2007 entsorgt /EWN 20/, der Entsorgungszeitraum der restlichen 2.010 Mg kann auf Basis der uns vorliegenden Unterlagen nicht eindeutig bestimmt werden. Die zweite Teilcharge beinhaltete die Bodenplatten (566 Mg), welche dem Freigabepfad 5A (uneingeschränkte Freigabe von Gebäuden zur Wieder- und Weiterverwertung) zugeführt wurden und im Boden verblieben /EWN 09c/. Die Freigabe der Bodenplatten erfolgte im Jahr 2010 /EWN 10/. Die Gesamtmasse der Kampagne F 139 ist somit mit insgesamt 9.276 Mg vergleichsweise gering. Die Entscheidungsmessung erfolgte mit In-situ-Gammaskopie und Gammaskopie an Materialproben im Zeitraum 11/2003 /EWN 02b/. Es kam der „Nuklidvektor für das Maschinenhaus der Blöcke 1 - 5“ zur Anwendung /EWN 04/.

Zusammenfassend wurde der überwiegende Teil des zum Abriss freigegebenen Betons ca. 4 Jahre nach der Entscheidungsmessung entsorgt.

F 204: Abbruch des geschlossenen Auslaufkanals (ALK)

In der Kampagne F 204 wurden die geschlossenen Auslaufkanäle für die Ableitung von radioaktiven Abwässern abgebrochen und dem Freigabepfad B3 (Gebäude zum Abriss) zugeführt /EWN 02c/. Der Kampagnenzeitraum reichte von 12/2002 bis 04/2008. Insgesamt wurden 63.980 Mg Reststoffe in einer Teilcharge freigegeben /EWN 08a/, sodass dieses Abbauprojekt die größten Betonmengen der vier Kampagnen verursacht. Die Entscheidungsmessung erfolgte mit In-situ-Gammaspektrometrie und Gammaspektrometrie an Materialproben im Zeitraum 10/2002 /EWN GmbH 2002/. Es kam der „Nuklidvektor für den Kontrollbereich der Blöcke 1 - 4“ zur Anwendung /EWN 02d/.

Die Gesamtmasse der Reststoffe wurde zwischen 2003 und 2007 entsorgt, wobei etwa die Hälfte (34.360 Mg, ca. 54 %) des Betons dieser Kampagne im Jahr 2003 und etwa ein Drittel (22.120 Mg, ca. 35 %) im Jahr 2007 entsorgt wurde /EWN 20/. Als Entsorgungszeitpunkt der verbleibenden etwa 7500 Mg (ca. 11 %) der Betonmasse kann nur das Jahr 2006 infrage kommen, da gemäß /EWN 08a/ das letzte Gebinde im Jahr 2007 entsorgt wurde und seit Abschluss der Entscheidungsmessung nur im Jahr 2006 ein entsprechend hoher Betonmassenstrom zur Entsorgung stattgefunden hat (siehe Abb. 2.50).

Zusammenfassend wurde zeitnah nach der Entscheidungsmessung mit der Entsorgung begonnen. Diese wurde diskontinuierlich durchgeführt, da in den Jahren 2004 bis 2006 nur relativ wenig Beton aus der Kampagne F 204 entsorgt wurde.

F 323: Abbau des Zwischenlagers für abgebrannte Brennstoffe (ZAB)

Aus dem Abbau des Zwischenlagers für abgebrannte Brennstoffe (ZAB) stammende radioaktive Reststoffe wurden in der Kampagne F 323 freigegeben /EWN 08b/, /EWN 09d/. Die Abmeldung der Kampagne ist bis zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts noch nicht erfolgt. Die Freigabe des angefallenen Betons wurde in sechs Teilchargen (F 323.01.001 bis F 323.01.006) beantragt /EWN 09e/, /EWN 09f/, / CZF/. Da noch kein Zwischen- oder Endbericht eingereicht wurde, liegen uns keine exakten Betonmassen vor, sodass alle angegebenen Massen dieser Kampagne aus den Chargenanmeldungen extrapoliert sind.

Die ersten beiden Teilchargen 001 und 002 umfassen mit einer Betonmasse von insgesamt 45.400 Mg den Großteil der in der Kampagne F 323 bisher angemeldeten Reststoffmassen (45.417 Mg). Die Freigabe erfolgte über den Freigabepfad 3B (Gebäude zum Abriss) /EWN 09e/, /EWN 09f/. Die Entscheidungsmessungen fanden in dem Zeitraum 03 - 07/2009 mittels Kontaminationsmonitor und Gammaskopie an Materialproben statt /EWN 09e/, /EWN 09f/. Laut EWN sind 36.688 Mg (81 % der bisherigen Gesamtmasse) Beton aus dieser Kampagne im Jahr 2010 entsorgt worden /EWN 20/. Es kam der „Nuklidvektor für das Zwischenlager für abgebrannten Brennstoff“ zur Anwendung /EWN 09d/.

Die Teilchargen 003 bis 006 umfassen mit ca. 17 Mg relativ wenig Betonmasse. Für sie ist der Freigabepfad 1B (Freigabe von festen Stoffen) zur Deponierung vorgesehen. Die Entscheidungsmessungen fanden im Zeitraum 09/2010 - 01/2011 mit einer Freimessanlage statt / CZF/. Es kam ebenfalls der „Nuklidvektor für das Zwischenlager für abgebrannten Brennstoff“ zur Anwendung / CZF/.

Zusammenfassend wurde der größte Teil des Betons aus der Kampagne F 323 im Jahr 2010 in den Teilchargen 001 und 002 zeitnah nach der Entscheidungsmessung entsorgt. Der Entsorgungszeitpunkt der Teilchargen 003 bis 006 geht nicht eindeutig aus der bisherigen Kampagnendokumentation hervor.

Schlussfolgerungen

Die hohen Anteile bei der Entsorgung von freigegebenem Beton in den Jahren 2003, 2007 und 2010 stammen überwiegend aus 4 Abbauprojekten:

- Geschlossener Auslaufkanal (F 204)
- Neutralisationsanlage der ZSA (F 109)
- Tos- und Kraftschlussbecken (F 139)
- Abbau des Zwischenlagers für abgebrannten Brennstoff (F 323)

Die Massen aus der Neutralisationsanlage und den Tos- und Kraftschlussbecken sind mit jeweils < 10.000 Mg wesentlich geringer als die Massen der übrigen beiden Abbauprojekte (> 40.000 Mg). Daher sind die beiden Einzelprojekte „Abbau des geschlossenen Auslaufkanals“ (F 204) und „Abbau des ZAB“ (F 323) ausschlaggebend für die so stark ausgeprägten Peaks bei den Abbaumassen. Die Entsorgung der großen Betonmassen

erfolgte nicht kontinuierlich über mehrere Jahre, sondern es wurde eine große Menge innerhalb eines Jahres entsorgt.

In allen Kampagnen bis auf Kampagne F 139 wurde zeitnah nach der Entscheidungsmessung mit der Entsorgung der Reststoffe begonnen. Allerdings liegen bei der Kampagne F 204 ca. drei Jahre zwischen zwei großen Massenströmen zur Entsorgung des Betons. Da es sich hierbei um eine sehr massereiche Kampagne handelt, ist ein zwei- oder mehrphasiger Verlauf des Abbauprojektes denkbar.

Die Entscheidungsmessungen fanden vollflächig mit Kontaminationsmonitoren oder In-situ-Gammaspektrometrie statt. Anhand der beiden massereichen Kampagnen kann keine bevorzugte Messmethode zur Handhabung solch großer Abbauprojekte festgestellt werden. Bei geringen Mengen anfallenden Betonbruchs (Kampagne F 323, Teilchargen 003 bis 006) wurde eine Freimessanlage genutzt. Die gammaspektrometrische Auswertung von Materialproben wurde in allen Kampagnen begleitend zu den vollflächigen Messungen durchgeführt.

Ein Einfluss des bei der Freimessung angewendeten Nuklidvektors auf die Massenströme von freigegebenem Beton kann nicht festgestellt werden.

2.4.2 KKS/KWW

Bezüglich der Steuerungsgrößen auf den Massenstrom der freizugebenden Massen wurde am 02.07.2021 ein mehrstündiges Interview mit einem Mitarbeiter der PreussenElektra GmbH geführt. Die daraus entstandene, umfangreiche Mitschrift von GRS konnte aus Kapazitätsgründen jedoch leider nicht vom besagten Mitarbeiter geprüft werden und daher kann die Mitschrift hier nicht veröffentlicht werden. Stattdessen wurden von Seiten des Mitarbeiters von PEL per Mail einige Punkte genannt, die den Massenstrom der freizugebenden Massen bei KKS und KWW beeinflussen. Diese Punkte werden in Abschnitt 2.4.7 genannt.

Masse-Zeit-Diagramme (wie bspw. in Kapitel 2.4.1 und 2.4.3) wurden nicht erstellt, da dies nach Aussagen eines Mitarbeiters von PEL nicht zielführend ist. KKS und KWW werden aufgrund der deutlich unterschiedlichen Rückbaustrategien, Anlagensituation und auch dem Einfluss aus den Freigabeverfahren und Entsorgungssituation sehr unterschiedliche Darstellungen liefern. Die Abweichungen und Verläufe schlüssig zu erklären, wird als sehr aufwendig und schwierig eingeschätzt, da die Umfeldbedingungen in

der Vergangenheit zu volatil und durch Einzel-Effekte geprägt sind, als dass man daraus etwas Sinnvolles im Sinne einer Systematik ableiten könnte.

2.4.3 KMK

Zur Analyse verschiedener Einflüsse beim Rückbau auf die Masseströme der Freigabe wurde für das Kernkraftwerk Mühlheim-Kärlich (KMK) die ausführliche Dokumentation über den Materialfluss radioaktiver Reststoffe in den jährlichen Betriebsberichten genutzt. Es wurde hier also der Versuch unternommen, nur mit Hilfe von verfügbaren Literaturquellen die in AP 4 gestellten Aufgaben zu bearbeiten.

Beim Rückbau der Anlage KMK anfallende radioaktive Reststoffe werden verschiedenen Entsorgungsklassen und -zielen zugeordnet (siehe Tab. 2.15).

Tab. 2.15 Festgelegte Entsorgungsziele und Klassen für die in der Anlage KMK anfallenden Reststoffe /KMK 13a/

Klasse	Verbleib	Beispiele
A	Uneingeschränkte Freigabe von radioaktiven Reststoffen zur Weiterverwendung, Verwertung oder Entsorgung als gewöhnlicher Abfall	<ul style="list-style-type: none"> Anlagenteile, Gegenstände oder Geräte, die außerhalb der Kerntechnik wiederverwendet werden können, metallische Schrotte, die z. B. durch Schrotthändler verwertet werden Bauschutt (z. B. Beton), der im Bauwesen verwertet werden kann Verschiedene Stoffe (Glas, Kunststoffe, Glaswolle usw.), die als gewöhnlicher Abfall beseitigt werden können Flüssige Stoffe, wie z. B. Öle
B1	Freigabe fester Stoffe zur Beseitigung auf einer Deponie unter Berücksichtigung des entsprechenden Einzelfallnachweises zur Vernachlässigung der Oberflächenkontamination B1a: Masse bis zu 100 Mg/a B1c: Masse bis zu 1.000 Mg/a	<ul style="list-style-type: none"> Nichtverwertbare Abfälle, die unter Beachtung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes auf einer konventionellen Deponie beseitigt werden, wobei eine stoffliche Verwertung oder Wiederverwendung ausgeschlossen sein muss Feste Stoffe, die in einer Verbrennungsanlage beseitigt werden Flüssige Stoffe, die in einer Verbrennungsanlage beseitigt werden

Klasse	Verbleib	Beispiele
B3	<p>Freigabe fester Stoffe zur Beseitigung in einer Verbrennungsanlage unter Berücksichtigung des entsprechenden Einzelfallnachweises zur Vernachlässigung der Oberflächenkontamination und Flüssigkeiten</p> <p>B3b: Masse bis zu 100 Mg/a</p> <p>B3d: Masse bis zu 1.000 Mg/a</p>	
C1	Freigabe von Metallschrott zur Rezyklierung	Metallschrott (z. B. Stahl, Kupfer, Aluminium usw.), der eingeschmolzen werden muss und anschließend rezykliert wird.
C2	Abgabe von Metallschrott zur kontrollierten Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> • Metallschrott, der eine Restaktivität aufweist und einer radiologisch kontrollierten Verwertung zugeführt werden kann • Metallschrott, der eingeschmolzen werden kann und nach Abklingen einer verbleibenden Restaktivität wieder verwertet werden kann
D	Abgabe zur Wiederverwendung in anderen kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Anlagenteile, Gegenstände oder Geräte, die in anderen kerntechnischen Anlagen oder nach StrISchV genehmigten Einrichtungen wiederverwendet werden
E	Abklinglagerung (um A, B oder C1 zu erreichen)	Radioaktive Reststoffe, die auf Grund einer geringfügigen Überschreitung der Freigabewerte nicht in die Klassen A, B oder C1 eingeordnet werden können, bei denen jedoch die Unterschreitung der Freigabewerte innerhalb einer Lagerzeit durch radioaktiven Zerfall eintreten wird und eine Lagerung technisch und wirtschaftlich günstiger ist als eine Dekontamination oder Einordnung als radioaktiver Abfall

Klasse	Verbleib	Beispiele
F	Entsorgung als radioaktiver Abfall	Sämtliche Reststoffe, deren Einordnung in die Entsorgungsklassen A-E aus technischen und/oder wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll oder möglich ist und die daher als radioaktive Abfälle behandelt werden müssen

Eine Freigabe der Reststoffe ist in den Entsorgungsklassen A (uneingeschränkte Freigabe), B1 (Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie), B3 (Freigabe zur Beseitigung in einer Verbrennungsanlage), C1 (Freigabe von Metallschrott zur Rezyklierung) vorgesehen. Für diese Entsorgungsklasse sind in den Jahresberichten die jeweils im Berichtszeitraum freigegebenen Massen aus dem Kontrollbereich aufgeschlüsselt nach Materialart (z. B. Beton, Metalle, Flüssigkeiten, Kunststoffe, Kabel, Isolierung), Nuklidvektor und Freigabeablaufplan (FAP) angegeben.

Freigabeablaufpläne

Die Freigabe (Entsorgungsklassen A, B1, B3, C1) erfolgt in dieser Anlage nach sogenannten Freigabeablaufplänen (FAP), welche die Reststoffart und die Freigabeoption berücksichtigen. Dabei beziehen sich die in den vorliegenden Betriebsberichten (bis einschließlich 2018) sowie den Technischen Quartalsberichten (bis einschließlich II/2019) angegebenen FAP auf die Freigabeoptionen nach /SSV 01/.

Die Einteilung der FAP wurde im Jahr 2013 verfeinert, indem die Freigabeablaufpläne für die Freigabe zur Beseitigung jeweils weiter in Deponierung bis zu 100 Mg/a, Deponierung bis zu 1.000 Mg/a, Verbrennung bis zu 100 Mg/a und Verbrennung bis zu 1.000 Mg/a aufgeteilt wurden. Gleichzeitig wurden die FAP (Nummer 11 und 12) für die Reststoffart „Kabel, geschreddert“ gestrichen, welche zu diesem Zeitpunkt keine Anwendung mehr fanden.

Abb. 2.54 zeigt die ab 2013 verwendete Einteilung in Freigabeablaufpläne mit den Reststoffarten „Feststoffe“, „Schüttgüter“, „Betonstrukturteile“ und „Flüssige Stoffe“ /KMK 18/.

Freigabeoption	Uneingeschränkte Freigabe von			Freigabe zur Beseitigung				
	Festen Stoffen	Flüssigen Stoffen	Bauschutt > 1.000 Mg/a	Deponie		Verbrennung		Rezyklie-rung
				100 Mg/a	1.000 Mg/a	100 Mg/a	1.000 Mg/a	
Entsorgungsklassen	A	A	A6	B1a	B1c	B3b	B3d	C1
Feststoffe	FAP 1			FAP 2a	FAP 2c	FAP 2b	FAP 2d	FAP 3
Schüttgüter	FAP 4		FAP 5	FAP 6a	FAP 6c	FAP 6b	FAP 6d	FAP 7
Betonstrukturteile	FAP 8		FAP 9	FAP 10a	FAP 10c			
Flüssige Stoffe		FAP 13				FAP 14b	FAP 14d	

Abb. 2.54 Einteilung der Freigabeablaufpläne (FAP) für KMK ab 2013 (entnommen aus /KMK 18/)

Die in den Betriebsberichten angegebenen Massen der freigegebenen Reststoffe aus dem Kontrollbereich sind entsprechend der Entsorgungsklasse, dem FAP und dem Nuklidvektor (insg. 12 Nuklidvektoren) klassifiziert. Für Reststoffe der Entsorgungsklassen B1 und B3 werden zusätzlich die Aktivitäten der relevanten Nuklide angegeben.

Masse- vs. Zeit-Diagramme

Aus den vorliegenden Angaben zu den freigegebenen Massen wurden für die verschiedenen Materialarten sogenannte Masse-Zeit-Diagramme angefertigt und markante Verläufe des Masseflusses identifiziert.

Für die Erstellung der Masse- vs.-Zeitdiagramme wurden die Betriebsberichte der Jahre 2007, 2009 und 2011 - 2018 /KMK 08/, /KMK 12/, /KMK 13a/, /KMK 14/, /KMK 15/, /KMK 16/, /KMK 17/, /KMK 18/, /KMK 19/. ausgewertet. Dabei wurden die für die Entsorgungsklassen A und B angegebenen Massen aus dem Kontrollbereich (KB) zusammengestellt. Die Entsorgungsklasse C kam hier nicht vor.

Betrachtet wurden zunächst die im Pfad A freigegebenen Massen von „Metall“, „Beton“ und „Sonstige“ sowie im Pfad B die zur Deponierung (B1) und zur Verbrennung (B3) freigegebenen Massen. Abb. 2.55 zeigt die absoluten in diesen Jahren freigegebenen Massen aus dem Kontrollbereich und Abb. 2.56 den relativen Anteil an der insgesamt aus dem KB freigegebenen Masse. Es ist ersichtlich, dass der Betonanteil an der Gesamtmasse vergleichsweise gering ist. Dies deckt sich mit der Feststellung in /ART 22/, dass erst ein geringer Teil der insgesamt geplanten Massen freigegeben sind.

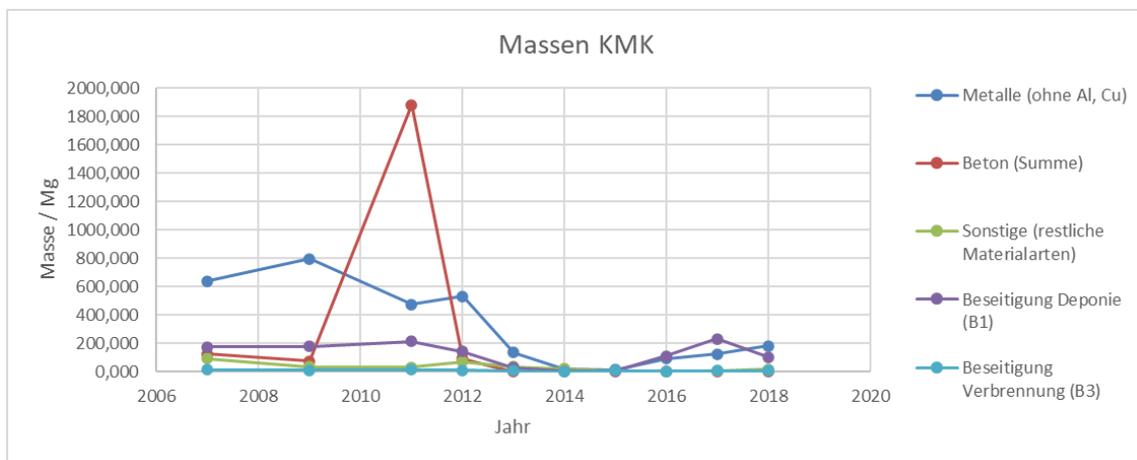


Abb. 2.55 Zeitlicher Verlauf der uneingeschränkt freigegebenen Massen (Pfad A) nach Materialart sowie der Beseitigung (Pfad B1: Deponierung, Pfad B3: Verbrennung) freigegebenen Massen aus dem Kontrollbereich

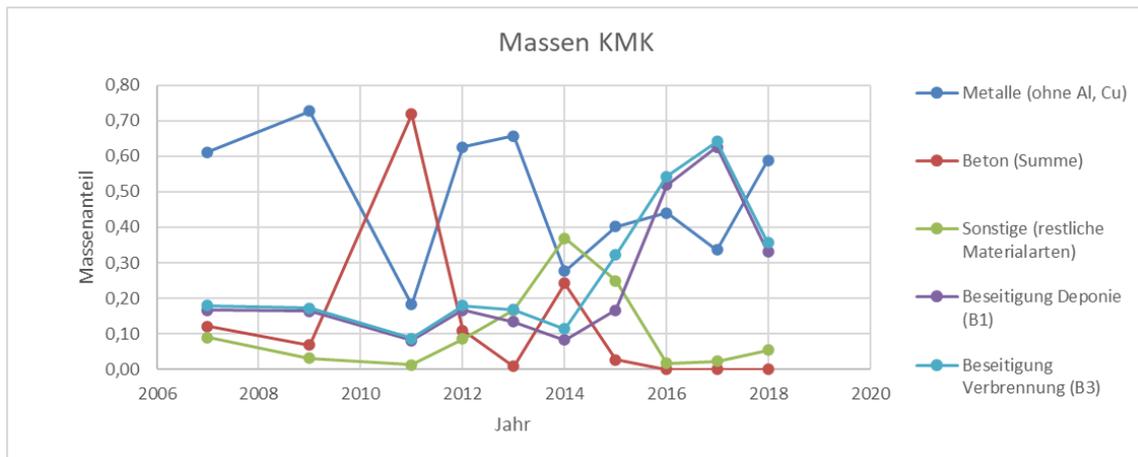


Abb. 2.56 Zeitlicher Verlauf der Anteile uneingeschränkt freigegebener Massen (Pfad A) nach Materialart sowie der zur Beseitigung (Pfad B1: Deponierung, Pfad B3: Verbrennung) freigegebenen Massen an der insgesamt freigegebenen Masse aus dem Kontrollbereich

Auffällig ist ein starker Rückgang der freigegebenen Massen bei allen Reststoffarten bzw. Freigabeoptionen in den Jahren 2014 - 2015. Ab 2015 wurde kein Beton mehr im Pfad A freigegeben, während die hier freigegebene Masse an Metallen wieder ansteigt.

Bei der Reststoffart Beton (Pfad A) zeigt sich zusätzlich im Jahr 2011 eine einzelne Spitze der freigegebenen Masse in der Größenordnung von 1.800 Mg im Vergleich zu üblicherweise unter 200 Mg pro Jahr bei diesem Material.

Weiterhin gewannen die Pfade B1 (Deponierung) und B3 (Verbrennung) ab 2015 anteilmäßig an Bedeutung.

Im Folgenden wird die Masse-Zeit-Entwicklung weiter detailliert und in Bezug auf die freigegebenen Materialien sowie angewandte Nuklidvektoren und Freigabeablaufpläne dargestellt.

Pfad A (uneingeschränkte Freigabe)

Eine weitere Detaillierung des Freigabepfades A zeigt, dass neben den in Bezug auf die freigegebenen Masse bedeutsamsten Materialien Beton und Metall auch größere Mengen an Kabeln freigegeben wurden. Dies war insbesondere in den Jahren 2007 und 2012 der Fall (Abb. 2.57).

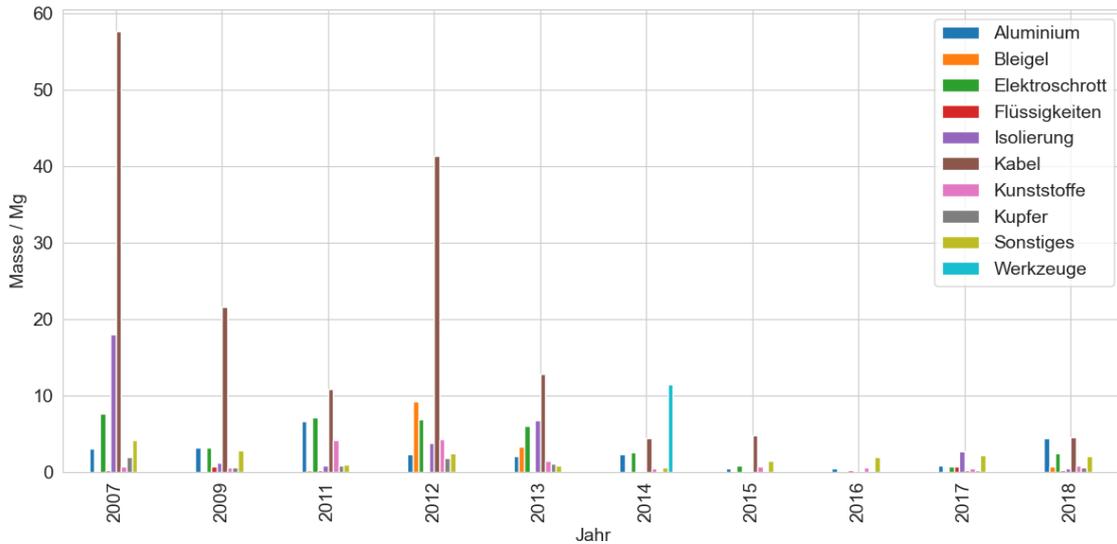


Abb. 2.57 Freigegebene Massen im Pfad A ohne Metalle, Beton

Für alle Materialien dominierte über den gesamten Zeitraum der Nuklidvektor NV 1. Dies ist insbesondere auch für die Materialien Beton (Abb. 2.58) und Metall (Abb. 2.59) der Fall. Bei den Metallen beobachtet man nach dem dominierenden Nuklidvektor eine relativ große Anzahl weiterer unterschiedlicher Nuklidvektoren. Besonders in den Jahren 2007 - 2011 wurden sehr viele unterschiedliche Nuklidvektoren angewandt.

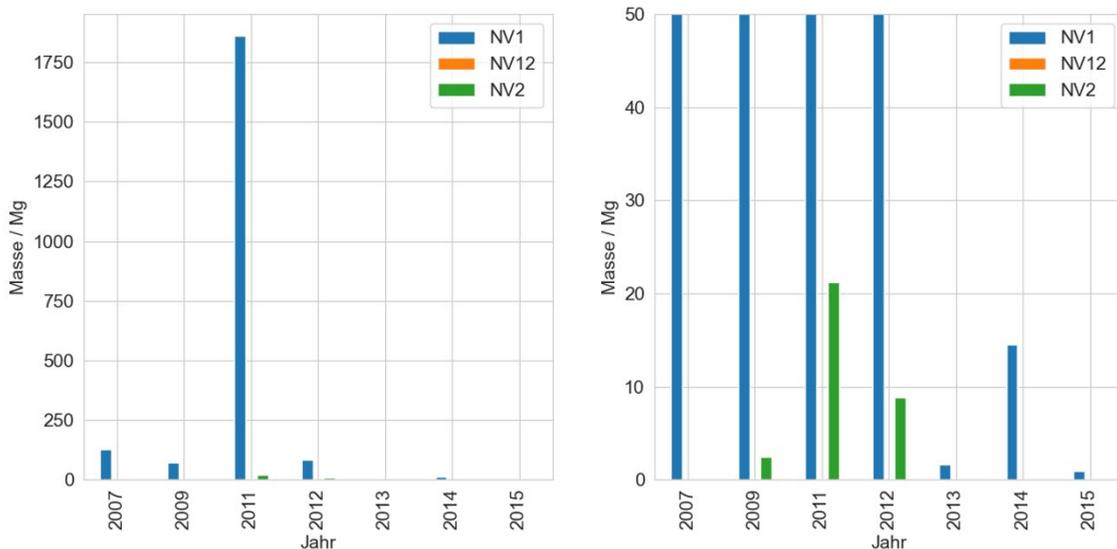


Abb. 2.58 Freigegebene Massen an Beton im Pfad A nach Nuklidvektor

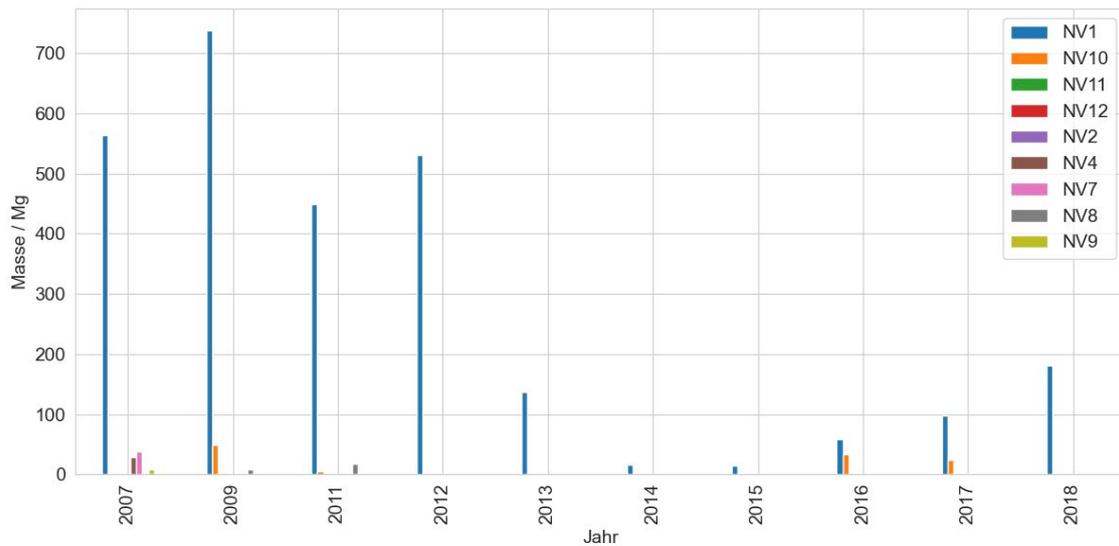


Abb. 2.59 Freigegebene Massen an Metallen im Pfad A nach Nuklidvektor

Betrachtet man die im Pfad A freigegebenen Massen in Hinblick auf die angewandten Freigabeablaufpläne, zeigt sich, dass der beobachtete Peak für Beton im Jahr 2011 auf eine zusätzliche Freigabe gegenüber dem üblichen Massenaufkommen über den FAP 9 „Betonstrukturteile als Bauschutt > 1.000 Mg/a“ zurückzuführen ist. Dieser Freigabeablaufplan fand nur einmalig, im Jahr 2011, Verwendung (Abb. 2.60). Ebenso wurde für Beton in diesem Jahr einmalig der Freigabeablaufplan 5 „Schüttgüter als Bauschutt > 1.000 Mg/a“ gewählt.

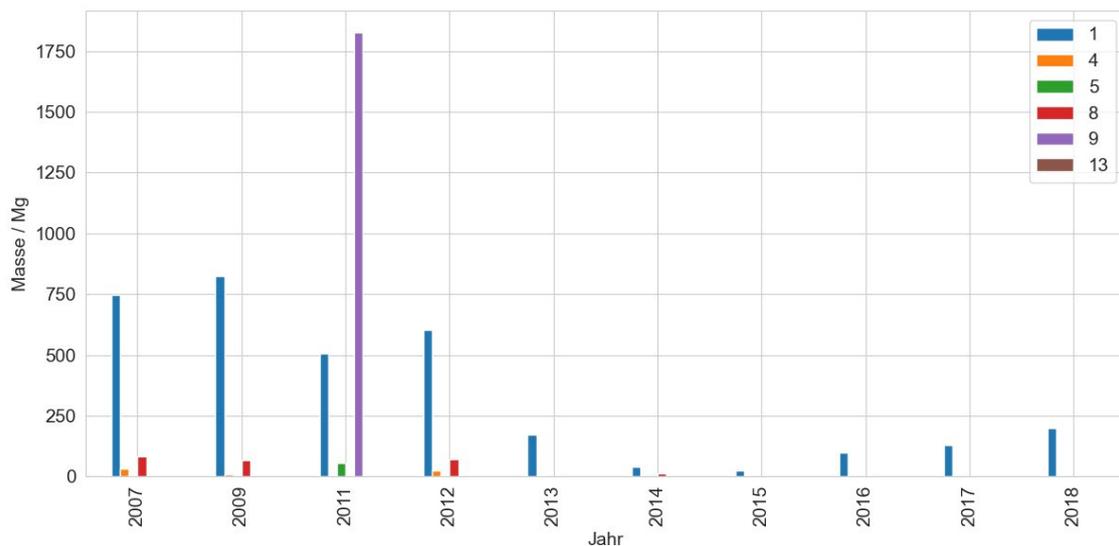


Abb. 2.60 Freigegebene Massen im Pfad A nach FAP

Abgesehen von der Freigabe als Bauschutt > 1.000 Mg im Jahr 2011 wurde Beton im betrachteten Zeitraum üblicherweise über FAP 8 (Betonstrukturteile, feste Stoffe) und FAP 4 (Schüttgüter, feste Stoffe) uneingeschränkt freigegeben (Abb. 2.61).

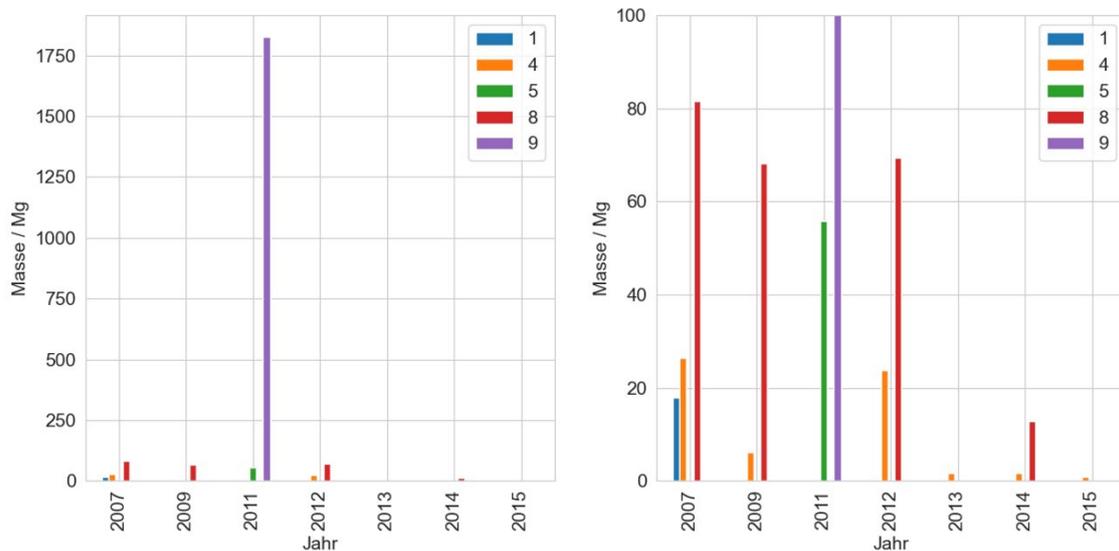


Abb. 2.61 Freigegebene Massen an Beton im Pfad A nach FAP

Für alle anderen Materialien – abgesehen von Flüssigkeiten, welche über den FAP 13 freigegeben werden – fand überwiegend der Freigabeablaufplan 1 (uneingeschränkte Freigabe von Feststoffen) Anwendung. In geringem Maße wurde u. a. Metall auch über FAP 4 (Schüttgüter, feste Stoffe) freigegeben.

Pfad B (Freigabe zur Beseitigung)

Auch im Entsorgungspfad B entfiel der überwiegende Teil der freigegebenen Massen auf die Materialien Metall und Beton. Wie im Pfad A erkennt man einen deutlichen Rückgang der freigegebenen Massen in den Jahren 2014 und 2015, der praktisch alle Materialien betrifft (Abb. 2.62). Während Beton auch nach diesem Zeitraum im Pfad B nur noch in vergleichsweise sehr geringer Menge freigegeben wurde, stieg die freigegebene Masse der Metalle ab 2016 wieder an.

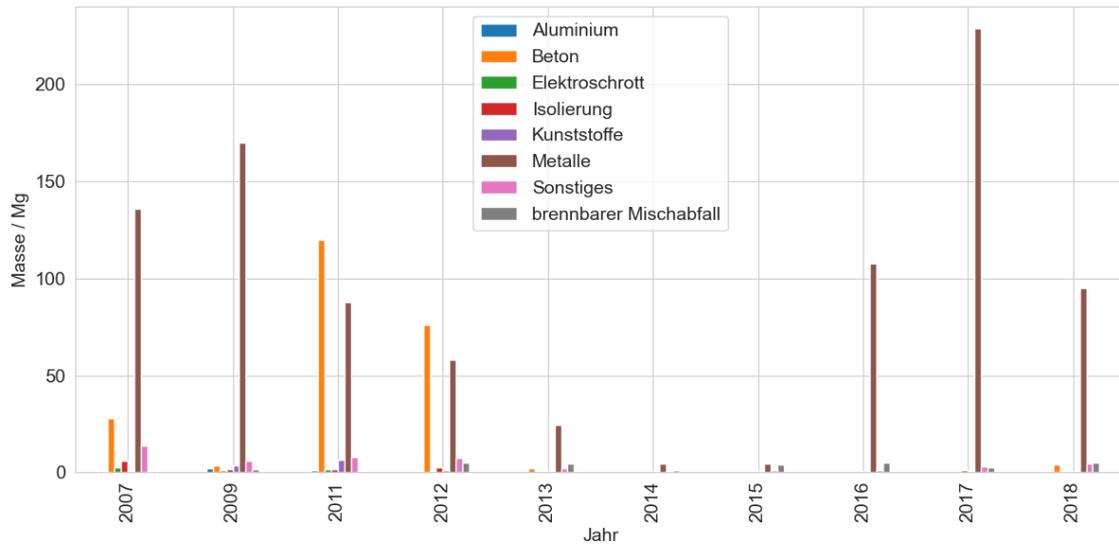


Abb. 2.62 Freigegebene Massen im Pfad B für alle Materialien

Bei den im Pfad B freigegebenen Massen überwogen die Nuklidvektoren 1 und 10. Der Nuklidvektor 10 fand hauptsächlich bei den Metallen Verwendung. Auffällig ist hier (Abb. 2.63), dass dieser erst ab 2016 vermehrt vorkam, während vor 2014 vermehrt NV 1 zum Einsatz kam.

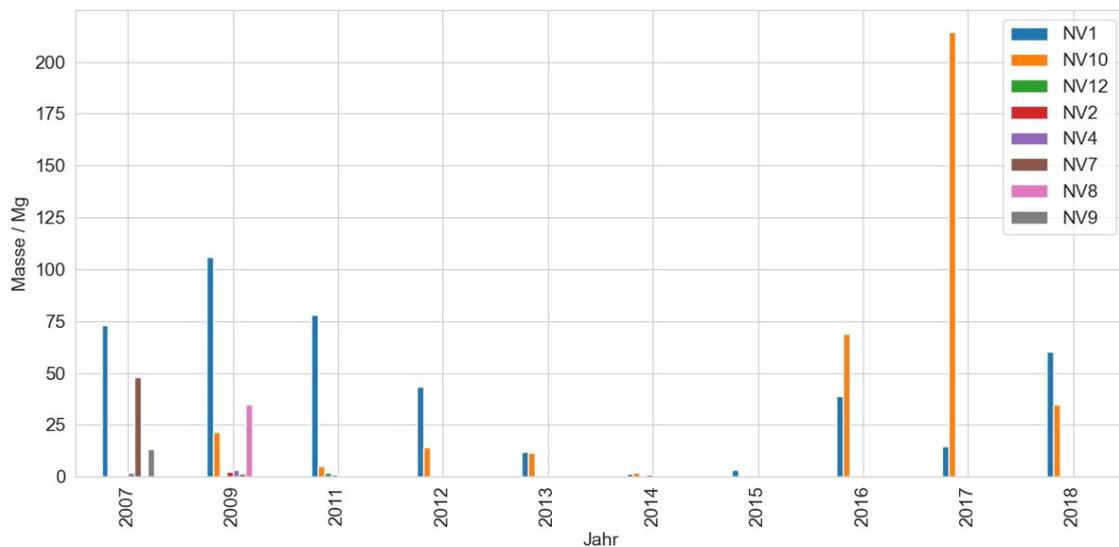


Abb. 2.63 Freigegebene Massen an Metallen im Pfad B nach Nuklidvektor

Eine Betrachtung der freigegebenen Massen im Pfad B in Bezug auf die Freigabeabläufe zeigt, dass über den gesamten betrachteten Zeitraum die Freigabe zur Verbrennung gegenüber der Deponierung nur eine untergeordnete Rolle spielte (Abb. 2.64).

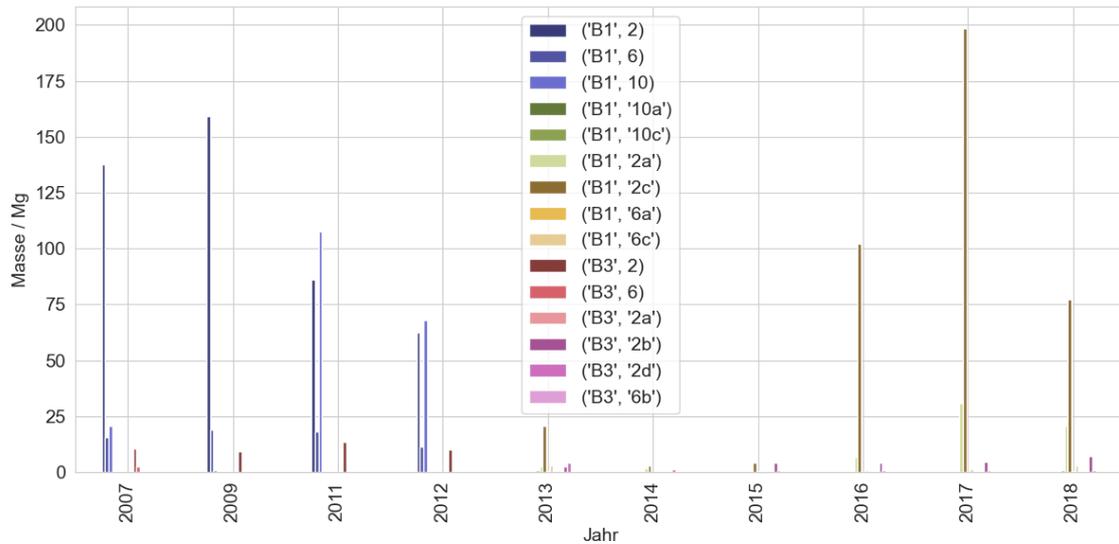


Abb. 2.64 Freigegebene Massen im Pfad B nach Entsorgungsklasse und FAP

Vor der Verfeinerung der Freigabeablaufpläne im Pfad B im Jahr 2013 war FAP 2 (Freigabe von Feststoffen zur Beseitigung auf einer Deponie) der am stärksten vertretenen Freigabeablaufplan. Danach dominierte FAP 2c (Deponierung von Feststoffen bis zu 1.000 Mg/a). Diese Verteilung ist insbesondere auch für die Materialart Metall charakteristisch, welche den größten Massenanteil an den im Pfad B freigegebenen Stoffen stellt.

Für Beton zeigt sich ein anderes Bild (Abb. 2.65). Hier erfolgte die Freigabe im Pfad B hauptsächlich über FAP 10 (Betonstrukturteile zur Deponierung) gefolgt von FAP 6 (Schüttgüter zur Deponierung). Dabei stechen wieder besonders die Jahre 2011 und 2012 heraus, in denen deutliche größere Massen (wieder in Form von Betonstrukturteilen) als üblich zur Deponierung freigegeben wurden.

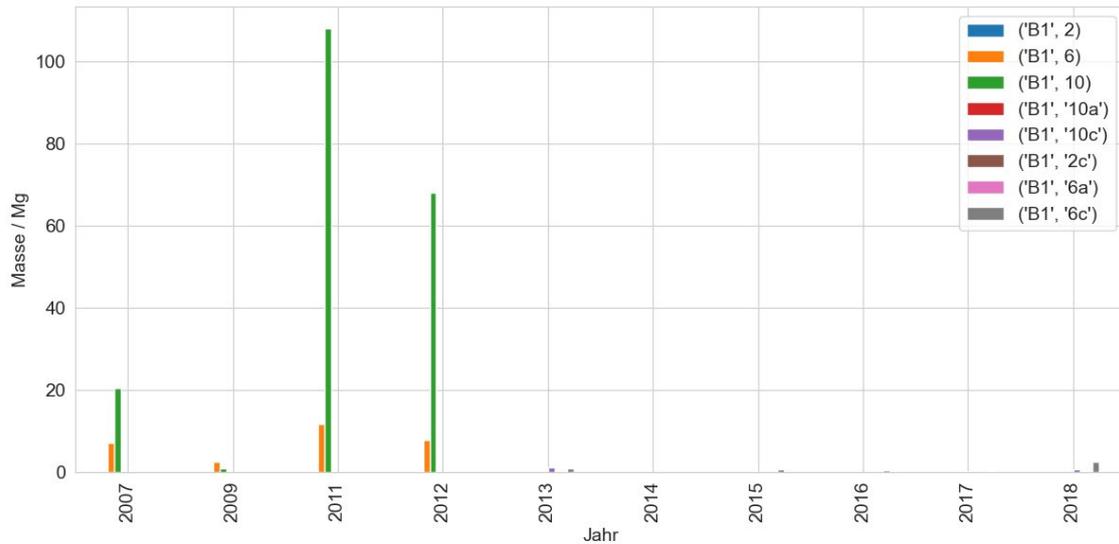


Abb. 2.65 Freigegebene Massen an Beton im Pfad B nach Entsorgungsklasse und FAP

Einordnung in die Rückbaustrategie und -verfahren

Zur Einordnung der beobachteten Auffälligkeiten der Masse-Zeit-Diagramme wurden diese in zeitlichen Zusammenhang zu den in den Betriebsberichten beschriebenen Rückbauabläufen, Abbaumaßnahmen und Genehmigungsschritten gestellt.

Tab. 2.16 stellt die beobachteten Charakteristika der Diagramme und die beschriebenen Ereignisse gegenüber.

Tab. 2.16 Charakteristika der Diagramme und Ereignisse

Beobachtungen im Masse-Zeit-Diagramm	Zeitlich zugeordnete Ereignisse/ Mögliche Hintergründe	Betriebsbericht
2007 (und 2012): Massepeaks für Kabel im Pfad A	1. Quartal 2007: Beginn der großflächigen Stillsetzung von Kabeln im gesamten Kontrollbereich	2007
2011: Sehr starker Massepeak für Beton im Pfad A (und geringerem Ausmaß auch Pfad B); einmalige Nutzung von FAP 9 und 5 (Freigabeoption: Bauschutt > 1.000 Mg/a)	Schwerpunkt der Arbeiten im Kontrollbereich: u. a. Demontage von Betonwandsegmenten und Deckenriegeln im Reaktorgebäude-Containment	2011

Beobachtungen im Masse-Zeit-Diagramm	Zeitlich zugeordnete Ereignisse/ Mögliche Hintergründe	Betriebsbereich
2014-2015: Einbruch der freigegebenen Massen aller Materialien (Pfad A und B)	Im Kontroll- und Überwachungsbereich wurden im Berichtszeitraum nur in geringem Umfang Abbauarbeiten durchgeführt. Es fand eine Verlagerung des Schwerpunktes der Arbeiten in Hinblick auf die Geländeverkleinerung statt. Die Genehmigungen zur Verkleinerung des Anlagengeländes in Bezug auf die Geländeteile "West" und "Süd" wurde 2014 erteilt. Die Geländefreigaben erfolgten 2014 bzw. 2015.	2013, 2014
Ab 2015: Keine Betonfreigabe mehr im Pfad A, kaum Betonfreigabe im Pfad B	Beginn der Abbauphase 2 mit wenigen Beton- und mehr Metallarbeiten: Start der Abbauphasen 2a (Hauptkühlmittelpumpen, Rohrleitungen Hauptkühlmittelkreislauf) im Jahr 2013 und 2b (Dampferzeuger, Reaktordruckbehälter mit Einbauten, Einbauten in der Reaktorkaverne, aktivierter Teil des biologischen Schildes) im Jahr 2015	2013, 2015
Ab 2015: Freigegebene Massen von Metall steigen wieder an		

2.4.4 Forschungsstandort Rossendorf

Die folgenden Kapitel dieses Abschnitts wurden von VKTA erstellt.

2.4.4.1 Einflussfaktoren auf den Freigabe-Massenstrom des FSR

Gliederung möglicher Einflussfaktoren

Freigabeobjekte (und damit freigegebene Massen) fallen selbst bei einem (hypothetisch) gleichförmig laufenden Rückbauprozess diskontinuierlich an. Diese Diskontinuitäten hatten mehrere Ursachen:

- *ablaufbedingt*: Transporte zu Deponien, Schmelzbetrieben und Verbrennungsanlagen erfolgen (in Abhängigkeit zu verbringender Tonnagen) meist chargiert.
- *wirtschaftlich bedingt*: aus kaufmännischen Gesichtspunkten können Zusammenfassungen von Entsorgungen notwendig sein (→ Ausschreibungsverfahren, Vergabeerfordernisse)

- *aufgrund kausaler Bedingungen*: jeweils im zeitlich gesehen letzten Drittel des Rückbauprozesses fallen mit den freizugebenden Gebäudestrukturen die größten Massen an. Im Falle von rückzubauenden kontaminationsverdächtigen Objekten der unterirdischen Wirtschaft unter Bodenflächen und Gebäuden lässt sich dies nicht verallgemeinern:
 - Ist ein Kontaminationseintrag von der Bodenoberfläche her nicht auszuschließen, so fallen am Anfang große Erdbewegungen im Zuge des Freilegens an.
 - War die Leitung undicht, so fallen auch nach Entnahme der Leitung weitere relevante Aushubmengen an.
 - Je nach Leitungslänge und räumlicher Überlagerung der Verlegehorizonte verschiedener Leitungen sind die beiden vorbenannten Schritte mehrmals zu wiederholen.
- *dem Freimess- und Freigabeprozess innewohnend*: Ausgedehnte Objekte werden über einen längeren Zeitraum hinweg messtechnisch bewertet. Nach erfolgreichem Nachweis der vollständigen Einhaltung der Freigabewerte erfolgt die Feststellung der Freigabefähigkeit. Die zugehörigen Flächen bzw. Massen werden dann „auf einmal“ bilanzfähig, obwohl der Bewertungsprozess durchaus länger als ein Jahr gedauert haben kann. Da teilweise mehrere größere Freigabeobjekte im Bewertungsverfahren gewesen sind (die genaue Höchstzahl zu ermitteln würde an der Stelle einen unangemessenen Aufwand bedeuten), ergeben sich vom Zufall bestimmte Peaks in den Freigabemassen.
- *Freigaberechtlich bedingt*: Verschiedene Freigabepfade haben abweichende Festlegungen der Bilanzfähigstellung (siehe Abschnitt 2.4.4.2).

Als im Sinne der Zielstellung des Projekts störend wirkt, dass alle Freigabebilanzen auch die Stoffe enthalten, die seitens des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf dem Freigabeverfahren zugeführt werden. Bei Freigabepfaden, denen entsprechend große Massen hinterliegen, hat dies meist keinen verzerrenden Einfluss. Bei Freigaben zur Depositionierung und insbesondere zur Verbrennung haben die Reststoffe des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf u. U. Dominanz.

2.4.4.2 Bilanzfälligkeit von Freigabeobjekten

Die Feststellung des Vorliegens der Freigabe erfolgt anhand des Freigabebescheids des VKTA bzw. der Regelungen in den einzelnen Genehmigungen des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf. Für die Rückbaumassen ist der Freigabebescheid des VKTA maßgeblich. Darin sind Zustimmungsvorbehalte der Aufsichtsbehörde beschrieben. Daraus sowie durch untersetzenden Festlegungen ergeben sich verschiedene Zeitpunkte, zu denen rückgebaute Massen bilanzfällig gestellt werden.

Nur im Falle von Freigaben nach den Werten der Anlage III Tabelle 1 Spalten 5 und 7 /SSV 01/ erfolgte dies immer mit dem Zeitpunkt der Feststellung des Vorliegens der Freigabe. In allen anderen Fällen war die Bilanzfälligkeit an Randbedingungen gebunden. Einen Überblick gibt Tab. 2.17.

Tab. 2.17 Freigabepfade und ihre Bilanzfälligkeit

Pfad	Anl. III Tab. 1 StrISchV (alt)	Bilanzfälligkeit
Uneingeschränkt	Spalte 5	Datum der Freigabefeststellung
Baugrubenoberflächen	Spalte 6	Abschluss der Verfüllung*
Verfüllmaterial	Spalte 6	Abschluss der Verfüllung*
Verfüllmaterial	Spalte 7	Datum der Freigabefeststellung
Bodenoberflächen	Spalte 7	Datum der Freigabefeststellung
Gebäude Weiterverwendung	Spalte 8	Datum der erfolgten Weiternutzung
Gebäudestrukturen Verbleib	Spalte 8	Datum Abschluss Rückbaumaßnahme
Gebäudestrukturen Abriss	Spalte 10	Erfolgter Abriss
Stoffe zur Beseitigung	Spalten 9 (bzw. 9a - 9d) oder 14	Erfolgreiche Annahme beim Materialbestimmungsort

* im Regelfall, kann im Speziellen abweichen
Erschwerend kommt hinzu, dass teilweise nachträglich Bilanzfälligkeiten geändert wurden (im Rahmen behördlicher Abstimmungen).

Die Bilanzierung der Freigaben des FSR erfolgt vorgangsbezogen. Ein Vorgang umfasst eine Anzahl von Freigabeobjekten (bspw. ein Gebäude, eine Baugrube, ein Einzelteil oder 1 bis n Gebinde). Einen Überblick über die pro Kalenderjahr bewertete Anzahl an

Freigabeobjekten nebst Angabe der Anzahl der Freigabevorgänge, denen diese Freigabeobjekte zugeordnet waren, gibt Tab. 2.18.

Tab. 2.18 Im Zeitraum 2008 bis 2018 pro Kalenderjahr bewertete Anzahl an Freigabeobjekten nebst Anzahl der Freigabevorgänge und bewerteter Massen

Kalenderjahr	Vorgänge	Gebinde	m/kg
2008	966	4.375	9,3E+06
2009	998	4.148	8,3E+06
2010	612	2.548	1,8E+06
2011	601	1.834	6,6E+06
2012	635	1.848	4,9E+06
2013	933	4.268	3,5E+06
2014	741	2.517	2,3E+07
2015	777	2.568	6,4E+06
2016	771	3.107	9,2E+06
2017	632	1.657	3,8E+06
2018	552	1.056	8,4E+05

2.4.4.3 Zwischenfazit

In den Abschnitten 2.4.4.1 und 2.4.4.2 wurde dargelegt, dass der Massenanstieg von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst wird. Eine Korrelation zwischen Schwankungen im Massenanstieg und Zuordnung auslösender Ereignisse kann am FSR demzufolge nur im Einzelfall gelingen. Die Ursache liegt darin, dass der Rückbau in einer Vielzahl von Einzelprojekten parallel lief (siehe Abschnitt 2.3.8.1) und es nur wenige Einflussfaktoren gab, die alle Einzelprojekten betrafen und die noch dazu in allen Einzelprojekten die gleichen Auswirkungen gehabt hätten.

Es ist jedoch anzunehmen, dass die Situation beim Rückbau von Kernkraftwerken aufgrund der homogeneren Gesamtanlage sowie des weit größeren Massenanstiegs eine deutlich andere ist. Am FSR war nicht der große Massenanstieg das Metronom des Rückbaus, sondern die Abfolge der Vielzahl der teils parallelen, teils einander bedingenden Rückbauschritte unter Beachtung der Randbedingungen, nicht zuletzt der hinsichtlich sehr breit gefächerten Nuklidzusammensetzung.

2.4.4.4 Lösungsversuch

Um eine Basis zu schaffen, die es erlaubt, eine Korrelation zwischen Ereignissen im Rückbau und dem Massenstrom zu erkennen, wurden neue Daten generiert. Als Basis wurde nicht das Bilanzdatum, sondern das Druckdatum der Papiere des jeweiligen Freigabevorgangs verwendet.

Dies ist insofern sinnhaftig, da der Druck der Freigabepapiere (und damit der Beginn des Prozesses der Feststellung des Vorliegens der Freigabe) näher am tatsächlichen Rückbaugeschehen liegt als das jeweilige Bilanzfähigkeitsdatum (siehe dazu Abschnitt 2.4.4.2). Berücksichtigt wurden dabei nur diejenigen Massen, die am Ende des Freigabeprozesses auch freigegeben werden konnten.

Die Daten wurden unter verschiedenen Gesichtspunkten gruppiert. Nach Ansicht von VKTA lassen sich nur dann Aussagen im Sinne des Projekts gewinnen, wenn die Summe der Freigabearten eines Freigabepfades oder sogar im Rückbau in engem Zusammenhang stehende Freigabepfade gemeinsam dargestellt werden. Unter dieser Maßgabe entstanden die nachfolgend dargestellten Daten.

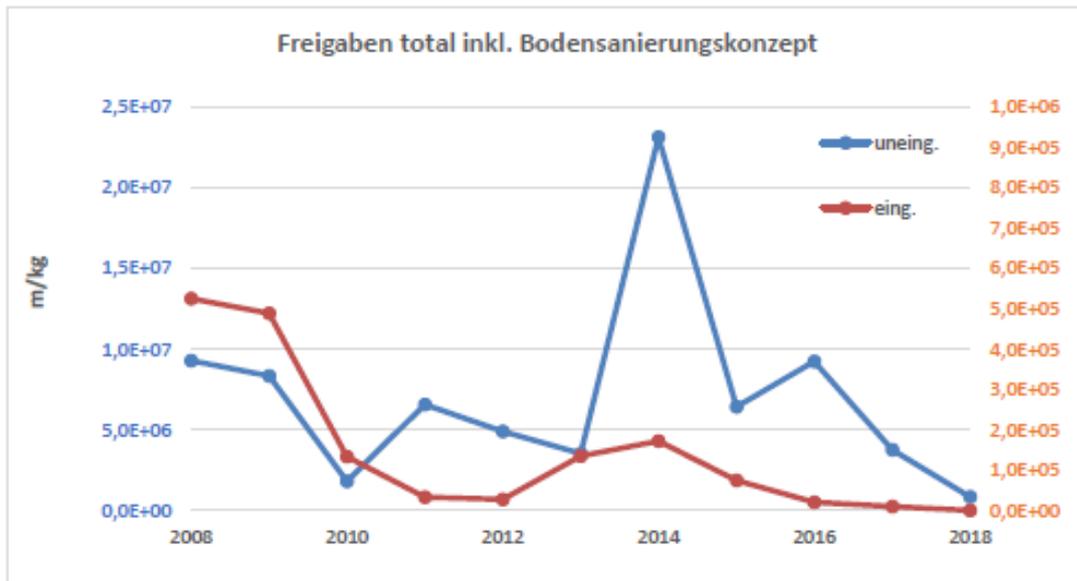


Abb. 2.66 Im Zeitraum 2008 bis 2018 pro Kalenderjahr in Freigabeverfahren geführte Massen ¹³

¹³ Zu beachten ist, dass die Zuordnung der Massen zur uneingeschränkten oder zweckgerichteten (= eingeschränkten) Freigabe von der Seite der Materialentsorgung her vorgenommen wurde. Damit wurden nur Freigaben nach Anlage III Tab. 1 Spalten 9 (bzw. 9a – d) und 14 StriSchV (alt) der zweckgerichteten Freigabe zugeordnet. Hinweis. Das nach erfolgtem Abriss nach Spalte 10 vorliegende Material ist nach erfolgtem Abriss uneingeschränkt frei. Nach Bodensanierungskonzept (BSK) bewertete Massen gehen nur in Abb. 2.66 ein.

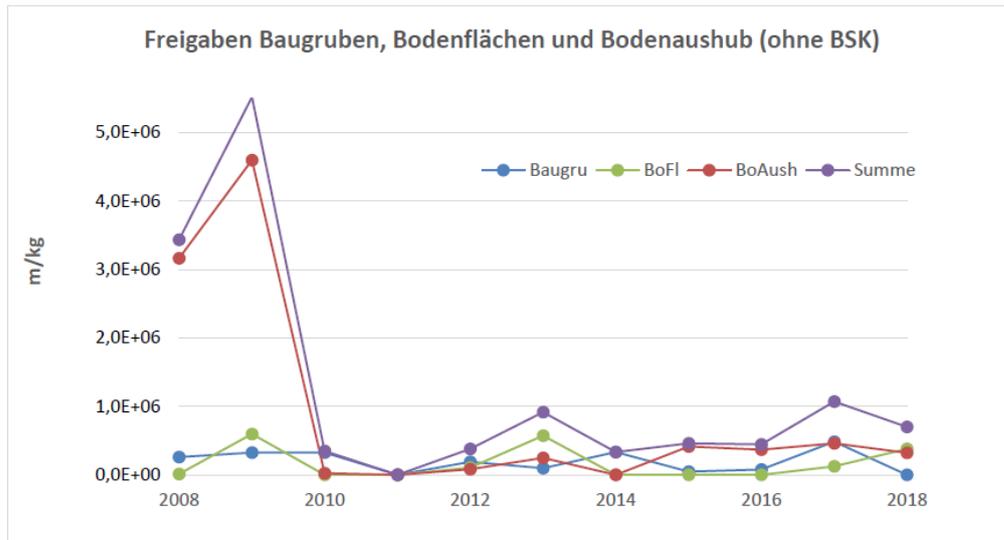


Abb. 2.67 Massen von im Zeitraum 2008 bis 2018 pro Kalenderjahr in Freigabeverfahren geführte Baugruben, Bodenflächen sowie Bodenaushub

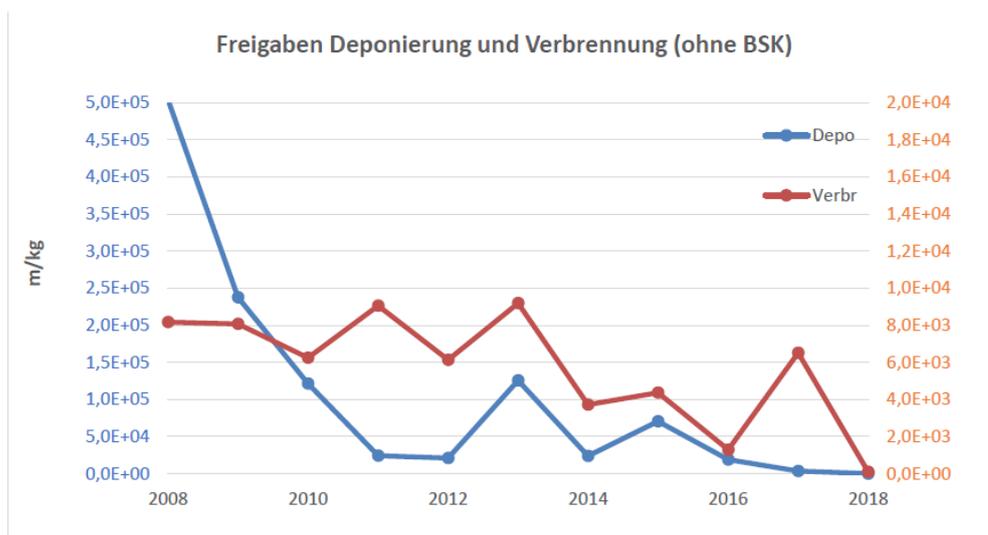


Abb. 2.68 Zweckgerichtet zur Beseitigung oder zum Einschmelzen bzw. der Wiederverwendung von Metallen freigegebene Massen, die im Zeitraum 2008 bis 2018 pro Kalenderjahr in Freigabeverfahren geführt wurden

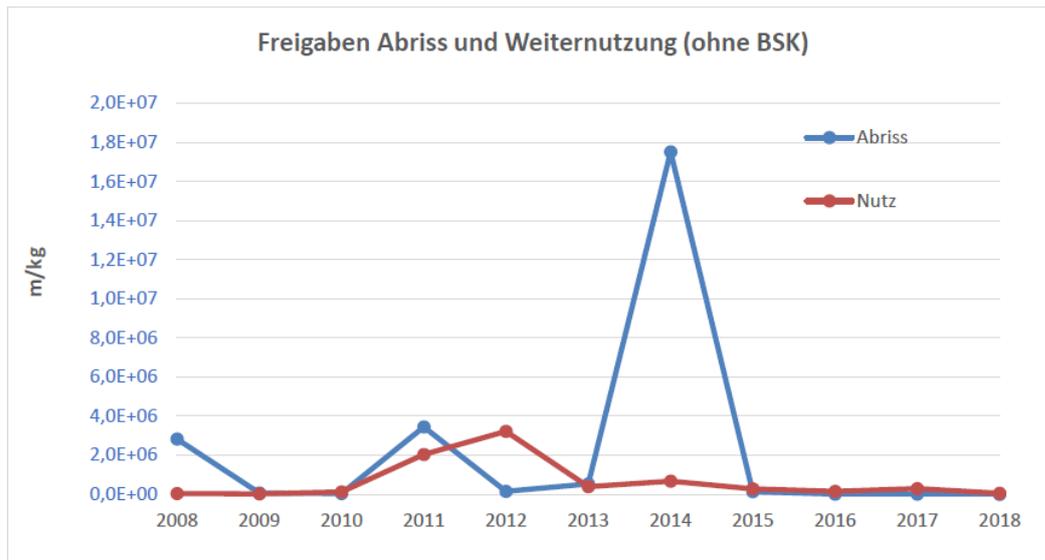


Abb. 2.69 Massen von im Zeitraum 2008 bis 2018 pro Kalenderjahr in Freigabeverfahren geführte Gebäude zum Abriss oder zu Weiterverwendung

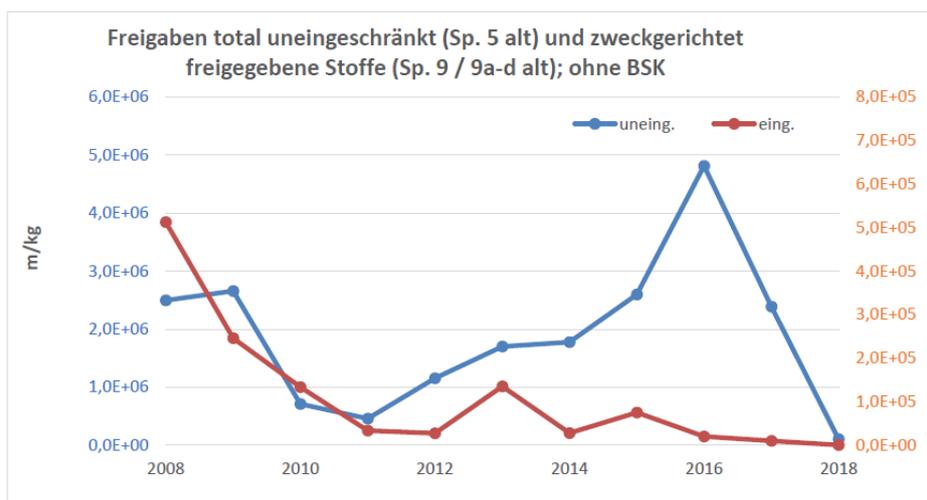


Abb. 2.70 Massen von im Zeitraum 2008 bis 2018 pro Kalenderjahr in Freigabeverfahren geführte Stoffe, die entweder nach Anlage III Tab. 1 Spalte 5 („uneing.“) oder nach 9 (bzw. 9a – d) bzw. 14 /SSV 01/ („eing.“) freigegeben wurden

Im Folgenden soll versucht werden, ausgewählte Spitzen zu erklären. Diese Erklärung kann keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, denn die Verfasser können nur anhand der vorliegenden Dokumente und Erinnerungen versuchen, Erklärungen zu finden.

Deutungsversuche ausgewählter Schwankungen des Massenarfs

Nachfolgend wird versucht, für Auffälligkeiten im Massenarft aus Abb. 2.66 bis Abb. 2.70 eine Erklärung zu finden:

- Spitzen in Abb. 2.66

In Abb. 2.66 ist im Jahr 2014 eine Spitze erkennbar, die sich in Abb. 2.69 wiederfindet und dort Erklärung als Abrissmassen findet. In dem Jahr wurde das Freigabeverfahren zum Abriss der RFR-Gebäude (namhaft die Teile Labortrakt und Halle) eingeleitet. Die weiteren Spitzen resultieren im Jahr 2008 im Abriss von Gebäudestrukturen der alten Isotopenproduktionsanlagen („Gebäude 8d“) und im Jahr 2011 im Abriss von Gebäudestrukturen der neuen Isotopenproduktionsanlagen (Gebäude 91 „technologisches Zentrum“).

- Spitze in Abb. 2.67

In Abb. 2.67 ist im Jahr 2009 eine vor dem Jahr 2008 beginnende Spitze erkennbar. Diese ist durch Erdarbeiten in zwei Rückbaukomplexen und dort wiederum mehreren Rückbauprojekten begründet. Es wurden Rohrleitungen der speziellen Kanalisation, Leitungen für flüssigen radioaktiven Abfall, sonstige medienführende Elemente der unterirdischen Wirtschaft sowie kontaminiertes Erdreich entnommen. Dazu waren zahlreiche Aushubarbeiten notwendig und entsprechend Bodenflächen und Baugruben zu bewerten. Die Tätigkeiten erfolgten an oder nahe den alten Isotopenproduktionsanlagen, peripheren Anlagen (v. a. Lagern) der neuen Isotopenproduktionsanlagen sowie Sammelbehältern der speziellen Kanalisation.

- Spitze in Abb. 2.68

In Abb. 2.68 ist im Jahr 2016 ein Rückgang der Verbrennung und im Jahr darauf eine Spitze zu erkennen. Der Bund der Bürgerinitiativen Umwelt hat Emittenten freigegebener Massen sowie die am anschließenden Entsorgungsprozess beteiligte Firmen in einer Liste zusammengetragen. Basis waren Auskünfte, die die Behörden aufgrund des Umweltinformationsgesetzes erteilen müssen.

Die Veröffentlichung der Liste der Firmen führte dazu, dass einige Beteiligte ihre Annahmeerklärungen widerriefen und somit Entsorgungswege (insbesondere Verbrennung)

nicht bedient werden konnten. Dies betraf Forschungseinrichtungen und Kernanlagen genauso wie nuklearmedizinische Einrichtungen. Demzufolge konnten weder bereits bewertete Massen entsorgt und die Freigabe damit abgeschlossen werden (was sich bei den hier verwendeten Daten auf Basis des Druckdatums aber nicht auswirken würde), noch wurden Reststoffmengen dem Freigabeverfahren zugeführt (bspw. chemische Prozesslösungen oder Schlamm aus einer Ionenaustauschanlage zur chemischen Reinigung von Laborabwässern; Hinweis: ersteres steht nicht, letzteres nur bedingt mit dem Rückbau in Zusammenhang).

Es nahm ca. zwei Jahre in Anspruch, um für alle notwendigen Abfallschlüsselnummern wieder Entsorgungswege zur Verfügung zu haben. Dementsprechend gab es dann einen gewissen Nachholeffekt in den diesbezüglichen Freigabeverfahren.

- Spitze in Abb. 2.70

In der Abb. findet sich im Jahr 2016 eine Spitze bezüglich bewerteter Stoffen, die sich durch einen erhöhten Anfall von Bauschutt und Bodenaushub ergibt. In dem Jahr wurden befestigte Strukturen der RFR-Fundamente, Strukturen des RFR-Betriebshofes sowie des umliegenden Baufelds rückgebaut und bewertet. Diese Stoffe haben nach Freigabe den FSR verlassen.

Bauschutt: Ein großer Teil des Bauschutts kam von den „Freigabeinseln“, die nach dem Abbruch der entsprechend Anlage III Tabelle 1 Spalte 10 StrlSchV (alt) zum Abriss freigegebenen Gebäudeteile noch bewertet werden mussten (vornehmlich Schwerbeton und Stampfbeton). Der zweite große Teil waren die temporären Baustraßen und Bereitstellungsflächen aus Betonrecycling, die auch nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 6 StrlSchV (alt) freigegeben wurden. Den Rest machten diverse Leitungen und Fundamente im Bereich des Gebäudes aus, die wiederum teilweise sehr stark konventionell kontaminiert waren (z. B. Heizkanal). Auch diese Stoffe wurden entsorgt (das Betonrecycling-Material wurde überwiegend extern aufgearbeitet).

Erdaushub: Der Aushub war zum großen Teil aufgrund seiner bodenmechanischen Eigenschaften bezüglich Verfestigung und Standfestigkeit ungeeignet, um unter Erreichung entsprechender Tragfähigkeit wiedereingebaut zu werden. Aufgrund der Belastung der Kellerstrukturen des RFR mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen wurden Teile dieses und weiteren Erdaushubs als prinzipiell (konventionell) kontaminiert angesehen (Kategorie Z2, d. h. eingeschränkt einbaufähig, oder sogar > Z2, d. h. Deponierung erforderlich).

Da VKTA zum Auffüllen unbedingt sauberes Erdreich verwenden musste (Kategorie Z0), und das anhand der Ergebnisse der Voruntersuchungen nur an zu wenigen Stellen zu schaffen war, wurde das Erdreich uneingeschränkt freigegeben und entsorgt. Demzufolge erforderte die chemische Zusammensetzung dieser Bodenchargen eine Abgabe zur Behandlung oder Deponierung¹⁴. Wäre das Erdreich chemisch und physikalisch zum Wiedereinbau vor Ort geeignet gewesen, wäre es nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 /SSV 01/ freigegeben und wiedereingebaut worden.

2.4.5 Beispiele zur Vorgehensweise zur Lösung unerwarteter Probleme bei der Stilllegung des FSR

Die folgenden Kapitel dieses Abschnitts wurden von VKTA erstellt. Beispiele aus der Praxis der Stilllegung eines Forschungsreaktors werden hier aufgezeigt und in Kapitel 2.4.6 mit der Vorgehensweise bei Leistungsreaktoren verglichen.

2.4.5.1 Dekontaminationserfordernis über statische Grenzen hinaus: Freigabeinseln

Während der Durchführung der Voruntersuchungen im Kontrollbereich des Rossendorfer Forschungsreaktors (RFR) sind Raumbereiche entstanden, in denen Messungen an der stehenden Struktur aus baulichen oder zugangstechnischen Gründen nicht vollständig möglich waren. Aus diesem Grund waren auch die Freigabe und der daran anschließende Abbruch dieser Bereiche nicht vollständig realisierbar. Diese Bereiche wurden fortan als „Freigabeinseln“ bezeichnet, also Inseln, für die eine Freigabe erst während bzw. nach dem Abbruch der umliegenden Gebäudestrukturen durchzuführen ist. Ein Beispiel für eine derartige „Freigabeinsel“ ist die sogenannte Gammabestrahlungsanlage Rossendorf (GAR) 1.

Bei der GAR 1 handelte es sich um eine zunächst halbindustriell arbeitende Anlage, die im Zeitraum von 1966 bis 1976 in Betrieb war. Sie wurde zwischen 1964 und 1966 in Kombination mit einem weiteren Brennelementlagerbecken (AB 2), welches aufgrund

¹⁴ Hinweis: Die Freigabeentscheidung orientiert sich in dem Fall jedoch am Ergebnis der Freimessung, sprich bei Unterschreitung der Werte der Anlage III Tab. 1 Spalte 5 StrlSchV (alt) lautet die Freigabeentscheidung „uneingeschränkt ohne messbare Oberfläche“; die Art der Entsorgung, in dem Falle das Erfordernis der Deponierung, wurde anhand der Ergebnisse der Deklarationsanalysen nach Abfallverzeichnisverordnung erforderlich.

des hohen Aufkommens an abgebrannten Brennelementen und der daraus resultierenden dringend notwendigen Erweiterung der Zwischenlagerkapazitäten geschaffen wurde, errichtet. Sie diente dazu, ganz oder teilweise abgebrannte Brennelemente des RFR für Gammabestrahlungen verschiedenster Arten (Strahlensterilisation, Bestrahlung von Lebensmitteln, Entwicklung) zu verwenden. Die Anlage wurde während ihrer Nutzungsdauer mehrfach umgebaut und weiterentwickelt. Der Abb. 2.71 ist die räumliche Anordnung der GAR 1 und des AB 2 zu entnehmen. Es ist zu erkennen, dass es sich um einen sogenannten Ringtunnel handelt, der auf „GAR 1-Seite“ komplett mit Stampfbeton umgeben ist.

Dimensionen der Freigabeinsel GAR 1: Höhe 1,7 m, Breite 5,5 m, Wandstärke 2,7 m, Masse Stampfbeton mit groben Eisenanteilen 57 t, Masse Stahlteile: 2,4 t /HIE 09/.

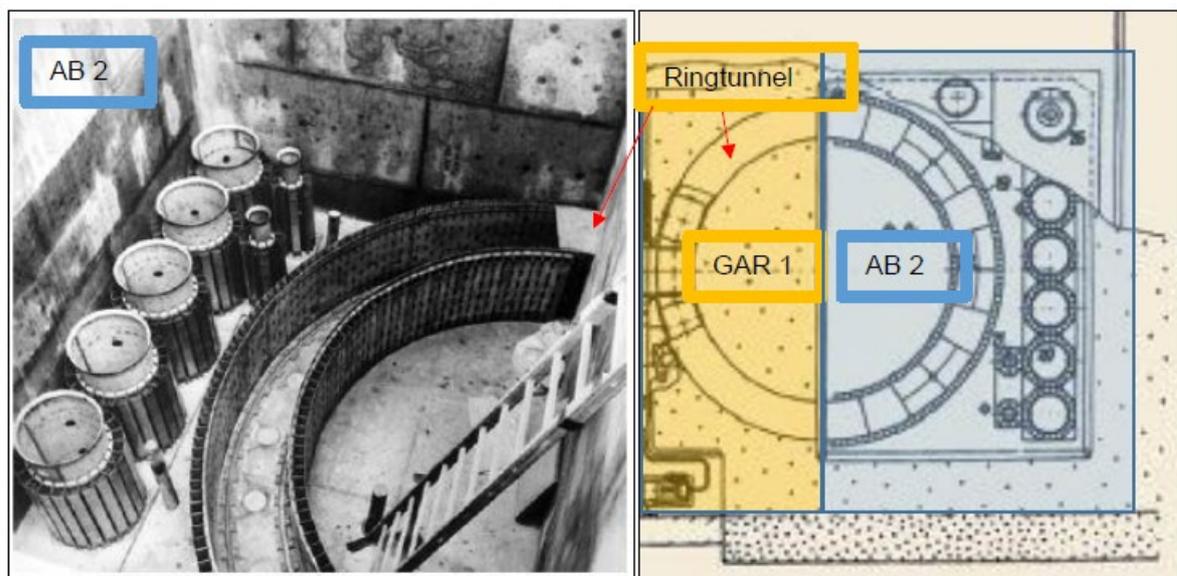


Abb. 2.71 (linkes Bild) Blick auf die Rollenbahn mit Anschluss an den GAR-1 Ringtunnel (roter Pfeil) und die Gitterplätze für Brennelemente im AB (rechtes Bild). Draufsicht GAR 1 und AB 2 /HIE 09/.

Freigabevorbereitung

Aufgrund der baulichen Beschaffenheit und der daraus resultierenden schweren Zugänglichkeit der Reste des Ringtunnels wurde während der Durchführung der Voruntersuchungen entschieden, die freigabevorbereitenden Messungen dieses Objektes erst nach Abbruch der umliegenden Strukturen weiter fortzuführen. So wurden vor Abbruch der angrenzenden Strukturen Sicherungsmaßnahmen zum Schutz der Freigabeinsel

GAR 1 getroffen. Die Freigabeinsel wurde bis zu einem Sicherheitsabstand von 0,5 m zu den Grenzen von nicht auszuschließenden bzw. nachweisbaren Kontaminationen markiert und gesichert. Der überwiegend oberhalb des Ringtunnels befindliche Magerbeton wurde abbruchbegleitend radiologisch bewertet und zerkleinert, vollständig in 500 l-PE-Boxen verpackt und der anschließenden Entscheidungsmessung mittels FMA zugeführt. Der aus Stahlblech konstruierte Ringtunnel wurde somit freigelegt und zur weiteren Behandlung (Dekontamination) in die vom VKTA betriebene Einrichtung zur Behandlung schwachradioaktiver Abfälle Rossendorf (ESR) überführt und ebenfalls für die Freigabe vorbereitet. Diese Vorgehensweise wurde vom VKTA in Form von Freimessprogrammen vor Beginn der Maßnahmen erläutert und von der atomrechtlich zuständigen Aufsichtsbehörde bestätigt.

2.4.5.2 Unbekannte Fundamenteile: Freigabe zum Verbleib

Beim Rückbau von Gebäuden des FSR, deren Errichtung in den 1950er bis 1970er Jahren liegt, ist die vorliegende Dokumentation des Gebäudebestands oftmals im Detail lückenhaft oder anders ausgeführt als dargestellt. Historische Erkundungen ergaben, dass es zur in Rede stehenden Zeit durchaus im Ermessensbereich des vor Ort tätigen Bauleiters lag, Details abweichend zu den Zeichnungen zu errichten, wenn die Lage es erforderte.

Dies ist einer der Gründe, warum es im laufenden Rückbau immer wieder Lösungen für die Freigabe von Fundamenteilen geben musste, die anhand der auf den Bestandsunterlagen fußenden Rückbauplanung unerwartet waren. Solche Objekte gab es in allen drei Rückbaukomplexen.

Um die Freigabe zu erwirken, wurden meist folgende Schritte durchgeführt bzw. Punkte geprüft:

- Ausbau möglich und bautechnisch sinnvoll? Wenn nicht, dann Vorzugsvariante Verbleib.
- radiologische Bewertung aller zugänglichen Oberflächen → Entscheidung anhand der Ergebnisse, ob Verbleib möglich
- Wenn ja: Gibt es Hinweise auf Kontaminationen im Umfeld?

- a) Wenn nicht, dann Plausibilitätsannahmen für nicht freigelegte und demzufolge nicht bewertete Teilflächen des Freigabeobjekts.
 - b) Wenn ja, dann angrenzende Flächen freilegen und bewerten, bis a) eingehalten oder der Nachweis der Unterschreitung der FGW gebracht wird
- Parallel:
 - Ergänzung des Freimessprogramms; In der Regel waren die Freimessprogramme
 - (besonders die späteren) hinsichtlich Funden großer mineralischer Komponenten, die im Boden verbleiben sollen, vorbereitet.
 - Information der Genehmigungsbehörde
 - betriebliche Feststellung des Vorliegens der Freigabe zum Verbleib aufgrund des Nachweises der Unterschreitung der Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 8 StrlSchV (alt) für Gebäudeteile entsprechend Freimessprogramm
 - behördliche Bestätigung der vorliegenden Freigabe im Zuge des Abschlusses des Rückbauschriffs

2.4.5.3 Unmöglichkeit von Kernbohrungen: Abriss Heiße Kammern RFR

Bei den vier universellen Heißen Zellen (früher auch Heiße Kammern genannt) handelte es sich um einen zusammenhängenden Baukörper unterhalb der ehemaligen Reaktorhalle mit den Dimensionen $L \times B \times H = 7,0 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times 6,0 \text{ m}$. Die äußeren Wände bestanden aus Stampfbeton (ρ ca. $2,4 \text{ g/cm}^3$) bzw. Schwerstbeton (ρ ca. $4,2 \text{ g/cm}^3$). Die Zellen waren über einen gemeinsamen Servicekorridor sowie über einen Transportwagenkanal miteinander verbunden. Außerdem waren sie direkt mit dem Reaktorkern („Reaktorkopf unter Deckel“) verbunden, so dass es möglich war, Isotopenbestrahlungskassetten (IBK) aus dem Reaktor in die Heißen Zellen zu transportieren und falls erforderlich auch zurück. Die Art der Nutzung der Heißen Zellen variierte über den Zeitraum der Nutzungsdauer, gehörten aber zur Grundausrüstung des RFR. Ihre Auslegung auf Spaltproduktaktivitäten von 135 TBq bzw. 370 TBq ermöglichte die Handhabung von bestrahlten Brennelementen mittels Manipulatoren. In Abb. 2.72 ist die Anordnung und die Position der Heißen Zellen im Reaktorgebäude dargestellt /HIE 09/.

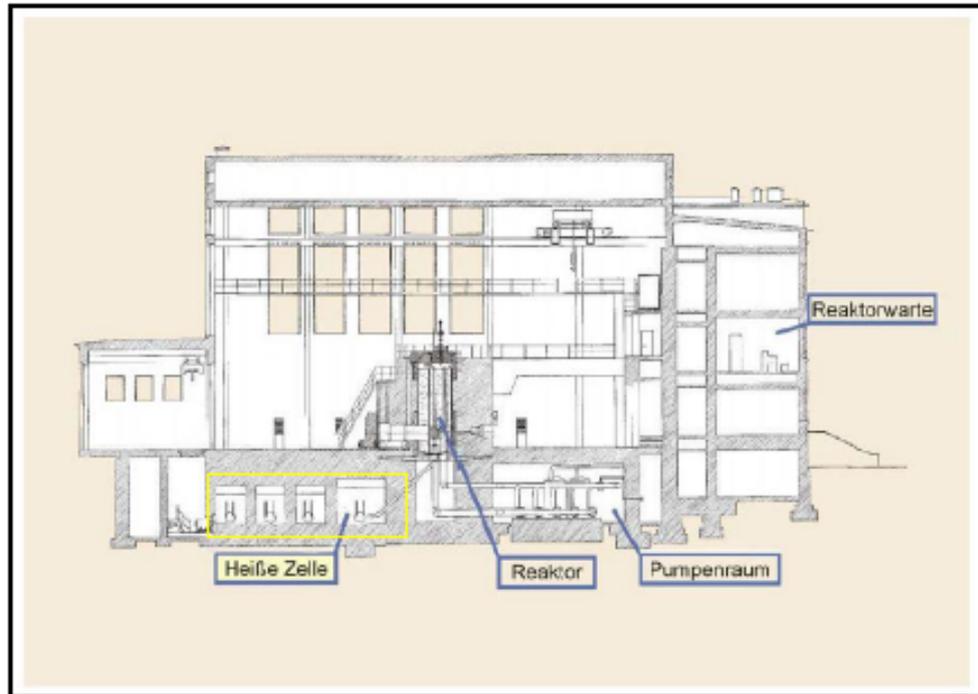


Abb. 2.72 Schnittdarstellung RFR mit Darstellung der Heißen Zellen 1 - 4 (gelb umrandet v. r. n. l.) /HIE 09/

Die ursprünglich geplante und durch die Genehmigungsbehörde bestätigte Vorgehensweise, sämtliche Einbauten sowie Wand- und Bodendurchführungen aus Stahl bzw. Edelstahl vor dem Abbruch auszubauen und die Oberflächen der Heißen Kammern so weit zu dekontaminieren, dass die Freigabewerte unterschritten werden konnten, musste vorzeitig beendet und abgebrochen werden, da der Aufwand für dieses Vorhaben nicht mehr vertretbar war. Somit war es auch nicht möglich, die Wand- und Bodendurchführungen zunächst mittels Kernbohrung zu „überbohren“, die stehenden Gebäudestrukturen zu bewerten und anschließend für den Gebäudeabbruch freizugeben. Es musste nach alternativen Lösungen gesucht werden, die möglichst geringe Auswirkungen auf den Finanzmittelabfluss des Freistaats, die Terminkette bereits begonnener, parallellaufender Rückbauprojekte (auch in anderen Rückbaukomplexen des VKTA) und die bestehenden Genehmigungen (Baugenehmigung, atomrechtliche Genehmigung) haben. Nach einem umfangreichen Vergleich folgender Varianten hat man sich für die Realisierung des Vorhabens mit der Variante B entschieden:

- Variante A: Abbruch der Heißen Kammern nach Abbruch des RFR
- Variante B: Abbruch der Heißen Kammern innerhalb des RFR mit elektrohydraulischem Kleinbagger

- Variante C: Abbruch der Heißen Kammern innerhalb des RFR mit elektrohydraulischem Bagger und dieselbetriebenem Bagger

So wurde in der Vorhalle des RFR eine weitere Trennwand aus Trockenbau und um den Abbruchbereich der Heißen Zellen eine zusätzliche Einhausung mit Materialschleuse und Transportöffnung aus gewebeverstärkter, dicht verschweißter Folie installiert. Zusätzlich wurde der Bereich lufttechnisch von den umliegenden Bereichen getrennt. Außerdem waren noch einige bautechnische Vorbereitungsarbeiten hinsichtlich der Statik und der Strahlenschutz- bzw. Lüftungstechnik im Reaktorgebäude notwendig. Bei dieser Variante wurde ca. 50 % des Baukörpers (ca. 350 Mg Bauschutt) mittels ferngesteuertem, elektrohydraulischem Kleinbagger abgebrochen, zerkleinert und zum Großteil in PE-Boxen 500 L verpackt und mittels FMA bewertet.

Als wesentliche Herausforderung im Zusammenhang mit dieser Variante können die begrenzten Kapazitäten hinsichtlich des Freigabe- und Entsorgungspfades genannt werden, da sich parallel zum Rückbau des RFR auch der Rückbau im Rückbaukomplex 3 (Freigelände) und untergeordnet auch im Rückbaukomplex 2 inmitten der Phase der Freigaben und Entsorgungen befand. Was zur Folge hatte, dass auch dort ein erhöhtes Boxenaufkommen zur Messung in der FMA und anschließender Freigabe sowie Entsorgung zu verzeichnen war. Um dieses erhöhte Boxenaufkommen zu bewältigen, waren rückbaukomplexübergreifende Absprachen und Rückmeldungen sowie regelmäßige Projektgespräche und Bauberatungen zielführend und unabdingbar. So war es möglich, auf ggf. auftretende Engpässe auch hinsichtlich der Verfügbarkeit von Leergebinden, zu reagieren. Der Abb. 2.73 ist die grundsätzliche Vorgehensweise beim Abbruch der Heißen Zellen zu entnehmen.



Abb. 2.73 (linkes Bild) ferngesteuerter, elektrohydraulischer Kleinbagger auf einer Stampfbetonwand der Heißen Kammern, (rechtes Bild) Bediener in sicherer Entfernung

2.4.5.4 Fund Kontamination außerhalb des ÜB: Anpassung Freimesskampagne

Der Überwachungsbereich des Rückbaukomplex 1 hatte zum Zeitpunkt der Freimessungen eine Größe von ca. 5.000 m². In Folge des Abbruchs des Reaktorgebäudes, des Filter- und Ventilationshauses, eines Schauers sowie einiger befestigter Verkehrsflächen entstanden auf dem Betriebshof Baugruben und Böschungen. Nach der Durchführung von Entscheidungsmessungen sollten die Baugruben mit Spalte 6-Material¹⁵ verfüllt werden. In den Randbereichen der Baugruben sollten die Freigabewerte gemäß Anlage III Tabelle 1 Spalte 7 /SSV 01/ eingehalten werden, da hier keine anschließende Überdeckung geplant war. Um die Entscheidung zur Freigabe zu fällen, war es notwendig, die Ergebnisse mehrerer Messverfahren miteinander zu kombinieren.

Diese Messverfahren lauteten wie folgt:

- Messungen des Aushubs während des gesamten Rückbaus mittels FMA
- Fluenzmessung mittels Oberflächenkontaminationsmonitor

¹⁵ Material, welches die Freigabewerte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 6 StrlSchV (alt) unterschreitet

- maximumorientierte Probenahmen in Kombination mit Fluenzmessungen
- In-situ-Gammaspektrometrie (ISG)

Das anfallende Erdreich wurde schon während der Durchführung der Aushubtätigkeiten mittels FMA und vorgelagertem Homogenisierungsverfahren bewertet und freigegeben. Auf Basis der Freigabefähigkeit dieses anfallenden Aushubs konnte zunächst eine grundsätzliche Freigabefähigkeit der entstandenen Baugruben und Flächen unterstellt werden. Die Bestätigung der Freigabefähigkeit der Baugruben und der Bodenflächen vor Ort erfolgte im Anschluss. Zunächst wurden die Zählraten der neu geschaffenen Oberflächen im Betriebshof mit Hilfe von überstreichenden Fluenzmessungen via Oberflächenkontaminationsmonitor erfasst. Dieser Schritt diente hauptsächlich dazu, evtl. Kontaminationsspitzen zu lokalisieren. Außerdem bildete er die wesentliche Grundlage zum Nachweis einer lateral homogen verteilten Aktivität für die anschließenden ISG-Messungen. Parallel dazu wurden Proben genommen und laboranalytisch ausgewertet.

Im Rahmen der Durchführung der ISG-Entscheidungsmessungen mit unkollimiertem Detektor wurden an der südlichen Grenze des Überwachungsbereiches für das Nuklid Cs-137+ auf einer Rasterfläche erhöhte spezifische Aktivität festgestellt. Die Freigabewerte gemäß Anlage III Tabelle 1 Spalte 7 StrlSchV (alt) wurden auf dieser Rasterfläche um ein 5-faches überschritten. Aus diesem Grund wurde die Rasterfläche zunächst verkleinert und erneute Messungen mittels kollimiertem Detektor und damit verkleinerter „Sichtfläche“ durchgeführt. Bei diesen Messungen wurde das Vorhandensein von Cs-137+ erneut bestätigt, aber die spezifische Aktivität war um ein Vielfaches geringer als bei der unkollimierten Messung. Zur Lokalisierung von evtl. Kontaminationsspitzen der Rasterfläche wurden anschließend orientierende Messungen mittels Oberflächenkontaminationsmonitor im Hangbereich (außerhalb des ÜB) durchgeführt. Diese zeigten einen leichten Anstieg der Nettoimpulsrate von ca. 5 Ips. Daraufhin wurden erneut zwei unkollimierte ISG-Messungen durchgeführt, die einen deutlichen Anstieg bei der Nettopeakfläche für Cs-137+ aufwiesen. Bei anschließender Suche mittels Dosisleistungs-sonde konnte der schlauchförmige Gegenstand zeitnah lokalisiert werden. Abb. 2.74 der Sichtbereich des kollimierten bzw. unkollimierten Detektors zu entnehmen. Abschließend wurden noch ca. 0,5 m³ Erdreich entnommen, welches vom Schlauch ausgetragene Kontamination beinhaltet. Die Einhaltung der Freigabewerte wurde abschließend mittels ISG nachgewiesen.

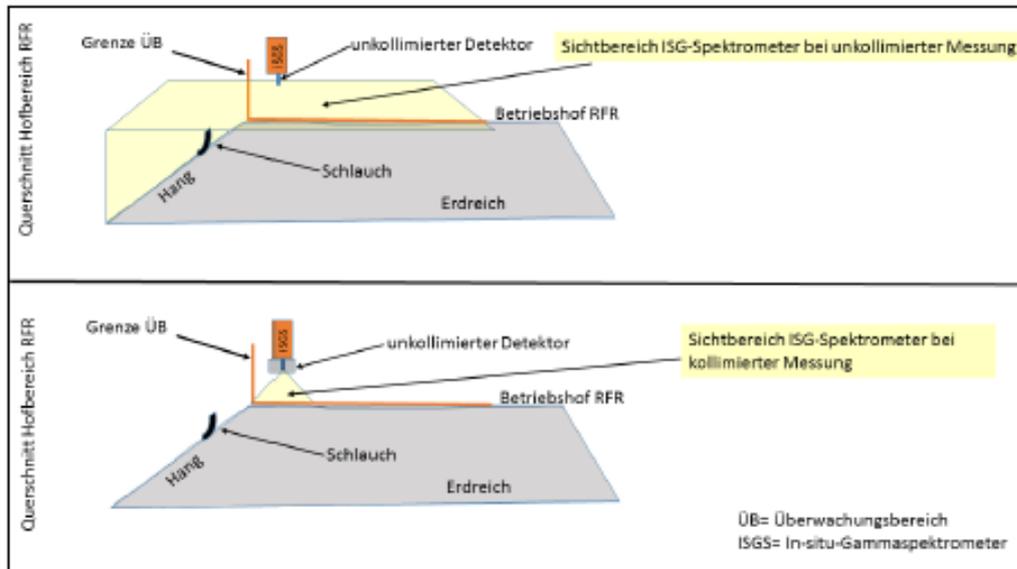


Abb. 2.74 Vergleich der Sichtbereiche des kollimierten/unkollimierten ISG-Spektrometers

Da es seit dem Sanierungsbeginn am FSR eine Reihe von Funden gab, hat der VKTA die Schlussfolgerung gezogen, den gesamten zentralen Bereich des FSR mit einem (freiwilligen) Messprogramm zu überziehen. Allerdings geschah dies nur auf den zugänglichen Flächen, sprich Hänge und Flächen mit starkem Bewuchs sowie noch in Nutzung befindliche Lagerbereiche blieben außen vor. Als dann der Rückbau jeweils entsprechend weit vorangeschritten war, haben wir auch die Umgebung der einzelnen Rückbaukomplexe gemessen. Anhand der Eigenschaften der erkannten Funde konnten wir jedoch keine Systematik zur Erkennung anderer unentdeckter Funde ableiten. Eher die Kenntnis der früheren Betriebsweise der Anlagen konnte Indizien liefern.

Anmerkung: Unabhängig davon erfolgten Untersuchungen zum Background von Cs-137+ und Sr-90+ am FSR und in Sachsen sowie Gegenüberstellung der Werte mit anderen sächsischen Werten. Dies war sehr hilfreich bei der Freigabe von Erdstoffen.

2.4.5.5 Im Freimessprogramm unberücksichtigte Rohrdurchführungen: nachträgliche Erstellung eines Verfahrensbeschreibung

Beim Rückbau des Rossendorfer Forschungsreaktors gab es durch Deckenanbauten verdeckte Rohrdurchführungen, die im Vorfeld nicht radiologisch erkundet werden konnten. Weiterhin konnten sie auch bautechnisch nur mangelhaft beschrieben werden, wes-

halb sie bei der Rückbauplanung keine Berücksichtigung fanden. Es musste daher während des Rückbaus eine Verfahrensweise etabliert werden, wie mit diesen Durchführungen umzugehen ist. Nach Freilegen wurden folgende Verfahrensinhalte zunächst intern und dann mit der Genehmigungsbehörde abgestimmt:

- Überbohren aller Öffnungen mit einer Nennweite < 10 mm und Messung des Bohrmaterials in der FMA
- Beprobieren aller anderen Rohrleitungen an beiden Enden, sofern zugänglich, und Ziehen von Rückschlüssen auf das Rohrinne. Die Beprobungen erfolgten mittels Wischtest, sofern die Beschaffenheit des Rohres dies zuließ (Zustand \rightarrow Rost; Historie), oder Kratzproben.
 - a) Ist die nicht festhaftende Kontamination kleiner der Nachweisgrenze des Messverfahrens entsprechend jeweiliger Fachanweisung, ist die Durchführung freigebbar.
 - b) Bei Kontaminationen zwischen Nachweisgrenze und Freigabewert ist durch Betrachtung der Betriebshistorie (Plausibilitätsprüfungen) bspw. durch Einsatz von rohrgängigen Sonden nachzuweisen, dass im weiteren Rohrverlauf keine höhere Kontamination vorhanden ist. Bei Einsatz von Sonden darf die Impulsrate über den Rohrverlauf keinen gegenüber den Rohrenden erhöhten Wert aufweisen. Die messtechnische Umsetzung wurde durch eine Fachanweisung untersetzt.
 - c) Ist weder a) noch b) gegeben oder die Rohrleitung nicht bewertbar, wird die Durchführung innen als kontaminiert betrachtet und dekontaminiert oder ausgebaut.
- Mit Bauschaum und Baumaterial verstopfte Rohrhülsen und andere Durchführungen wurden wieder geöffnet; weitere Verfahrensweise wie oben geschildert.

Einige wenige Durchführungen konnten durch die o. g. Verfahrensweise nicht bewertet oder bearbeitet werden. Da sie räumlich eng zusammenhängend lokalisiert waren, verblieben die Durchführungen zunächst verschlossen in Einbaulage. Sie wurden im Rahmen des Gebäudeabrisses vollständig ausgebaut. Sie bildeten bis dahin eine Freigabeinsel und einen entsprechenden Haltepunkt beim Gebäudeabriss.

2.4.6 Stilllegung Forschungsstandort Rossendorf und Leistungsreaktoren: Vergleich ausgewählter Aspekte

Der Textbeitrag in den folgenden Unterkapiteln wurde von TÜV NORD erstellt. Einige ausgewählte Aspekte entsprechend der Abstimmung zwischen GRS und TÜV NORD werden diskutiert. Dies betrifft zum einen den Vergleich zur Nutzung von Nuklidvektoren und deren Anzahl in einem Forschungsreaktor (wie oben beschrieben) zu Leistungsreaktoren. Zweitens hat VKTA in Kapitel 2.4.5. Beispiele zur Vorgehensweise bei der Lösung unerwarteter Probleme im Rahmen der Freigabe genannt. Diese werden in Relation zur Vorgehensweise in Leistungsreaktoren gebracht und daraus werden allgemeinere Schlussfolgerungen abgeleitet. Im Folgenden werden weiterhin Darstellungen zur Entsorgungslogistik und Strategie, zur Berücksichtigung von Freigabeaspekten bei der Rückbauplanung, zur Schaffung von Infrastruktur und Freigabemesstechnik sowie zu Dekontaminationstechniken in Relation zur Vorgehensweise bei Leistungsreaktoren gebracht.

2.4.6.1 Nuklidvektoren

Im Abschnitt 2.3.8.4 wird geschildert, dass im Lauf des Rückbaus des Forschungsstandorts Rossendorf insgesamt ca. 120 verschiedene Nuklidvektoren eingesetzt wurden. Die Anzahl der Nuklidvektoren war damit vergleichsweise hoch, was durch die vorliegende standortspezifische Betriebshistorie typisch für diesen Forschungsstandort bedingt ist. Darüber hinaus wurde mit weitgehend realitätsnahen Nuklidvektoren gearbeitet. Es kam dann vor, dass ein Nuklidvektor für einen einzelnen Raum oder eine rückzubauende Experimentiereinheit galt.

Für einen Forschungsstandort wie Rossendorf ist das Vorliegen einer Vielzahl auch qualitativ stark verschiedener Nuklidvektoren als typisch anzusehen, da hier u. U. in spezifischen Bereichen (v. a. Radionuklidlaboratorien) mit Nukliden umgegangen wird, die in Bezug auf die Freigabe bei Leistungsreaktoren keine wesentliche Rolle spielen (z. B. das Radionuklid Tc-99). Insofern ist die vergleichsweise große Anzahl von Nuklidvektoren in einem Forschungsstandort wesentlich durch diese Art der Betriebshistorie bedingt.

Grundsätzlich kann die Wahl von weniger konservativen realitätsnäheren Nuklidvektoren zu einer größeren Menge an freigegebenem Material führen, da in der Entscheidungsmessung weniger restriktiv vorgegangen werden kann (z. B., wenn ein realitätsnäherer Nuklidvektor einen geringeren Anteil an schwer messbaren Radionukliden enthält).

Demgegenüber steht der teilweise erhebliche Aufwand bei der Bestimmung von Nuklidvektoren, da unter anderem eine ausreichende Anzahl von Beprobungsergebnissen und auch aufwendige externe Analysen für nicht gammaspektrometrisch messbare Nuklide erforderlich sind. Gerade der letztere Punkt ist für Leistungsreaktoren abzuwägen, wo die nötige Analytik für z. B. Alphastrahler im Regelfall nicht zur Verfügung steht.

Die Erfahrungen in Leistungsreaktoren zeigen, dass sich hier die Nuklidvektoren qualitativ kaum unterscheiden und wesentlich durch die „typischen“ Nuklide Co-60 und Cs-137 mit unterschiedlichen Anteilen weiterer teilweise schwer messbarer Radionuklide wie Sr-90 oder Alpha-Strahler bestimmt werden. Gleichwohl führt die Variation der Anteile in verschiedenen Systemen (z. B. bei Phasenwechsel flüssig-gasförmig oder bei Temperaturdifferenzen) zu Variationen in den relativen Anteilen der Nuklide bis hin zur Dominanz einzelner Nuklide (z. B. ist der Anteil von Cs-137 in luftgetragener Kontamination oft deutlich höher). Es ist deshalb auch in Leistungsreaktoren nicht möglich, sich auf sehr wenige bis hin zu anlagenweit abdeckenden Nuklidvektoren zu beschränken. Bei der dann nötigen abdeckenden Bestimmung wird der Grad an Konservativität zu groß, was zu einer signifikanten Verringerung der Menge freigebarbarer Reststoffe führt.

Aufgrund des oben genannten Aufwands bei der Bestimmung von Nuklidvektoren hat es sich in der Praxis jedoch bis auf Sonderfälle nicht bewährt, in Leistungsreaktoren eine Vielzahl von Nuklidvektoren bis zu einer etwa raumweisen Definition festzulegen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn hierbei schwer messbare Nuklide zu berücksichtigen sind die ggf. durch gesonderte Analysen erfasst werden müssen. Dies ist zum einen aufwendig, zum anderen auch logistisch schwierig. Es ist zudem gängige Praxis, Reststoffe vor der Freigabe zu dekontaminieren. Dabei wird regelmäßig die Kontamination bis auf ein Niveau deutlich unterhalb der Freigabewerte reduziert, so dass sich der Vorteil einer Vielzahl von realitätsnäheren Nuklidvektoren relativiert, da die Freigabe dann auch bei Anwendung eines restriktiveren Nuklidvektors möglich ist.

In der Praxis hat es sich deshalb für Leistungsreaktoren bewährt, für radiologisch gleichartige Systeme oder Raumbereiche realitätsnähere Nuklidvektoren dann zu definieren, wenn dies auf einfache Weise möglich ist, d. h. vor allem durch eigene gammaspektrometrische Analysen. Dann wird das Verhältnis der leicht messbaren Radionuklide wie Co-60 und Cs-137 anhand von lokal gewonnenen Messergebnissen bestimmt und die schwer messbaren Radionuklide wie Sr-90 oder Alpha-Strahler werden über einen konservativeren Ansatz ermittelt (z. B. durch abdeckende Korrelationen zu Schlüsselnukliden).

2.4.6.2 Thema: Vorgehen bei unerwarteten Problemen

Im Abschnitt 2.4.5 sind Beispiele angeführt, wie in der Praxis mit unerwarteten Problemen bei der Freigabe bei dem FSR umgegangen wurde. Diese Beispiele sind:

- I. Freigabeinseln (Bereiche, in denen eine Freigabe aus baulichen oder zugangstechnischen Gründen erst während oder nach Abbruch der umliegenden Gebäudestrukturen durchführbar ist).
- II. Freigabe von vorab unbekanntem Fundamentteilen.
- III. Anwendung einer neuen Freigabestrategie (Abbruch innerhalb des Gebäudes), nachdem festgestellt wurde, dass die vorab festgelegte Freigabestrategie (Entfernung von Einbauten sowie Kernbohrungen über Durchführungen zur anschließenden Freigabe „Heißer Zellen“ an der stehenden Struktur) nicht durchführbar war.
- IV. Anpassung der Freigabekampagne nach unerwartetem Fund von Kontamination außerhalb des Überwachungsbereichs.
- V. Umgang mit Rohrdurchführungen, die in der Planung nicht berücksichtigt wurden (nachträgliche Etablierung eines Verfahrens).

Generell sind derartige Besonderheiten sehr eng mit den spezifischen Gegebenheiten und der Betriebshistorie eines Standorts verknüpft. Insofern sind die angewandten Vorgehensweisen im konkreten Detail nicht unbedingt auf andere Standorte übertragbar, unabhängig davon, ob es sich um einen Forschungsstandort oder einen Leistungsreaktor handelt. Die angesprochenen Problemstellungen sind allerdings übertragbar und in ähnlicher Weise auch bei Leistungsreaktoren aufgetreten.

A) Unbekannte Baustrukturen: Gerade in Bezug auf Rohrleitungen und Durchführungen gibt es bei älteren Kernkraftwerken bzw. kerntechnischen Anlagen häufiger Herausforderungen, die auf eine nicht ausreichend dokumentierte Bauausführung zurückzuführen sind. Dies sind Problemstellungen, die oftmals erst am Ende des Rückbaus im Rahmen der Gebäude- bzw. Geländefreigabe bedeutsam sind bzw. erkannt werden. Die Lösungsstrategie in verschiedenen uns bekannten Rückbauprojekten bestand oftmals darin, den tatsächlichen Zustand zu ermitteln und zu versuchen, derartige Strukturen möglichst frühzeitig zu identifizieren (z. B. durch sorgfältige Analyse vorhandener Pläne und sonstiger Unterlagen zur Betriebshistorie). Die tatsächliche technische Umsetzung der Freigabe erfolgte dann im Rahmen der schon etablierten Vorgehensweisen (z. B. im Rahmen der Gebäudefreigabe). Diese Umsetzungen waren vergleichbar zu den

technischen Maßnahmen wie in Beispiel V (s. o.). Das betrifft etwa Maßnahmen wie das Überbohren von Rohrdurchführungen oder die Freigabe in Einbaulage nach radiologischer Bewertung durch Beprobung.

B) Unerwarteter Fund von Kontamination außerhalb von Kontrollbereichen: Unerwartete Kontaminationsbefunde können auch bei Leistungsreaktoren auftreten, wo zumindest im Überwachungsbereich Kontaminationen festgestellt wurden. Teilweise war dies auf unbekannte Baustrukturen, insbesondere Rohrleitungen, zurückzuführen (vgl. Fragestellung A). In diesem Zusammenhang hat es sich als wichtig herausgestellt, entsprechende Untersuchungsprogramme zu etablieren und im Rahmen der Geländefreigabe Auffälligkeiten sorgfältig nachzugehen. Das oben angeführte Beispiel IV zeigt einen Umgang mit dieser Problemstellung, der auch bei Leistungsreaktoren anwendbar ist. Insbesondere ist hier die Betrachtung der Betriebshistorie wichtig. So sind beispielsweise Kontaminationsereignisse in Datenbanken erfasst und die regelmäßig durchgeführten Routinemessungen können im Hinblick auf Kontaminationsbefunde gesichtet werden. Die Betriebshistorien von Leistungsreaktoren sind aufgrund der sich aus dem atomrechtlichen Aufsichtsverfahren ergebenden Anforderungen (z. B. Meldewesen, Berichtspflichten etc.) gut erfasst.

C) Notwendigkeit der Anpassung einer vorab festgelegten Freigabestrategie: Im Rückbau von Leistungsreaktoren gibt es ebenfalls Beispiele, die eine Änderung der Freigabestrategie erforderlich machten. Beispielhaft sind dies Fälle, wo aus baustatischen oder radiologischen Gründen keine Entscheidungsmessungen an der stehenden Struktur möglich sind und nachträglich die Strategie der Gebäudefreigabe ähnlich wie in den Beispielen I und III des VKTA geändert werden musste. Aufgrund der großen Massenströme bedingt dies bei Leistungsreaktoren ggf. einen sehr hohen Aufwand für Planung und Umsetzung. Grundlegende Änderungen der Strategie wurden deshalb nur umgesetzt, wenn dies unvermeidlich war. Auf der Ebene einzelner Räume oder kleiner Raumbereiche sind jedoch auch bei Leistungsreaktoren abhängig vom Einzelfall oftmals Abweichungen vom geplanten Vorgehen nötig (z. B. Entfernen von Material aufgrund eingedrungener Kontamination, für das eine Freigabe an der stehenden Struktur nicht mehr möglich ist). Hierzu lässt sich auch festhalten, dass kleinere Abweichungen und „Überraschungen“ häufig sind und als Bestandteil des Standard-Freigabeprozesses gesehen werden. Insgesamt wird hier die Bedeutsamkeit einer frühzeitigen sorgfältigen radiologischen Charakterisierung und Planung deutlich.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Umgang mit unerwarteten Problemen in einem Leistungsreaktor nur in der technischen Umsetzung im Detail von den Erfahrungen an einem Forschungsstandort abweicht. Die Herausforderungen sind jedoch bei Leistungsreaktoren ähnlich zu den oben beschriebenen. Ein wichtiger Aspekt der Übertragbarkeit ist deshalb die Herangehensweise bei der Problemlösung, auch im Hinblick auf das Problembewusstsein und die frühzeitige Erkennung von Auffälligkeiten. Hierauf müssen insgesamt die Prozesse im Rückbau und der Freigabe ausgerichtet werden.

2.4.6.3 Entsorgungslogistik und Strategie

Inhalt der Frage war die Gestaltung der Entsorgungslogistik im Hinblick auf die Freigabe. Hierbei ging es um die Aspekte grundlegende Strategie, Einschränkungen aus logistischen Gründen, Öffentlichkeitsbeteiligung und Abklinglagerung.

VKTA misst diesen Fragestellungen insgesamt einen sehr großen Einfluss auf die freigegebenen Massen bei. Die grundlegende Strategie von VKTA war es, einen kontinuierlichen Rückbau mit stetigem Fortschritt durchzuführen, der aber die vorhandenen Ressourcen nicht überfordern sollte. Aus diesem Ansatz ergibt sich von vornherein ein erheblicher Einfluss auf die freigegebenen Massen, da zu unterstellen ist, dass bei technisch maximal möglichem Einsatz in kürzerer Zeit größere Reststoffmengen hätten freigegeben werden können. Dies demonstriert unserer Einschätzung nach, dass Rückbaugeschehen und freigegebene Massen gesamtheitlich zu sehen sind, wobei im Fall des VKTA der Gesamtaufwand projekt- bzw. standortspezifisch optimiert wurde.

VKTA weist darauf hin, dass es trotz derartiger Planung zwangsläufig zu unregelmäßigem Masseaufkommen im Ablauf einzelner Entsorgungsprojekte kommt und stellt dies ausführlich dar. Es ist ersichtlich, dass die genannten Maßnahmen einen Einfluss auf das Masseaufkommen der Freigabe haben, jedoch wurde dies von VKTA nicht konkreter dargestellt.

Die Reststofflogistik sei dabei so ausgelegt, dass möglichst wenig separate Wege für einzelne Reststoffgebände beschritten werden müssen. Es existierten Handlungsschemata, die dafür sorgten, dass möglichst viele Reststoffe bereits bei Anfall einem weiteren Weg zugeordnet werden konnten. Der VKTA versuchte dabei, aufwandsminimierend möglichst große Chargen direkt aus dem Rückbaubereich heraus freizugeben (d. h. nur mit einfacher Dekontamination, s. u.) und nur bei Bedarf über das Freimesszentrum. In diesem Zusammenhang erfolgte auch eine Pufferlagerung, die unserer Einschätzung

nach zur Verstetigung des freigegebenen Massestroms beitrug. Dies deckt sich mit Erfahrungen aus dem Rückbau von Leistungsreaktoren, bei denen die Schaffung und Nutzung von Pufferlagerkapazitäten essenziell für einen kontinuierlich laufenden Materialabfluss sind.

VKTA verweist auf den genutzten Weg „Erdstoffe zum Wiedereinbau“. Dabei werden Erdstoffe freigegeben und am Standort auf Halden für eine spätere Verwendung als Verfüllmaterial gelagert. Dies kann nach unserer Einschätzung eine effektive Maßnahme u. a. zur Aufwands- und Kostenminimierung darstellen. Diese Vorgehensweise ist aber nicht ohne weiteres auf andere Standorte übertragbar, bei denen im Regelfall keine so großen Mengen Bodenaushub anfallen und standortspezifische Besonderheiten zu berücksichtigen sind.

Einschränkungen beim Massendurchsatz der freigegebenen Stoffe aus logistischen Gründen ergaben sich nach Angaben des VKTA ausschließlich aufgrund externer Einflüsse. Vor allem versagten Entsorgungsbetriebe ggf. die Zusammenarbeit. Darüber hinaus wären immer wieder abfallrechtliche Details zu klären gewesen, die aber zu keinen nennenswerten Verzögerungen geführt hätten. Derartige externe Faktoren, v. a. die Verfügbarkeit von Entsorgern, stellen auch für alle anderen Rückbauprojekte wie Leistungsreaktoren eine Herausforderung dar und waren in der Vergangenheit teilweise stark limitierend für den Massendurchsatz. Dies führte dort beispielhaft zu der Notwendigkeit, dass am Rückbaustandort erhebliche zusätzliche Pufferlagerkapazitäten bereitgestellt werden mussten.

Im Hinblick auf die Öffentlichkeitsbeteiligung nennt der VKTA verschiedene Wege, auf denen die Öffentlichkeit fortlaufend über das Rückbaugeschehen informiert wurde (z. B. Presseveröffentlichungen, Tage der Offenen Tür, Beantwortung lokaler Anfragen etc.). Nach Einschätzung des VKTA nahm dieser Dialog vergleichsweise geringen Umfang ein. Aus der Öffentlichkeit in der Umgebung des VKTA gäbe es wenig destruirendes Vorgehen in Bezug auf Rückbau und Freigabe.

Nach Einschätzung des TÜV NORD ist dies auf die lokale Situation und die Historie des Standorts, der als Wissenschaftsstandort angesehen ist, zurückzuführen. Dies lässt sich nicht ohne Beachtung der lokalen Historie auf andere Standorte (v. a. Leistungsreaktoren) in anderen Bundesländern übertragen. Aufgrund der Erfahrungen in Schleswig-Holstein kann der Öffentlichkeitsarbeit eine höhere Bedeutung zugemessen werden: gleichwohl

wird unterstrichen, dass auch der aktive Dialog mit der Öffentlichkeit zu weniger Widerstand gegen einen Rückbau und der Freigabe führen kann.

Eine Abklinglagerung sei grundsätzlich vorgesehen, wobei hier von der eher kurzfristigen Puffer- bzw. Bereitstellungslagerung unterschieden wird. Eine derartige Unterscheidung zwischen der im Wesentlichen logistisch begründeten Puffer- bzw. Bereitstellungslagerung und der Abklinglagerung gibt es standardmäßig auch in Leistungsreaktoren, wobei hier in der Vergangenheit eine Abklinglagerung in den meisten Rückbauprojekten nicht in großem Maßstab genutzt wurde.

Eine Abklinglagerung würde vom VKTA durchgeführt, wenn in angemessenen Zeiträumen eine Freigabe zu erwarten sei. Dies richte sich aber nicht nur nach radiologischen Gesichtspunkten, sondern es würden fallweise weitere Aspekte berücksichtigt wie etwa das Platzangebot im zentralen Zwischenlager (ZLR) oder die Materialbeschaffenheit (etwa Feuchte oder Gärfähigkeit), die einen Einfluss auf die Lagerung haben. Der konkrete Zeitpunkt der Entsorgung bestimmt sich dann oftmals zusätzlich aus logistischen Anforderungen (z. B., weil es effektiver sei große Freigabechargen zusammenzustellen). Dieser Ansatz des VKTA ist unserer Einschätzung nach nicht unmittelbar auf den Rückbau von Leistungsreaktoren übertragbar, wo ein schneller Rückbau im Fokus steht, der eine Abklinglagerung maximal bis zum Ende des Rückbaus bzw. zur Entlassung des Standortes aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes erlaubt.

2.4.6.4 Berücksichtigung von Freigabeaspekten bei der Rückbauplanung

Es wurde die Fragestellung erörtert, ob bei der Planung des Rückbaus explizit Aspekte der Freigabe berücksichtigt wurden, die in die Abbaustrategie oder Abbaureihenfolge eingeflossen sind.

VKTA misst dieser Fragestellung einen großen Einfluss auf die freigegebenen Massen bei. Es wird dargestellt, dass der Strahlenschutz des VKTA frühzeitig in die Rückbauplanung eingebunden war. Nach Abschluss einer Grobplanung (der sogenannten Grundlagenermittlung) wurden Strahlenschutzmaßnahmen festgelegt, wobei zunächst vor allem Maßnahmen des betrieblichen Strahlenschutzes im Fokus standen.

Nach der Grundlagenermittlung wurde frühzeitig ein Freimessprogramm entwickelt, in dem die Kernpunkte der in den Rückbau eingebetteten Freigabe und ggf. Abweichungen von Standards des Freigabeverfahrens dargestellt wurden. Dabei wurden Aspekte wie

die Ausdehnung des Bereichs, die freizugebenden Reststoffe, Messverfahren und Freigabepfade festgelegt. Da die Klärung des Freigabeprozesses, auch im Detail, schon sehr frühzeitig startete, konnte schon frühzeitig auf Fragestellungen wie geeignete Mess- und Bewertungsverfahren eingegangen werden. Ggf. wurden dann auch neue Verfahren qualifiziert. Zudem wurden Freimessprogramme regelmäßig revidiert, wenn sich im Rückbauprozess neue Erkenntnisse ergaben. Nach Einschätzung der VKTA wurde damit den Erfordernissen der Freigabe und Freimessung in der Rückbauplanung zentrale Bedeutung beigemessen. Unserer Einschätzung nach ist hier neben der frühzeitigen Planung auch der Aspekt einer Weiterentwicklung und Optimierung hervorzuheben, der beispielhaft auch für andere Rückbauverfahren dienen kann.

2.4.6.5 Schaffung von Infrastruktur und Freimesstechnik

Hier war die Fragestellung zu beantworten, ob die Infrastruktur für den Rückbau zunächst geschaffen oder verändert werden musste. Einen Schwerpunkt dieser Fragestellung bildet die Freigabemesstechnik.

Der VKTA misst dieser Fragestellung einen sehr großen Einfluss auf die freigegebenen Massen bei. Es wurden die diversen, schon am Standort bestehenden Anlagen zur Sammlung und Behandlung radioaktiver Abfälle nach Möglichkeit weiter genutzt. Ein Teil der Infrastruktur wurde zentral bereitgestellt, z. B. zur Abfallbehandlung die Einrichtung zur Behandlung schwach radioaktiver Abfälle Rossendorf (ESR) und Anlagen zur Freimessung. Hierzu wurden zentrale Anlagen neu geschaffen (z. B. ESR, Freimesszentrum und Pufferlager), wobei oftmals vorhandene Gebäude umgebaut und erweitert wurden. Die Schaffung der zentralen Anlagen dauerte ca. 5 Jahre, die Anlagen wurden während des Rückbaus weiter angepasst und ertüchtigt.

Am Standort gab es verschiedene gleichzeitig stattfindende Rückbauprojekte, die auch dezentrale Änderungen erforderten. Als Beispiele dafür werden die Zementierung flüssiger mittelaktiver Abfälle und der Rückbau der Lagerbehälter für diese Abfälle genannt, für die wiederum selbst Gebäude errichtet oder umgebaut werden mussten. Umsetzungen und Anpassungen erfolgten projektbezogen.

In Leistungsreaktoren ist es ebenfalls der Regelfall, die Infrastruktur an die Rückbaubelange anzupassen und ggf. neue Infrastruktur zu schaffen (z. B. externe Lagerhallen oder Bearbeitungszentren). Reststoffbearbeitung und Freimessung erfolgen meist

zentralisiert. Hierfür werden oft Räume und Werkstätten im Kontrollbereich für diese Nutzung umgewidmet und mit der nötigen Infrastruktur versehen (z. B. mit Dekontaminationseinrichtungen). Dies hängt immer von den konkreten Randbedingungen, z. B. dem Platzangebot in der Anlage selbst oder am Kraftwerksstandort ab.

Beispielhaft ist das Maschinenhaus bei einem Siedewasserreaktor von vornherein Kontrollbereich und der Platz kann sinnvoll für z. B. Bearbeitungsanlagen genutzt werden. Bei Druckwasserreaktoren besteht diese Möglichkeit nicht ohne Weiteres. Der verfügbare Platz im Kontrollbereich ist dort deutlich geringer und das Maschinenhaus ist kein Bestandteil des Kontrollbereichs. Der Aufwand für die Umwidmung von Gebäuden außerhalb des Kontrollbereichs z. B. zur Bearbeitung von radioaktiven Reststoffen ist dann höher. Bei bisher nicht als Kontrollbereich eingestuft Gebäuden besteht außerdem das Risiko einer Kontamination der bislang kontaminationsfreien Gebäudestrukturen und Sekundärsysteme. Der von der VKTA genannte Zeitraum von 5 Jahren zur Umsetzung von Umwidmungen deckt sich mit Erfahrungen aus Kernkraftwerken.

Insofern kann als generelles Fazit dieses Punkts aufgeführt werden, dass die Schaffung der nötigen Infrastruktur eine Grundvoraussetzung für den Rückbau und damit letztlich die freigegebene Masse ist, dass jedoch die konkrete Umsetzung an die speziellen Eigenschaften der Anlage und des Standorts gebunden ist.

Im Hinblick auf die Freimesstechnik wurden schwerpunktmäßig die Verfahren der Gesamt-Gamma-Messung mit Freimessanlagen (FMA), in-situ-Gammaspektrometrie, Messungen mit Oberflächenkontaminationsmonitoren sowie Probenahmen mit anschließender Laboranalytik eingesetzt.

Die genannten Messtechniken werden in ähnlicher Weise auch in Leistungsreaktoren eingesetzt. Auch dort ist vor allem die Erfahrung zu nennen, dass Freimessanlagen große Massen zeit- und kosteneffizient bewerten können und deshalb umfangreich, z. T. mehrere FMA parallel, eingesetzt werden.

VKTA nutzt eine im Vergleich zu Leistungsreaktoren große Anzahl von in-situ-Gammaspektrometern (zwölf). Diese dienen zur Bewertung von speziellen Objekten, die nicht in einer FMA gemessen werden können oder sich in der kerntechnischen Anlage befinden und vor Ort in Einbaulage gemessen werden (z. B. Gebäude- und Geländeflächen). Bei Leistungsreaktoren wird diese Messtechnik teilweise extern eingekauft und schwerpunktmäßig zur Gebäude- und Geländefreigabe eingesetzt.

Eine Besonderheit stellt die umfangreiche Probenanalytik am Standort Rossendorf dar. Der Umfang der vorhandenen Möglichkeiten der Probenanalytik geht weit über die in Leistungsreaktoren üblicherweise vorhandene Technik hinaus. Dort sind meist lediglich die gammaspektrometrische Probenauswertung und ggf. Flüssigszintillationsmessungen etabliert. Aufwendigere Analytik (etwa Alphaspektrometrie) wird an externe Labore vergeben. Aufgrund der damit verbundenen Kosten ist im Regelfall die Zahl solcher Analysen auf Sonderfälle beschränkt und erfordert eine sorgfältige Probenauswahl. Die Verfügbarkeit umfangreicher Analytik am Standort Rossendorf ist hier als klar vorteilhaft zu bewerten. Andererseits ist anzumerken, dass das umfangreichere Nuklidspektrum am Forschungsstandort Rossendorf auch eine umfangreiche Analytik verschiedenster Radionuklide erfordert, die in Leistungsreaktoren für die Freigabe nur eine untergeordnete Rolle spielen (z. B. Cl-36). Bei Leistungsreaktoren ist deshalb eine Kosten-Nutzen Abwägung sinnvoll.

Der VKTA geht weiterhin auf die Problematik ein, dass die freizugebenden Reststoffe gehandhabt und gelagert werden müssen. Hierfür sind Behälter anzuschaffen und es ist Platz für die (Puffer-)Lagerung vorzuhalten. Dies ist eine analoge Erfahrung in Leistungsreaktoren, wo oftmals der verfügbare Platz zusätzlich limitierend ist (z. B. aufgrund geringer verfügbarer Flächen auf dem Anlagengelände für eine Lagerung größerer Reststoffmengen).

Aufgrund der speziellen Eigenschaften des Standortes mit vielen separaten Gebäuden und Einrichtungen hat der VKTA die Freimessung in einem sogenannten Freimesszentrum zentralisiert, wofür ein vorhandenes Gebäude umgebaut und ein Pufferlager auf einer Brachfläche eingerichtet wurde. Die Vielzahl der separaten Gebäude ist eine Eigenheit des Standortes Rossendorf, gleichwohl werden auch in Leistungsreaktoren abhängig von den spezifischen Randbedingungen Pufferlagerflächen und Freimesseinrichtungen in separaten Gebäuden genutzt. Die Nutzung zentralisierter und möglichst kontinuierlich betriebener Einrichtungen am jeweiligen Standort ist damit eine universelle Erfahrung, die für den Massendurchsatz in der Freigabe essenziell ist.

2.4.6.6 Dekontaminationstechniken

Es wurde allgemein nach den eingesetzten Dekontaminationstechniken, Geräten, dekontaminierten Materialmengen, Dekontaminationszielen und vor allem Erfahrungen mit eingesetzten Dekontaminationstechniken gefragt. Der VKTA misst den Aspekt Dekontaminationstechniken und den dekontaminierten Materialmengen wenig Einfluss auf den

Massenfluss bei der Freigabe bei. Andererseits wurden einfache Dekontaminationsmaßnahmen (Abwischen, Absaugen) standardmäßig für alle Reststoffe nahe dem Abbauort durchgeführt und es wurde grundsätzlich die Dekontamination aller radioaktiven Reststoffe angestrebt.

Sofern eine einfache Dekontamination nicht erfolgreich war, wurde über weitere Maßnahmen nach Effizienzgesichtspunkten entschieden, wobei meist der Dekontamination der Vorrang eingeräumt wurde. Hierbei wurde als Ziel die uneingeschränkte Freigabe angestrebt, da dies zeitnah Entsorgungen ermöglicht, während Freigabepfade für die spezifische Freigabe teilweise schwierig verfügbar waren. Dieser Aspekt ist eine generelle Erfahrung auch bei Leistungsreaktoren. Für die weitere Dekontamination wurden teilweise vor Ort weitere Verfahren genutzt (Wasserdruckstrahlen, wenn möglich, mechanischer Abtrag, Nageln). Reststoffe, die vor Ort nicht dekontaminiert wurden (oder dekontaminiert werden konnten), wurden zentral in der ESR dekontaminiert. In Abschnitt 2.3.8.6 wurde diesbezüglich eine Masse von weniger als 1.000 t angegeben, die von 1999 bis heute in der ESR behandelt, aber nicht notwendigerweise dekontaminiert wurden.

Der prinzipielle Ablauf und das Vorgehen zur Dekontamination ist vergleichbar zu Leistungsreaktoren, wo ebenfalls im Regelfall auf Anlagenmaßstab zentralisierte Behandlungseinrichtungen (z. B. Strahlanlagen) die einfachen Dekontaminationsmaßnahmen vor Ort ergänzen. Im Vergleich zu Leistungsreaktoren ist die zentral mit aufwendigeren Verfahren behandelte Reststoffmenge am Standort Rossendorf aber eher gering. Der VKTA nennt einen umfangreichen Katalog von Methoden, die für Dekontamination genutzt wurden (siehe Kapitel 2.3.8.6).

Diese Verfahren werden im Regelfall auch bei Leistungsreaktoren im laufenden Rückbau eingesetzt. Dort wird jedoch meist der Aufwand für die chemische Dekontamination (speziell dem Einsatz von Dekontbädern mit Säuren oder Basen) als zu hoch eingeschätzt und es wird Verfahren wie Abrasivstrahlen Vorrang eingeräumt. Als Spezialfall einer chemischen Dekontamination wäre lediglich die in vielen Leistungsreaktoren durchgeführte Systemdekontamination (FSD – Full System Decontamination) zu nennen. Diese wird einmalig vor Abbau der aktivitätsführenden Systeme durchgeführt. Das Ziel einer FSD ist vor allem die Reduzierung des Aktivitätsinventars zur Verbesserung des radiologischen Arbeitsschutzes. Dies führt jedoch unserer Einschätzung nach auch zu einer Erhöhung der freigegebenen Masse.

Nach Angabe des VKTA wurden lediglich Abwischen und Absaugen standardmäßig eingesetzt. Ebenso wurde Druckstrahlen standardmäßig angewandt, sofern die zu dekontaminierenden Teile geeignet waren. Alle anderen Verfahren wurden konkret an das Rückbauobjekt angepasst, der Dekontaminationserfolg wurde messtechnisch kontrolliert und danach über ggf. weitere Dekontaminationsmaßnahmen entschieden. In Leistungsreaktoren erfolgt dagegen im Gegensatz dazu oftmals eine standardisierte Dekontamination, die auf größere Massendurchsätze ausgelegt ist (z. B. der Einsatz von Muldenbandstrahlanlagen oder das standardmäßige Entschichten bzw. Entlacken von Metallen, um Beta-Direktmessungen durchführen zu können).

VKTA verweist auf die guten Erfahrungen mit trockenem Druckstrahlen bei metallischen Teilen, die teilweise sehr gute Dekontaminationserfolge erbrachte. In Leistungsreaktoren kann das trockene Abrasivstrahlen vergleichbar als Standard angesehen werden.

2.4.7 Einflüsse auf den Massenstrom der Freigabe

In diesem Kapitel werden die über den Fragenkatalog und/oder Gesprächen ermittelten Informationen bzgl. der Einflüsse auf den Massenstrom der Freigabe zusammengefasst.

VKTA: Rückbau FSR

Hoher bis sehr hohen Einfluss auf den Massenstrom haben aus Sicht der VKTA folgende Aspekte:

- Entsorgungslogistik und Infrastruktur (Pufferlager für Erdmassen, Leichtbauten; keine Einschränkungen aus logistischen Gründen)
- Einzelfallnachweise
- Planung und Realisierung Rückbaureihenfolge
- Nuklidvektoren/Hochrechnungsfaktoren/Korrelationsfaktoren, bzw. radiologische Charakterisierung

Geringen oder keinen Einfluss haben:

- Änderung von Regelwerken oder Gesetzgebung
- Probleme hinsichtlich der verwendeten Kalibrierung/Nachweisempfindlichkeit

- Eingesetzte Dekontaminationstechniken
- Wissensmanagement, Kommunikation mit der Öffentlichkeit, interner Erfahrungsrückfluss
- Herausgabe (wurde nicht eingesetzt)
- Schichtbetrieb
- Freigabe von Metallen

Betreiber PreussenElektra (bzgl. KKW/KKS)

Die unten genannten Punkte und kurze Informationen zu den jeweiligen Punkten wurden von einem Mitarbeiter von PEL PreussenElektra GmbH per E-Mail genannt /ALT 22/. Weiterer (erläuternder) Text wurde von GRS hinzugefügt.

Hohen bis sehr hohen Einfluss auf den Massenstrom der Freigabe (nur diese wurden genannt) haben folgende Punkte (im Fettdruck sind davon jene Punkte, die in der Liste die größte Bedeutung haben):

- **Regelwerk:** Das nationale Regelwerk für die Entsorgung von radioaktiven Reststoffen (und radioaktivem Abfall) in Deutschland ist sehr umfangreich. Es besteht entsprechend der „Regelwerkspyramide“ aus den Gesetzen (Atomgesetz (AtG), Strahlenschutzgesetz (StrlSchG), Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)), Entsorgungsübergangsgesetz (EntsorgÜG) und untergesetzlichem Regelwerk, wie den Verordnungen (Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und Atomrechtliche Entsorgungsverordnung (AtEV)), Standards und Leitfäden sowie standortspezifische Vorschriften, wie Handbücher, Verfahrensvorschriften, Empfehlungen von Beratungsgremien und technischen Spezifikationen. Die regelmäßigen Veränderungen der Regelwerke und Zuständigkeiten besitzen einen großen Einfluss auf die Entsorgung der radioaktiven Reststoffe. Während der Rückbauprojekte KWW und KKS hat sich das Regelwerk bereits mehrfach geändert, was entsprechende große Folgen auf den Massenstrom der Freigabe hatte. Weitere Erläuterungen zu dieser Thematik finden sich in den Erläuterungen zum Fragenkatalog (Abschnitt 2.3.3).
- **Endlagerkonzept:** In einigen Ländern existieren oberflächennahe Endlager für schwach radioaktive Abfälle. Diese gibt es in Deutschland nicht, was sich auf die verfügbare Kapazität und die Kosten der Entsorgung bzw. auf die dadurch nötige

Behandlung von radioaktiven Abfällen auswirkt. Im Bereich der Endlager-Konzeption gab es in den vergangenen 25 Jahren viele Veränderungen, die sich auf den Massenstrom der freizugebenden Massen auswirkten. Unter anderem wird hierdurch die Bedeutung der Behandlung von radioaktiven Reststoffen zur Minimierung des radioaktiven Abfalls deutlich.

- **Verfügbarkeit der Entsorgungswege außerhalb der uneingeschränkten Freigabe:** bspw. ist die Annahmefähigkeit der Deponien erfahrungsgemäß lokal sehr unterschiedlich und dadurch schwer zu kalkulieren. Dies erschwert die Planung des Rückbauvorhabens und kann zu Verzögerungen im Ablauf führen. Wie in Kapitel 2.3.3. festgestellt, können sich Freigabestrategien ändern, wenn ein Entsorgungsweg in absehbarer Zeit nicht zur Verfügung steht.
- **Verfügbare Behandlungs- und Freigabeoptionen außerhalb der Anlage:** Die externe Behandlung radioaktiver Reststoffe, um die Freigabefähigkeit zu erreichen ist gängige Praxis. Die Verfügbarkeit und die Annahmebedingungen von externen Dienstleistern haben sich innerhalb der letzten Jahre verändert.
- **Gesamtrückbaustrategie:** Die Strategie hat sich zwischen dem Rückbauprojekt von KWW und von KKS sowie im Vergleich zu der heutigen Strategie deutlich verändert. Der Massenstrom der freizugebenden Massen hängt entscheidend von der Gesamtrückbaustrategie ab (von außen nach innen/heiß nach kalt). Früher waren mehrstufige Abbauphasen (4 bis 5) üblich, wohingegen heute weniger Genehmigungs- und Abbauphasen bevorzugt werden. Diese Planung wirkt sich auf den zeitlichen Ablauf des Rückbaus aus. Die Anzahl der Abbauphasen hängt auch mit dem Genehmigungsverfahren zusammen, so kann die Erteilung einer Teilgenehmigung in kürzerer Zeit erfolgen
- **Umgang mit bestimmten Einzelkomponenten:** Der Umgang mit bestimmten Einzelkomponenten (z. B. Dampferzeuger) ist stark abhängig von der Konzeption des Endlagers, von der Verfügbarkeit der sonstigen Entsorgungswege außerhalb der uneingeschränkten Freigabe, den verfügbaren Behandlungs- und Freigabeoptionen außerhalb der Anlage sowie der Gesamtrückbaustrategie.
- **Radiologische Ausgangssituation:** Die radiologische Ausgangssituation hat einen großen Einfluss auf den Massenstrom der freizugebenden Massen. Festzustellen ist, dass die Ausgangssituation zwischen KWW und KKS nicht miteinander vergleichbar ist (allein schon wegen unterschiedlicher Reaktortypen). Allgemein ist die radiologische Ausgangssituation abhängig von vielen Faktoren (u. a. Betriebshistorie), wie vom Umfang der Aktivierung, Kontaminationshöhe und deren

Verteilung. Die Aktivierung der Komponenten hängt dabei vom Ausgangsmaterial aber auch vom Reaktortyp und dessen Laufzeit ab.

Ein wichtiger Faktor sind zudem die vorhandenen Nuklide und ihre Messbarkeit, wie in Kapitel 2.3.3 beschrieben.

Auch ob eine Systemdekontamination durchgeführt wurde oder nicht hat Auswirkungen auf das weitere Vorgehen (siehe Kapitel 2.3.3).

- Technologische Auslegung der verfügbaren Behandlungseinrichtungen im Rückbauprojekt: Die technologische Auslegung und Kapazität der verfügbaren Behandlungseinrichtungen sind wichtige Einflussfaktoren auf den Massenstrom der freizugebenden Massen. Die Kapazitäten variieren stark je nach Behandlungsart (z. B. Stahlkiesstrahlen vs. Chemische Dekontamination), siehe auch Abschnitt 2.3.3.
- Komponentengeometrie: Die Komponentengeometrie wirkt sich deutlich auf die Durchführung und Effektivität der Dekontamination sowie Messbarkeit der Aktivität der jeweiligen Komponenten aus. Die Geometrie kann damit einen hohen Prozessaufwand erzeugen. Die gleichen Komponenten können je nach Ausführung oder Reaktortyp (DWR oder SWR) an unterschiedlichen Bereichen kontaminiert sein (z. B. kann der Wärmetauscher innen und außen, nur rohrrseitig oder nur innen kontaminiert sein). Die Geometrie der Komponenten bestimmt aber auch wie einfach diese zu messen und zu behandeln sind. Bei bestimmten Komponentengeometrien ist die Messung der Aktivität und die Dekontamination im unzerlegten Zustand aufgrund von schlechter Erreichbarkeit (z. B. die innenliegenden Bereiche) erschwert. Geometrisch komplexe Bauteile müssen daher teilweise weiter zerlegt werden, um die vollständige Messbarkeit und Dekontamination zu gewährleisten. Jeder zusätzliche Prozessschritt, der durchgeführt wird, bedeutet aber eine potenzielle Strahlenexposition des Personals.
- Schadstoffsituation: Auch die Schadstoffsituation, z. B. durch Asbest- oder PCB-haltige Materialien kann den Massenstrom der freizugebenden Massen im Rückbauprojekt beeinflussen. Zwischen KWW und KKS gab es eine signifikant unterschiedliche Situation bzw. unterschiedliche Lösungsansätze. Das Vorhandensein von Schadstoffen bedingt den Entsorgungspfad, und Aspekte der Arbeitssicherheit und eine evtl. zeitlich aufwendige Schadstoffsanierung.

Betreiber EWN (bzgl. KGR)

- Relativ großer Einfluss auf den Massenstrom: Überreglementierung, „zu viel Papier“, dennoch gibt es Lücken.

- Nach der Wende Mitarbeiterzahl von 12.000 auf 1.000 reduziert, und lange keine neuern Mitarbeiter erhalten. Heute besteht das Problem, dass viele junge Mitarbeiter von wenigen älteren eingearbeitet werden. Nach zwei Jahren können MA erst selbständig arbeiten. Genügend (geeignetes) Personal zur Verfügung zu haben wird als Hauptproblem gesehen.
- In der Vergangenheit gab es bereits einen „Stau in Sachen Logistik“, bei Änderung der StrISchV 2004. Doch noch nicht in dem Ausmaß wie heute. Aufgrund nicht eingehaltener Verfahrensregelungen zur Freigabe (vorrangig die Dokumentation und den Abtransport freizugebender Stoffe betreffend) sind die Freigabe und der Abtransport ab 2018 zum Erliegen gekommen. Nach Klärung und Fehlerbehebung kann sich hierdurch zukünftig ein Anstieg im freigegebenen Massenstrom ergeben, der nicht dem zeitlichen Anfall der Abbaumassen folgt.
- Keine Probleme bei der Charakterisierung, die die Freigabe verzögerten
- Es gab Brennelementschäden, die hohen Einfluss auf Massenstrom der Freigabe hatte
- Als Freigabemesstechnik werden kommerzielle Geräte eingesetzt. Der Umfang der verfügbaren Messtechnik stellt keinen Engpass dar.
- Die Festlegungen, dass Stoffe, die zur Beseitigung auf Deponien freigegeben werden, kein Metall enthalten dürfen, kann zu zusätzlichem Klärungsbedarf, zu Verzögerungen oder einem kompletten Ausschluss von Entsorgungsmöglichkeiten führen.

In /PHI 20/ wird beschrieben, welche wesentlichen Herausforderungen sich beim Rückbau und der Entsorgung von nuklearen Anlagen (bzgl. KGR) ergeben. Folgende Punkte werden hierbei genannt (die sich mit den o. g. Punkten teilweise decken):

Als Erstes ist hier das **Personal** zu nennen. Die Fachkunde für den Betrieb einer nuklearen Anlage muss über lange Zeiträume erhalten bleiben. Die Nutzung der Anlagenkenntnisse des Betriebspersonals ist für die Genehmigungserstellung sowie für die nachfolgenden Demontgearbeiten wichtig. Vom Betreiber zum Rückbauer, dieser Schritt muss zu Beginn vom Betriebspersonal gemacht werden. Später ist es unabdingbar, die Motivation des Personals zu erhalten und gleichzeitig Nachwuchskräften Perspektiven aufzuzeigen, da der gesamte Rückbau sich über einen langen Zeitraum erstreckt.

Der Aufbau eines für die Projekte angepassten **Projektmanagementsystems** inklusive einer Gesamtprojektstruktur ist essenziell. Für Einzelprojekte sind entsprechende Rahmenbedingungen zu schaffen. Die Projektorganisation muss sich entsprechend dem Stand des Rückbaus verändern bzw. anpassen lassen.

Die **logistischen Herausforderungen** beim Rückbau einer Anlage sind groß und bei der Größe der hier thematisierten Anlagen entsprechend umso größer. Hier gilt es, rechtzeitig ausreichende Zwischenlagerkapazitäten zu schaffen. Ähnliches gilt für die Schaffung bzw. Organisation von entsprechenden Bearbeitungskapazitäten, entweder in der Anlage, außerhalb oder bei externen Dienstleistern. Es sollte ein betriebliches Reststoff- und Abfallverfolgungssystem etabliert werden.

Technische Herausforderungen bestehen u. a. in der rechtzeitigen **Anpassung von Betriebssystemen**, die für den Rückbau der Anlage oft zu groß dimensioniert sind. Dies sind z. B. die Lüftungsanlagen, die Wasseraufbereitung oder die Energieversorgung. Für die Anpassung der Systeme gilt es, den richtigen Zeitpunkt für die Änderung bzw. den Neubau zu finden. Die entsprechenden Ausschreibungen sind detailliert vorzubereiten, da es nur eine begrenzte Anzahl von Anbietern in der kerntechnischen Branche gibt.

Im Rückbau wird hauptsächlich **konventionell bewährte Technik** genutzt, deren Einsatz an die Anwendung in den Räumen des KKW und unter Strahlenbedingungen angepasst wird. Es gibt aber durchaus technische Herausforderungen beim Rückbau, so dass Ingenieure und Techniker hier bei Neu- und Weiterentwicklungen von z. B. Zerlege- und Dekontaminationstechnik gefordert sind.

Die **Rückbaustrategie** wird im Allgemeinen zu Beginn abgesteckt. Erfahrungen zeigen, dass das Unternehmen bereit sein muss, diese stets zu hinterfragen und Änderungen zuzulassen.

2.5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die wesentlichen Einflussfaktoren auf den Massenstrom geringfügig radioaktiver Stoffe zur Freigabe beim Rückbau von kerntechnischen Einrichtungen untersucht.

Begonnen wurde mit der Identifizierung und Beschreibung der sich im Rückbau befindlichen bzw. bereits zurückgebauten Leistungsreaktoren in Deutschland. Es wurden verschiedene Betreiber von Kernkraftwerken (KKW) für die Untersuchungen kontaktiert und um Unterstützung gebeten. Eine Zusammenarbeit mit insgesamt zwei Betreibern fand entsprechend statt; zusätzlich konnten einige Informationen vom einem dritten Betreiber genutzt werden. Ergänzend wurden ein sich im Rückbau befindendes radiochemisches Labor („*small facility*“) sowie der Forschungsstandort Rossendorf in die Untersuchung einbezogen.

Aus den bisher vorliegenden Daten zu den Massenströmen bei der Stilllegung von Leistungsreaktoren wurden aus den gemittelten Angaben zu Kontroll-, Überwachungs- und Sonstiger Bereich die Massen für einen repräsentativen DWR und einen SWR bestimmt. Die Angaben dienten als Vergleichsmaßstab zu den Masse-Zeit-Diagrammen im Kapitel 2.4.

Für die Datenakquise von Leistungsreaktoren wurde ein Fragenkatalog erstellt, welcher in sechs Kapitel gegliedert ist. Betrachtet wurde die Planung des Rückbauvorhabens mit der zeitlichen Abfolge seit Abschaltung des Kernkraftwerks und dem Genehmigungsverfahren zur Stilllegung und Abbau inkl. Änderungen kerntechnischer Regelwerke in Hinblick auf das Freigabeverfahren. Auch wurden die durchgeführten Prozesse im Rückbauprojekt, unter anderem die Zerlegeverfahren, die Dekontaminationstechniken, die Sortierung und die Pufferlagerung betrachtet. Im Fragenkatalog wird auch auf die radiologische Messtechnik bei der radiologischen Charakterisierung, die Vorgehensweisen zur Ermittlung des Nuklidvektors sowie die Orientierungs- und Entscheidungsmessungen in der Stilllegung eingegangen. Mithilfe des Fragekatalogs wurden am Beispiel von drei ausgewählten Leistungsreaktoren (ein SWR, zwei DWR) die relevanten Informationen zusammengestellt, um den Einfluss auf den Massestrom qualitativ bzw. zumindest halbquantitativ zu erfassen. Für die Erfassung der Daten des Forschungsstandorts Rossendorf wurde ein Fragenkatalog in leicht abgewandelter Form ausgearbeitet. Die Fragenkataloge wurden teilweise von den im Vorhaben involvierten Betreibern, teilweise mit Hilfe von Literaturrecherchen beantwortet (soweit möglich).

Die mithilfe der Fragebögen ermittelten Daten wurden im nächsten Schritt gegenübergestellt und diese untereinander und mit denen des Referenzkonzeptes verglichen. Es wurden Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei der Herangehensweise der kern-technischen Anlagen herausgearbeitet und standortabhängige und -unabhängige Ein-

flussgrößen ermittelt. Für die Untersuchung, welche relativen Änderungen der anfallenden Massen auftreten, wenn sich ein Einflussfaktor ändert, wurden Masse-Zeit-Diagramme erstellt.

Aus dem Masse-Zeit-Diagramm des KGR für die uneingeschränkte Freigabe von Beton sind drei Maxima zu erkennen. Diese können zu mindestens 95 % vier Abbauprojekten zugeschrieben werden. Die großen Betonmassen wurden nicht kontinuierlich über mehrere Jahre, sondern vermehrt in einem Jahr entsorgt. Die Entscheidungsmessungen in den großen Abbauprojekten fanden vollflächig mit Kontaminationsmonitoren oder In-situ-Gammaspektrometrie statt, wobei hier keine Bevorzugung einer der Messmethoden identifiziert werden kann. Für kleine Abbauprojekte wurde die Freimessanlage bevorzugt. Die gammaspektrometrische Auswertung von Materialproben wurde in allen Kampagnen begleitend zu den vollflächigen Messungen durchgeführt. Es konnte kein Einfluss der angewendeten Nuklidvektors auf die Massenströme von freigegebenem Beton festgestellt werden. In dem Masse-Zeit-Diagramm für die uneingeschränkte Freigabe von Metallschrott sind mehrere Spitzen zu erkennen, denen jedoch kein besonderer Grund zugesprochen werden kann. Die zweckgerichtete Freigabe zur Verbrennung spielt eine untergeordnete Rolle, da vergleichsweise geringe Massen zur Verbrennung gebracht werden. Der zeitliche Verlauf der Massen zeigt wenige Spitzen, da zunächst eine gewisse Menge an Material gesammelt wird, bevor diese zur Beseitigungsanlage gebracht werden. Die zweckgerichtete Freigabe zur Deponierung zeigt starke Spitzen. Diese sind abbaubedingt aus großen Sanierungsmaßnahmen im Gelände, bspw. Beton oder Erdreich/Aushub zurückzuführen, die zeitnah nach dem Anfall freigegeben und entsorgt wurden. Als einer der Haupteinflüsse auf den Massenstrom der Freigabe beim KGR ist das Vorhabensein von adäquatem Personal zu nennen.

Bei dem Rückbau vom Forschungsstandort Rossendorf (FSR) ist der Massenfall von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Grund hierfür ist einerseits, dass der Rückbau des FSR in einer Vielzahl an Einzelprojekten parallel ablief und diese Einzelprojekte nur wenig gemeinsame Einflussfaktoren aufweisen und andererseits die sehr breit gefächerte Nuklidzusammensetzung. Dennoch kann festgestellt werden, dass deutliche Unterschiede zum Rückbau von Leistungsreaktoren bestehen, bspw. aufgrund des deutlich größeren Massenfalls.

Bei Forschungs- und Leistungsreaktoren können teilweise vergleichbare unerwartete Probleme auftauchen. Auch wenn die Lösung dieser im Einzelfall unterschiedlich sein

kann und der Umgang mit den Problemen im Detail zwischen Forschungs- und Leistungsreaktor variieren kann, ist die Herangehensweise bei der Problemlösung mit Blick auf das Problembewusstsein und die frühzeitige Erkennung von Auffälligkeiten übertragbar. Sowohl bei Forschungs- als auch bei Leistungsreaktoren kam es vor, dass eine neue Freigabestrategie entwickelt werden musste. Gründe hierfür waren bspw. die Feststellung beim Abbau, dass die vorab gewählte Freigabestrategie so nicht durchführbar war oder das Auftreten von Freigabeinseln, d. h. Bereiche, für die eine Freigabe aus baulichen oder zugangstechnischen Gründen erst während bzw. nach dem Abbruch der umliegenden Gebäudestrukturen durchführbar ist. Bei Änderung der Freigabestrategien bei Forschungsreaktoren waren die parallel ablaufenden Rückbauprojekte potenziell problematisch, die eine Begrenzung der Kapazitäten hinsichtlich des Freigabe- und Entsorgungspfades hervorrufen können. Durch Koordination und Absprache zwischen den einzelnen Rückbauprojekten konnte auf dieses mögliche Problem reagiert werden. Bei Leistungsreaktoren ist die nachträgliche Änderung der Strategie der Gebäudefreigabe aufgrund der hohen Massenströme mit einem sehr großen Aufwand verbunden, weshalb vergleichbare Optionen wie beim Forschungsreaktor nur selten umgesetzt werden. Bei kleineren Abweichungen oder kleineren Raumbereichen, die betroffen sind, ist eine Abweichung der geplanten Strategie jedoch möglich. Dies zeigt, dass der frühzeitigen und sorgfältigen Charakterisierung und Planung eine sehr hohe Bedeutung zugeschrieben werden kann. Unerwartete Funde von Kontamination außerhalb von Kontrollbereichen können sowohl bei Forschungs- als auch bei Leistungsreaktoren vorkommen. Auch wenn diese Probleme im Detail unterschiedlich auftreten, ist der Lösungsansatz sehr ähnlich, wie eine umfassende Messung und den Auffälligkeiten entsprechend nachzugehen. Teilweise lückenhafte Dokumentation des Gebäudebestands führte bei dem Forschungsreaktor zu Funden von unbekanntem Fundamentteilen, für die eine Lösung für die Freigabe gefunden werden musste. Bei Funden von unbekanntem Rohrdurchführungen in Forschungsreaktoren musste nachträglich ein Verfahren etabliert und mit der Genehmigungsbehörde abgestimmt werden. Auch bei Leistungsreaktoren, vor allem bei älteren Anlagen, gibt es in Bezug auf Rohrleitungen und Durchführungen häufiger Herausforderungen, die auf eine nicht ausreichend dokumentierte Bauausführung zurückzuführen sind. Die Lösungsstrategie war oftmals die frühzeitige Identifizierung derartiger Strukturen. Die technische Umsetzung erfolgte bei Leistungs- und Forschungsreaktoren in vergleichbarer Weise.

Beim Vergleich der Stilllegung von Leistungsreaktoren mit der von Forschungsreaktoren ist bei der radiologischen Charakterisierung zunächst die Anzahl an Nuklidvektoren als

Unterschied zu nennen. Bei Forschungsreaktoren kommen typischerweise aufgrund der vorliegenden standortspezifischen Betriebs historie eine höhere Anzahl an verschiedenen Nuklidvektoren zum Einsatz, die sich qualitativ stärker unterscheiden. Zudem sind die Nuklidvektoren in der Höhe realitätsnaher und nicht so konservativ wie bei Leistungsreaktoren ausgearbeitet, da der dadurch erhöhte Messauswand aufgrund der geringeren Gesamtmasse leichter zu realisieren ist. Dagegen unterscheiden sich die bei der Stilllegung von Leistungsreaktoren verwendeten Nuklidvektoren qualitativ weniger. Die Nuklidvektoren bei Leistungsreaktoren sind anlagenbedingt hauptsächlich durch die Nuklide Co-60 und Cs-137 mit unterschiedlichen Anteilen weiterer schwer messbarer Nuklide, wie Sr-90 oder Alpha-Strahler, dominiert. Die Nuklidvektoren werden hier konservativ bestimmt, was die Menge an freigegebenen Massen deutlich reduziert. Die realitätsnahe Bestimmung der Nuklidvektoren führt hingegen zu einem erheblichen Messaufwand, welcher bei Leistungsreaktoren zudem logistisch schwer zu realisieren ist. Für die radiologische Charakterisierung des Materials bei Leistungsreaktoren ist wichtig, dass die leicht messbaren Schlüsselnuclide wie Co-60 und Cs-137 vorhanden sind, um darüber die Nuklide wie Sr-90 oder Alpha-Strahler über einen konservativeren Ansatz zu ermitteln.

Die eingesetzte Messtechnik bei den Leistungsreaktoren besteht vorwiegend aus den üblichen Strahlenschutzmesstechniken, wie ein Kontaminationsmonitor, DL-Messgeräte oder einem WT-Messplatz, aus Labor- und in-situ-Gammaspektrometrie, FMA und auch Sondernuklidanalytik. Bei bestimmten Stoffströmen, wie z. B. Metallen, kann es zum erheblichen Messaufwand für den Nachweis der Unterschreitung der Oberflächenkontaminationswerte kommen, weshalb die Erhöhung der Mittelungsfläche und die Nutzung alternativer Verfahren zum Nachweis der Werte der Oberflächenkontamination eine häufig verwendete Vorgehensweise ist. Häufig erfolgt dies im Rahmen von Einzelfallnachweisen, welche zu einem erheblichen Anstieg der freigegebenen Massen führen können.

Sowohl bei Leistungsreaktoren als auch bei Forschungsreaktoren ist die Gesamttrückbastrategie ein wesentlicher Faktor, der Einfluss auf den Massenstrom bei der Freigabe hat. Die Planung wirkt sich auf die parallel ablaufende Abfallbehandlung mit Infrastruktur- und Platzbedarf aus. Die Entsorgungslogistik muss so gestaltet sein, dass ausreichend Lagermöglichkeiten, wie Puffer- oder Zwischenlager vorhanden sein, um keine Einschränkungen aus logistischen Gründen hervorzurufen. Dies ist vor allem bei Leistungsreaktoren ein wesentlicher Faktor, da sehr große Massen anfallen. Die Entsorgung die-

ser Massen ist abhängig von der Verfügbarkeit der Entsorgungswege. Die Endlagerkonzeption mit der Ungewissheit des Fertigstellungsdatums und der Diskussion über Einlagerungsbedingungen ebenso wie sich ändernde Bereitschaft externer Dienstleister für die Abfallbehandlung erschweren die Planung des Rückbaus und erfordern Entsorgungslogistik und Infrastruktur. Die radiologische Charakterisierung spielt im Rückbau von Forschungs- und auch Leistungsreaktoren eine große Rolle. Diese wird jedoch teilweise unterschiedlich angewandt und es werden verschiedene Herangehensweisen verwendet, wie bspw. bei der Bestimmung von Nuklidvektoren. Einzelfallnachweise können einen erheblichen Anstieg der freigegebenen Massen führen. Die eingesetzten Dekontaminationstechniken besitzen einen geringeren Einflussfaktor, lediglich eine evtl. begrenzende Kapazität kann vor allem bei den großen Massen des Rückbaus von Leistungsreaktoren Auswirkungen haben.

Während die Änderung von Regelwerken oder Gesetzgebung bei den Leistungsreaktoren ein großer Einfluss zugesprochen wird, wird dieser für Forschungsreaktoren als geringer eingestuft.

Die Freigabe von Metallen, die mögliche Probleme der Nachweisempfindlichkeit oder Kalibrierung der Messinstrumente und das Wissensmanagement spielen bei den Forschungsreaktoren untergeordnete Rollen beim Einfluss der Massen auf die Freigabe.

Die Komponentengeometrie wirkt sich deutlich auf die Messbarkeit der Kontamination und auch die Effektivität der Dekontamination aus, was wiederum bei den Leistungsreaktoren einen großen Einfluss auf den Massenstrom der Freigabe besitzt. Besonders der Umgang mit bestimmten Einzelkomponenten, wie z. B. einem Dampferzeuger ist abhängig von den verfügbaren Entsorgungswegen und den Behandlungsoptionen und ist ein weiterer Einflussfaktor. Für die Tätigkeiten im gesamten Rückbauprojekt mit den Zerlege- und Dekontaminationstechniken muss qualifiziertes Personal zur Verfügung stehen.

Je nach betrachteter Anlage können sich aufgrund der deutlich unterschiedlichen Rückbaustrategien, Anlagensituation und Einfluss des Freigabeverfahrens und/oder der Entsorgungssituation sehr unterschiedliche Verläufe der Massen-Zeit-Diagramme ergeben, so dass eine Systematik nicht abzuleiten ist. Der Massenanstieg ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, allerdings haben sich insgesamt folgende Punkte als bedeutsam für ihren Einfluss auf den Massenstrom der Freigabe gezeigt:

- Entsorgungslogistik und Infrastruktur (Pufferlager für Erdmassen, Leichtbauten; keine Einschränkungen aus logistischen Gründen)
- Einzelfallnachweise
- Planung und Realisierung Rückbaureihenfolge
- Nuklidvektoren/Hochrechnungsfaktoren/Korrelationsfaktoren, bzw. radiologische Charakterisierung

Teilweise hatte auch die Änderung von Regelwerken einen bedeutenden Einfluss.

Literaturverzeichnis

- / CZF/ EWN GmbH: Chargenblatt zur Freimesskampagne F323, Charge F323-01, Teilchargenabrechnung F 323.01.003 Teilchargenabrechnung F 323.01.004 Teilchargenabrechnung F 323.01.005 Teilchargenabrechnung F 323.01.006.
- /ALT 22/ Altmann, U.: Besprechung zum Forschungsvorhaben 4719E03510. An GRS gGmbH, E-Mail, 19. August 2022.
- /ART 22/ Artmann, A., Hussels, M.-T.: Reststoffe und freigegebene Stoffe sowie ihre Massenströme aus Stilllegung und Abbau kerntechnischer Anlagen in Deutschland, Abschlussbericht zum Vorhaben 4718E03520. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Nr. 803521, Juni 2022.
- /ASK 12a/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Nordrhein-Westfalen, Ergebnisprotokoll der 44. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 17. bis 18. April 2012 auf der Insel Vilm. April 2012.
- /ASK 12b/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Baden-Württemberg, Ergebnisprotokoll der 45. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 16. bis 17. Oktober 2012 in Mainz. November 2012.
- /ASK 12c/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Rheinland-Pfalz, Ergebnisprotokoll der 44. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 17. bis 18. April 2012 auf der Insel Vilm. April 2012.

- /ASK 14/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Niedersachsen, Ergebnisprotokoll der 49. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 17. bis 18. September 2014 in Berlin. Oktober 2014.
- /ASK 15a/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Niedersachsen, Ergebnisprotokoll der 50. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 11. bis 12. März 2015 in Philippsburg. März 2015.
- /ASK 15b/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Nordrhein-Westfalen, Ergebnisprotokoll der 50. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 11. bis 12. März 2015 in Philippsburg. März 2015.
- /ASK 15c/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Baden-Württemberg, Ergebnisprotokoll der 50. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 11. bis 12. März 2015 in Philippsburg. März 2015.
- /ASK 15d/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Brandenburg, Ergebnisprotokoll der 52. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 22. bis 23. September 2015 in Dresden. September 2015.
- /ASK 16/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Rheinland-Pfalz, Ergebnisprotokoll der 55. Sitzung des Arbeitskreises „Forschungsreaktoren“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 20. und 21. September 2016 in Jülich. September 2016.

- /ASK 17a/ ohne Autor: 57. Sitzung des Arbeitskreises Stilllegung des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 12. bis 13. September 2017 in Lingen. September 2017.
- /ASK 17b/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Hessen, Ergebnisprotokoll der 55. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ am 14. und 15. März 2017 am Standort des KKW Rheinsberg. 2017.
- /ASK 17c/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Rheinland-Pfalz, Ergebnisprotokoll der 55. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 14. und 15. April 2017 in Rheinsberg. April 2017.
- /ASK 18a/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Nordrhein-Westfalen, Ergebnisprotokoll der 58. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 27. bis 28. Februar 2018 in Greifswald. Februar 2018.
- /ASK 18b/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Baden-Württemberg, Ergebnisprotokoll der 58. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 27. und 28. Februar 2018 in Greifswald. 2018.
- /ASK 18c/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Hessen, Ergebnisprotokoll der 58. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 27. bis 28. Februar 2018 in Greifswald. Februar 2018.

- /ASK 18d/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Brandenburg, Ergebnisprotokoll der 58. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 27. bis 28. September 2018 in Greifswald. September 2018.
- /ASK 18e/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Rheinland-Pfalz, Ergebnisprotokoll der 58. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 26. bis 28. Februar 2018 in Greifswald. Februar 2018.
- /ASK 18f/ ohne Autor: Ergebnisprotokoll der 58. Sitzung des Arbeitskreises Stilllegung des Fachausschusses Reaktorsicherheit des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 27. und 28. Februar 2018 in Greifswald. 2018.
- /BAY 83/ Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU): Genehmigung nach § 7 Atomgesetz (AtG) zur Stilllegung des 237-MW-Kernkraftwerks RWE-Bayernwerk (KRB) Block A in Gundremmingen, Az.: 9202-741-23983. 7 S., 26. Mai 1983.
- /BFS 98/ Gelfort, E., Jäger, G., Motzkus, K.-H., Spoden, E., Teichmann, C. (BfS): Übersicht über Stilllegungsprojekte in Deutschland, Teil I: Kernkraftwerke und Prototypreaktoren. Salzgitter, 1998.
- /BFS 02/ Rehs, B., Spoden, E. (BfS): Übersicht über Stilllegungsprojekte in Deutschland - Teil I: Kernkraftwerke und Prototypreaktoren (Statusbericht), Interner Bericht KT-IB-88. 2002.
- /BIN 14/ Binnie, S.: Silicates v1.0 (Cologne). Institute for Geology and Mineralogy, University of Cologne, September 2014.
- /BOT 09/ Bothe, M.: BfS-Ressortforschungsbericht „Empfehlungen zur Ermittlung der Repräsentativität von Nuklidvektoren bei Freigabemessungen – Vorhaben 3604S04441“. Hrsg.: VKTA, April 2009.

- /BRE 15/ Westinghouse Electric Germany GmbH (Brenneisen, M.): Decontamination of Philippsburg Unit 1, Beitrag zum 12. Internationalen Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“. Präsentation, KONTEC 2015: Dresden, März 2015.
- /BRU 17/ Bruhn, G., Artmann, A.: Neglibly contaminated waste from decommissioning and demolishing of nuclear facilities in Germany considering later waste management. KONTEC 2017, Dresden.
- /BSU 75/ Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Änderungsbescheid zum 100-MW-Kernkraftwerk Niederaichbach (KKN) Stilllegung der Anlage. 21. Oktober 1975.
- /BSU 86/ Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Genehmigungsbescheid nach § 7 Abs. 3 Atomgesetz (AtG) zum Abbau des Kernkraftwerks Niederaichbach (KKN) in der Gemeinde Niederaichbach, Landkreis Landshut. 6. Juni 1986.
- /BSU 06/ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV): Genehmigung nach § 7 Atomgesetz (AtG) zur Erweiterung des Kernkraftwerks Gundremmingen II (KRB II) durch ein Technologiezentrum, 13. Änderungsgenehmigung, Az.: 93-U8811.09-2005/278-16. 5. Januar 2006.
- /BSU 17/ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz: Erste Genehmigung nach § 7 Abs. 3 des AtG zur Stilllegung und zum Abbau des Kernkraftwerks Isar 1. 96 S., DOI 10.1515/9783110405293-010, 17. Januar 2017.
- /BSU 18/ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz: Erste Genehmigung nach § 7 Absatz 3 des Atomgesetzes zur Stilllegung und zum Abbau des Kernkraftwerkes Grafenrheinfeld, AZ: 87a-U8811.07-2014/94-136. 11. April 2018.

- /CND 15/ European Co-ordination Network on Decommissioning of Nuclear Installations (CND): Decommissioning Projects in Europe The KRB-A (Gundremmingen) Pilot Dismantling Project Dismantling of Contaminated Components. Erreichbar unter <http://ec-cnd.net/eudecom/KRB-A-DismantlingContaminatedComponents.pdf>, abgerufen am 30. Juni 2015.
- /DIN 12/ Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch“. DIN 18127:2012-09:2012-09, Beuth-Verlag, 2012.
- /DUW 07/ Duwe, P., Looock, R.: Zerlegung des Dampfwaterabscheiders (DWA) im KWW,. Präsentation, Kontec 2007, 2007.
- /ENB 13/ EnBW Kernkraft GmbH (EnKK): Antrag auf Erteilung einer Stilllegungs- und 1. Abbaugenehmigung (1. SAG) gemäß § 7 Abs. 3 Atomgesetz (AtG), Kernkraftwerk Philippsburg. 10 S., 24. April 2013.
- /ENB 14/ EnBW Kernkraft GmbH (EnKK): Kurzbeschreibung zum Antrag auf Stilllegung und Abbau von Anlagenteilen des Kernkraftwerks Neckarwestheim Block I (GKN I). November 2014.
- /ENB 17/ EnBW Kernkraft GmbH: Antrag auf Erteilung der 2. Abbaugenehmigung (2. AG) für das Kernkraftwerk Philippsburg Block 1 (KKP 1) gemäß § 7 Abs. 3 Atomgesetz (AtGJ, Kernkraftwerk Philippsburg. 5 S., 21. Dezember 2017.
- /ENB 18/ EnBW Kernkraft GmbH: Kernkraftwerk Philippsburg, Betriebsbericht zur Information der Reaktor-Sicherheitskommission 2017 Kernkraftwerk Philippsburg Block 1 (KKP 1). April 2018.
- /ENB 22/ EnBW Kernkraft GmbH (EnKK) (Hrsg.): Kernkraftwerk Neckarwestheim (GKN). Erreichbar unter <https://www.enbw.com/unternehmen/konzern/energieerzeugung/kernenergie/standorte/standort-neckarwestheim.html>, abgerufen am 4. August 2022.

- /ENT 17/ Gesetz zur Regelung des Übergangs der Finanzierungs- und Handlungspflichten für die Entsorgung radioaktiver Abfälle der Betreiber von Kernkraftwerken (Entsorgungsübergangsgesetz) (EntsorgÜG) in der Fassung von 27. Januar 2017 (BGBl. I S. 114, 120, 1676), das durch nach Maßgabe des Artikel 5 Absatz 2 durch Artikel 4 Absatz 2 des Gesetzes vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074) geändert worden ist.
- /EON 03/ E.ON Kernkraft GmbH: Vom Kernkraftwerk zur „Grünen Wiese“ Stilllegung und Rückbau des Kernkraftwerks Würgassen. März 2003.
- /EON 06/ E.ON Kernkraft GmbH: Demontage und Zerlegung RDB-Einbauten, -AREVA-Konzept -. 21. April 2006.
- /EON 08a/ E.ON Kernkraft GmbH: Stade - Stilllegung und Rückbau des Kernkraftwerks – vom Kernkraftwerk zur „Grünen Wiese“. März 2008.
- /EON 08b/ E.ON Kernkraft GmbH: E.ON-Einblick, (Zeitung für die Nachbarn des Kernkraftwerks Würgassen). Dezember 2008.
- /EON 09/ E.ON Kernkraft GmbH: Kernkraftwerk Würgassen - 12 Jahre erfolgreicher Rückbau. September 2009.
- /EON 12/ E.ON Kernkraft GmbH: Antrag nach § 7 (3) AtG zur Stilllegung und zum Abbau der Anlage, Kernkraftwerk Isar 1 (KKI 1). 6 S., 4. Mai 2012.
- /EON 14/ E.ON Kernkraft GmbH: Sicherheitsbericht für den Restbetrieb und Abbau des Kernkraftwerks Isar 1. 47 S., Februar 2014.
- /EON 16/ E.ON Kernkraft GmbH: Kernkraftwerk Grafenrheinfeld – Stilllegung und Abbau Kurzbeschreibung. 54 S., Mai 2016.
- /EON --/ E.ON Kernkraft GmbH: Kernkraftwerk Unterweser, Abschlussbericht für den Europäischen Stresstest. 186 S., (undatiert).

- /EWN 09a/ Energiewerke Nord GmbH: Betriebsteil Kernkraftwerk Greifswald. Erreichbar unter <http://www.ewn-gmbh.de/ewngruppe/ewn/standort-greifswald/das-unternehmen/firmenportraet-aufgabe.html>, abgerufen am 5. Februar 2009.
- /EWN 95a/ Energiewerke Nord GmbH: Kernkraftwerk Greifswald, Sicherheitsbericht zum Innehaben und zur Stilllegung der Anlage sowie zum Abbau von Anlagenteilen. 27. April 1995.
- /EWN 95b/ EWN GmbH: Sicherheitsbericht - Kurzfassung -, zum Innehaben und zur Stilllegung der Anlage sowie zum Abbau von Anlagenteilen. GABKN0LG 0813, Januar 1995.
- /EWN 99/ EWN GmbH: Technischer Bericht GABRN4ER-3212 „Messprogramm zur Durchführung von Entscheidungsmessungen an der Neutralisationsanlage der ZSA“, Index. 23. November 1999.
- /EWN 00/ EWN GmbH: Anmeldung der Freimesskampagne, hier: Nachtrag der Bestätigung der Durchführung der Schritte A1-A3 in den Freimessplänen; Ihr Schreiben Dr. Behrndt, 2000/0464 vom 16.03.2000, Schreiben p1za-gl-pl-000323-01 TF8/ZA/1424/AB/00. 23. März 2000.
- /EWN 02a/ EWN GmbH: Anmeldung der Freimesskampagne F139, Schreiben p1ea-ka-pl-021105-01 TF8/ZA/1424/AF/00. 5. November 2002.
- /EWN 02b/ EWN GmbH: Technischer Bericht GABSN3BR-4123 „Radiologisches Freimessprogramm für die Tos- bzw. Kraftschlussbecken der Blöcke 1-5“, Index. 21. Oktober 2002.
- /EWN 02c/ EWN GmbH: Anmeldung der Freimesskampagne F204, hier: EWN-Schreiben vom 02.10.01, Az.:p1ea-ka-pl-011001-02, Schreiben p1ea-ka-pl-021018-01 TF8/ZA/1424/AF/00. 18. Oktober 2002.
- /EWN 02d/ EWN GmbH: Antrag auf Freigabe von Reststoffen, Teilcharge F204.01.001, Schreiben p1ea-kam-pl-021209-01 TF8/ZA/1424/AB/00. 9. Dezember 2002.

- /EWN 04/ EWN GmbH: Antrag auf Freigabe von Reststoffen, Teilcharge F139.01.001, Schreiben p1e-kam-sto-040604-04 TF8/ZA/1424/AB/00. 4. Juni 2004.
- /EWN 08a/ EWN GmbH: Abmeldung der Freimesskampagne F204, Schreiben p1e-kam-rdt-080317-01. 17. März 2008.
- /EWN 08b/ EWN GmbH: Anmeldung von Freimesskampagnen entsprechend den Regelungen § 29 StrlSchV, hier: F323 (Reststoffe aus dem Zwischenlager für abgebrannten Brennstoff), Schreiben p1e-ka-rdt-021009-01. 9. Oktober 2008.
- /EWN 09b/ EWN GmbH: Zwischenbericht zur Freimesskampagne F139, Schreiben p1e-kam-rdt-090113-01. 13. Januar 2009.
- /EWN 09c/ EWN GmbH: Anmeldung von Freimesskampagnen entsprechend den Regelungen § 29 StrlSchV, hier: F139 (Reststoffe aus Tos- bzw. Kraftschlussbecken der Blöcke 1-5), Schreiben p1e-ka-hf-090119-01. 19. Januar 2009.
- /EWN 09d/ EWN GmbH: Anmeldung Freimesskampagne F323 (Zwischenlager für abgebrannten Brennstoff), EWN-Schreiben, Az. p1e-ka-rdt-081009-01 vom 09.10.2008, Az. p1e, ka-rdt-090106-04 vom 06.01.2009, Az. p1e-ka-rdt-090305-01 vom 05.03.2009 hier: Austauschseiten, Schreiben p1e-ka-rdt-090309-02. 9. März 2009.
- /EWN 09e/ EWN GmbH: Antrag auf Freigabe von Reststoffen, Teilchargen F323.01.001, F323.02.001, Schreiben p1e-kam-sto. 6. Juli 2009.
- /EWN 09f/ EWN GmbH: Antrag auf Freigabe von Reststoffen, Teilchargen F323.01.002, F323.02.002, Schreiben p1e-kam-rdt. 24. Juli 2009.
- /EWN 10/ EWN GmbH: Antrag auf Freigabe von Reststoffen, Teilcharge F139.01.002, Schreiben p1e-kam-hf. 6. Juli 2010.
- /EWN 12/ EWN GmbH: Betriebsteil Kernkraftwerk Rheinsberg, Technischer Jahresbericht 2011, Gleichzeitig Bericht an das Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg. 2. April 2012.

- /EWN 20/ EWN GmbH: Transferliste der angewendeten Entsorgungspfade und die Beschreibung der Spitzen für Betonfreigaben. An GRS gGmbH, E-Mail, 9. November 2020.
- /EWN 21/ EWN GmbH: Kernkraftwerk Rheinsberg Geschichte, Stilllegung und Rückbau. 15 S., Oktober 2021.
- /EWN / EWN GmbH: Abmeldung einer Freimesskampagne, Chargenblatt zur Freimesskampagne F109; Charge F109.01 Chargenblatt zur Freimesskampagne F109; Charge F109.03 Chargenblatt zur Freimesskampagne F109; Charge F109.02 Chargenblatt zur Freimesskampagne F109; Charge F109.04 Chargenblatt zur Freimesskampagne F109; Charge F109.05, Teilchargenabrechnung F 109.03.001.
- /FRZ 06/ FRZ, VKTA Dresden: 50 Jahre Forschung in Rossendorf, Sonderausgabe der Hauszeitungen von FZR und VKTA zum gemeinsamen „Tag des offenen Labors“ am 20. Mai 2006. Mai 2006.
- /GER 72/ Gersten, W.: Kernkraftwerk Würgassen – Gesamtkonzeption und technische Daten. Atomwirtschaft - Atomtechnik, Heft Februar 1972, S. 87, Februar 1972.
- /EWN GmbH 2002/EWN GmbH: Technischer Bericht GABRW3ER-4130 „Ergebnisse des radiologischen Freimessprogramms für die geschlossenen ALK Nord I, II, III und Übergangsbauwerk“, Index. 13. November 2002.
- /GOO 08/ Google-Grafiken: Digital Globe, Geo Content, GeoEye. 2008.
- /GOO 22/ Google-Grafiken: Lage KWW Würgassen. Google, 2022.
- /GOO 22a/ Google-Grafiken: Lage Small Facility Köln. Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, 2022.
- /GRS 91/ Teske, H. (GRS): Anlagenbeschreibung für WWER-Anlagen, Bericht GRS-A-1783. Mai 1991.

- /GRS 98/ Heuser, F. W., Teske, H. (GRS): Reaktorsicherheit in Osteuropa, Eine Zwischenbilanz der Förderung durch die Bundesrepublik Deutschland; Bericht GRS-S-44 (ISBN 3-931995-09-7). 16. Juni 1998.
- /GRS 10/ Kaulard, J., Brendebach, B., Strub, E.: Strahlenschutzaspekte gängiger Abbau- und Dekontaminationstechniken, Informationen und Erfahrungen aus der Stilllegung kerntechnischer Anlagen, GRS - 270. Dezember 2010.
- /GRS 11/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH: Datenblätter zur Stilllegung von Leistungs- und Prototypreaktoren in Deutschland Revision 12. Juni 2011.
- /GRS 17/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH: Stilllegung kerntechnischer Anlagen, Dieser Bericht ist von der GRS im Auftrag des BMUB im Rahmen des Vorhabens 3616R01310 erstellt worden. GRS-S-Bericht, Nr. 57, 2. Aufl., 2017.
- /GRS 18/ Faust, S., Fleck, I. Jendrich, U., Michel, F.: Untersuchungen zu sicherheitstechnisch bedeutsamen Aspekten bei der Dekontamination von Reaktorkühlkreisläufen in Kernkraftwerken, GRS - 492. März 2018.
- /GRS 19a/ Bruhn, G., Dewald, M., Dittmann-Schnabel, B.-A., Imielski, P., Klassen, S., Schneider, S., Sentuc, F.-N., Stahl, T.: Statusbericht zur Stilllegung von Leistungs- und Prototypreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Juni 2019.
- /GRS 19b/ Artmann, A., Bruhn, G.: Bewertung der bei Stilllegung und Abbau kerntechnischer Anlagen in Deutschland anfallenden Abfälle und Reststoffe im Hinblick auf ihre spätere Entsorgung, Abschlussbericht. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, GRS-A-Bericht, Nr. 3957, April 2019.
- /HIE 09/ Hieronymus, W. E. a.: Beiträge zur Geschichte des Rossendorfer Forschungsreaktors. 2009.

- /HMU 17a/ Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Genehmigung nach § 7 Abs. 3 AtG zur Stilllegung und zum Abbau von Anlagenteilen des Kernkraftwerkes Biblis, Block A (A 022/12), AZ: 99d02.05.02. 179 S., 30. März 2017.
- /HMU 17b/ Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Genehmigung nach § 7 Abs. 3 AtG zur Stilllegung und zum Abbau von Anlagenteilen des Kernkraftwerkes Biblis, Block B (B022/12), AZ: 99d06.05.02. 30 S., 30. März 2017.
- /HOO 13/ Hoo, W.: PhD thesis, Australian National University, 2013.
- /KER 18/ Kernkraftwerk Gundremmingen GmbH: Aktuelle Informationen aus dem Kernkraftwerk Gundremmingen, Betriebsbericht Nr. 4/2018. 3 S., 9. Mai 2018.
- /KKS 03a/ E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Stade (KKS): Kurzbeschreibung für den Abbau des Kernkraftwerks Stade Zusammenfassung des Sicherheitsberichtes, Darstellung des Zwischenlagers. April 2003.
- /KKS 03b/ E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Stade (KKS): Sicherheitsbericht für den Abbau des Kernkraftwerks Stade. April 2003.
- /KKW 96/ Kernkraftwerk Würgassen (KWW): Betriebsbericht zur Information der Reaktor-Sicherheitskommission, Kernkraftwerk Würgassen, Berichtszeitraum 1996. 1996.
- /KKW 07/ Kernkraftwerk Würgassen (KWW): Betriebsbericht zur Information der RSK 2007, Betriebszeitraum 2007. 31. Dezember 2007.
- /KMK 08/ RWE Power AG: Anlage Mülheim-Kärlich (KMK): Stilllegung und Abbau der Anlage Mülheim-Kärlich, Betriebsbericht 2007. 17. April 2008.
- /KMK 12/ RWE Power AG, Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich (KMK): Stilllegung und Abbau der Anlage Mülheim-Kärlich, Betriebsbericht 2011, Dok. PNM US-Reg. KS-Nr.: 910.01. 28. März 2012.

- /KMK 13a/ RWE Power AG: Anlage Mülheim-Kärlich (KMK): Abbau Anlage Mülheim-Kärlich, Betriebsbericht 2012, KS-Nr.: 910.01. 19. März 2013.
- /KMK 13b/ RWE Power AG, Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich (KMK): Stilllegung und Abbau der Anlage Mülheim-Kärlich Sicherheitsbericht, Abbau Anlage Mülheim-Kärlich, Dok.-Nr.: STM-2-02.0000-401/C. 20. Dezember 2013.
- /KMK 14/ RWE Power AG: Anlage Mülheim-Kärlich (KMK): Abbau Anlage Mülheim-Kärlich, Betriebsbericht 2013, KS-Nr.: 910.01. 24. März 2014.
- /KMK 15/ RWE Power AG: Anlage Mülheim-Kärlich (KMK): Abbau Anlage Mülheim-Kärlich, Betriebsbericht 2014, KS-Nr.: 910.01. 13. April 2015.
- /KMK 16/ RWE Power AG: Anlage Mülheim-Kärlich (KMK): Abbau Anlage Mülheim-Kärlich, Betriebsbericht 2015, KS-Nr.: 910.01. 17. März 2016.
- /KMK 17/ RWE Power AG: Anlage Mülheim-Kärlich (KMK): Abbau Anlage Mülheim-Kärlich, Betriebsbericht 2016, KS-Nr.: 910.01. 22. März 2017.
- /KMK 18/ RWE Nuclear GmbH: Anlage Mülheim-Kärlich (KMK): Abbau Anlage Mülheim-Kärlich, Betriebsbericht 2017, KS-Nr.: 910.01. 2018.
- /KMK 19/ RWE Nuclear GmbH: Anlage Mülheim-Kärlich (KMK): Abbau Anlage Mülheim-Kärlich, Betriebsbericht 2018, KS-Nr.: 910.01. 25. März 2019.
- /KNA 19/ Knappik, R., Geyer, K., Jansen, S., Graetz, C.: Stilllegung und Rückbau des Rossendorfer Forschungsreaktors RFR, Teil 1: Objektbeschreibung, Genehmigungsverfahren, Ausgangssituation, Planungskonzept und Meilensteine. atw – International Journal for Nuclear Power, Bd. 64, Nr. 11/12, S. 537–542, 2019.
- /KNA 20/ Knappik, R., Geyer, K., Jansen, S., Graetz, C.: Stilllegung und Rückbau des Rossendorfer Forschungsreaktors RFR, Teil 2: Ausgewählte Aspekte der Durchführung von Stilllegung und Rückbau. atw – International Journal for Nuclear Power, Bd. 65, Nr. 1, S. 17–24, 2020.

- /KON 09/ KONTEC 2009: 9. Internationales Symposium "Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle", einschließlich 9. Statusbericht des BMBF „Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen“. Dresden, 15. - 17. April 2009, 2009.
- /KWW 95/ PreussenElektra Kernkraft, Kernkraftwerk Würgassen (KWW): Betriebsbericht zur Information der Reaktor-Sicherheitskommission, Berichtszeitraum 1995. 1995.
- /KWW 04/ E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Würgassen (KWW): Rückbau eines Kernkraftwerkes, DVD Kernkraftwerk Würgassen – Öffentlichkeitsarbeit. 2004.
- /KWW 05/ Kernkraftwerk Würgassen (KWW): Betriebsbericht zur Information der RSK 2005, Betriebszeitraum 2005. 31. Dezember 2005.
- /LEV 94/ Levin, I., Kromer, B., Schoch-Fischer, H., Bruns, M., Münnich, M., Berdau, D., Vogel, J. C., Münnich, K. O.: $\delta^{14}\text{CO}_2$ record from Vermunt., In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Hrsg.: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy: Oak Ridge, Tenn., U.S.A., 1994.
- /MUF 04/ Ministerium für Umwelt und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz: Genehmigung nach § 7 Abs. 3 des Atomgesetzes für die Stilllegung und die Abbauphase 1a des Kernkraftwerks Mülheim-Kärlich, Az.: 1092 - 84 824-2.8.1. 224 S., 16. Juli 2004.
- /MUF 09/ Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz des Landes Rheinland-Pfalz: Genehmigung nach § 7 Abs. 3 des Atomgesetzes für die Vorgehensweise zur Entlassung und das Verfahren für die Freigabe zur Verkleinerung des Anlagengeländes im Rahmen des Abbaus des Kernkraftwerks Mülheim-Kärlich, Az.: 10812 - 84 824-3.4.2. 49 S., 9. Juni 2009.
- /MWK 13/ Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung des Landes Rheinland-Pfalz: Genehmigung nach § 7 Abs. 3 des Atomgesetzes für die Abbauphase 2a im Rahmen des Abbaus des Kernkraftwerks Mülheim-Kärlich, Az.: 84 220-014-8612. 54 S., 31. Mai 2013.

- /MWK 14a/ Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung des Landes Rheinland-Pfalz: Genehmigung nach § 7 Abs. 3 Atomgesetz für die Vorgehensweise zur Entlassung und das Verfahren für die Freigabe zur Verkleinerung des Anlagengeländes im Rahmen des Abbaus des Kernkraftwerks Mülheim-Kärlich (Genehmigung West 3b), Az.: 84 220-0016. 55 S., 16. September 2014.
- /MWK 14b/ Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung des Landes Rheinland-Pfalz: Genehmigung nach § 7 Abs. 3 Atomgesetz für eine Verfahrensweise zur Entlassung und Freigabe von Gelände im Rahmen des Abbaus des Kernkraftwerks Mülheim-Kärlich (Genehmigung 3c), Az.: 84 220-0034. 52 S., 31. Januar 2014.
- /MWK 15/ Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung des Landes Rheinland-Pfalz: Genehmigung nach § 7 Abs. 3 des Atomgesetzes für die Abbauphase 2b im Rahmen des Abbaus des Kernkraftwerks Mülheim-Kärlich (Genehmigung 2b), Az.: 84 220-0035. 7 S., 8. Oktober 2015.
- /MWM 97/ Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Technologie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen: Genehmigung zur Stilllegung und zum Abbau von Anlagenteilen des Kernkraftwerks Würgassen (KWW), Phase 1, (Stilllegungs- und 1. Rückbaugenehmigung (KWW-R1)), Az.: 534-8943 KWW-7(3)/1-1.1.2. 14. April 1997.
- /MWM 98/ Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Technologie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen: Genehmigung zum Abbau von Anlagenteilen des Kernkraftwerks Würgassen (KWW), Phase 2, (2. Rückbaugenehmigung (KWW-R2)), Az.: 534-8943 KWW-7(3)/2-1.1.2. 8. Januar 1998.
- /MWM 99/ Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Technologie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen: Genehmigung zum Abbau von Anlagenteilen des Kernkraftwerks Würgassen (KWW), Phase 3, (3. Rückbaugenehmigung (KWW-R3)), Az.: 434-8943 KWW-7(3)/3-1.1.2. 14. Juni 1999.

- /MWM 02/ Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Technologie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen: Genehmigung zum Abbau von Anlagenteilen des Kernkraftwerks Würgassen (KWW), Phasen 4 und 5, und zur Änderung der Nutzung des UNS-Gebäudes, (4. Rückbaugenehmigung (KWW-R4)), Az.: IV B 2-8943 KWW-7(3)/4-1.1.2. 6. September 2002.
- /NIS 12/ Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH: Referenzkonzept Stilllegung Leichtwasserreaktoren. 8561/CA/F 00 9001 2, 140 S., 29. März 2012.
- /NMB 85/ Der Niedersächsische Minister für Bundesangelegenheiten: Genehmigungsbescheid zur Stilllegung des Kernkraftwerks Lingen (KWL) sowie zur Herbeiführung und zum Betrieb des Sicheren Einschlusses und zur Nutzungsänderung von Anlagenteilen sowie zum Abbau einzelner Komponenten, Az.: 46.1 (44.1-alt)-22.51.44 (95-3). 21. November 1985.
- /NMU 09 a/Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz: Sachstandsinformation zum Kernkraftwerk Stade, Internetpräsentation. Erreichbar unter http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C739798_N4798384_L20_D0_I598.html, abgerufen am 9. Januar 2009.
- /NMU 97/ Niedersächsisches Umweltministerium: Genehmigungs für das stillgelegte Kernkraftwerk Lingen (KWL) Bescheid I/1997, Änderung der stillgelegten Anlage, des Sicheren Einschlusses und des Betriebes des Sicheren Einschlusses zum Zwecke der Entsorgung der sich im Sicheren Einschluß befindenden Betriebsabfälle, Az.: 404-40311/5(95.6). 14. November 1997.
- /NMU 05/ Niedersächsisches Umweltministerium: Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Stade (KKS) (Bescheid 1/2005) Stilllegung und Abbau, Stilllegung, Abbau Phase 1, Lager für radioaktive Abfälle. 198 S., 7. September 2005.
- /NMU 06/ Niedersächsisches Umweltministerium: Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Stade (KKS) (Bescheid 1/2006) Abbau, Abbau Phase 2. 27 S., 15. Februar 2006.

- /NMU 07/ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz: Abbau Kernkraftwerk Stade, Zwischenlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle in Betrieb Pressemitteilung Nr. 93/2007. Erreichbar unter http://www.umwelt.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=2147&article_id=8254&psmand=10, Stand vom 31. Juli 2007.
- /NMU 08/ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz: Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Stade (KKS) (Bescheid 1/2008) Abbau, Abbau Phase 3 Teil A, Abbau des Deckels des Reaktordruckbehälters, der Kerneinbauten, des Biologischen Schilts sowie anderer Systeme und Komponenten. 34 S., 14. Mai 2008.
- /NMU 09b/ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz: Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Stade (KKS) (Bescheid 1/2009) Abbau, Abbau Phase 3 Teil B, Abbau des Reaktordruckbehälters. 14. Mai 2009.
- /NMU 10/ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz: Bescheid für das Kernkraftwerk Stade (KKS) zur Freigabe von Gebäuden und Bodenflächen nach § 29 Strahlenschutzverordnung, (Freigabebescheid 1/2010), Az.: 42-40311/6/1/21.3. 24. Juni 2010.
- /NMU 11/ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz: Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Stade (KKS) (Bescheid 1/2011) Abbau, Abbau Phase 4. 4. Februar 2011.
- /NMU 15/ Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz: Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Lingen (KWL), (Bescheid 1/2015) Abbau [Teilprojekt 1], Az.: 42-40311/5/170/02.1. 94 S., 21. Dezember 2015.
- /NMU 18/ Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz: Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Unterweser (KKU) (Bescheid 1/2018), Stilllegung und Abau (Stilllegung, Abbauphase 1), Az.: 42-40311/7/170/20.8-01. 372 S., 5. Februar 2018.

- /PEL 16a/ PreussenElektra GmbH: Themenschwerpunkt - Entsorgung der Massen aus dem Rückbau des Kernkraftwerks Stade. November 2016.
- /PEL 16b/ PreussenElektra GmbH: Themenschwerpunkt - Kontamination in der Kälte des Kernkraftwerks Stade. November 2016.
- /PEL 17/ PreussenElektra GmbH: Kernkraftwerk Unterweser (KKU), Technischer Jahresbericht zur Information der RSK - 2016. 16. März 2017.
- /PEL 18a/ PreussenElektra GmbH: Themenschwerpunkt - Entsorgung der Massen aus dem Rückbau des Kernkraftwerks Stade. August 2018.
- /PEL 18b/ PreussenElektra GmbH: Jahresbericht 2018 - Rückbau im Fokus. 2018.
- /PEL 19/ PreussenElektra GmbH: Jahresbericht 2019 - Rückbau im Fokus. 2019.
- /PEL 20a/ PreussenElektra GmbH: Zahlen und Fakten zum Kernkraftwerk Würgassen. 7 S., Februar 2020.
- /PEL 20b/ PreussenElektra GmbH: Jahresbericht 2020 - Rückbau im Fokus. 2020.
- /PEL 20c/ PreussenElektra GmbH: Themenschwerpunkt - Stand des Rückbaus im Kernkraftwerk Stade. November 2020.
- /PEL 21/ PreussenElektra GmbH: Jahresbericht 2021 - Rückbau im Fokus. 2021.
- /PHI 20/ Marlies Philipp: Erfahrungen aus dem Rückbau des KKW Greifswald. Strahlenschutz Praxis, Nr. 04, S. 6–11, 2020.
- /RSK 05/ RSK: RSK - STELLUNGNAHME, Genehmigungsverfahren zur Stilllegung und zum Rückbau des Kernkraftwerks Stade, (383. Sitzung). 2. Juni 2005.
- /RUN 05/ Runge, H., Duwe, P., Arnold, H.-U., Itzel, M.: Dampftrockner-Zerlegung im KWW Würgassen,. Präsentation, Kontec 2005, 2005.
- /RUN 07/ Runge, H., Itzel, M., Arnold, H.-U., Duwe, P.: Zerlegung des Dampftrockners 3 (DT3) im Kernkraftwerk KWW Würgassen,. Präsentation, Kontec 2007, 2007.

- /RWE 12a/ RWE Power AG: Antrag nach § 7 Abs. 3 Atomgesetz auf Stilllegung und Abbau, Kernkraftwerk Biblis, Block A. 6. August 2012.
- /RWE 12b/ RWE Power AG: Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerk Biblis, Block B (KWB-B), Kernkraftwerk Biblis, Block B. 6. Dezember 2012.
- /RWE 14a/ RWE Power AG: Sicherheitsbericht Stilllegung und Abbau des KWB-A (A022/12), Dok-Nr.: ST1-1-02-2100-0001/I-A. 166 S., 17. April 2014.
- /RWE 14b/ RWE Power AG: Sicherheitsbericht Stilllegung und Abbau des KWB-B (B022/12), Dok-Nr.: ST2-1-02-2100-0001/I-A. 167 S., 17. April 2014.
- /RWE 16/ RWE Power AG: Abbau des Kernkraftwerks Gundremmingen Sicherheitsbericht. 149 S., 23. September 2016.
- /RWE 22/ RWE Power AG (Hrsg.): Rückbauanlage Gundremmingen. Erreichbar unter <https://www.rwe.com/der-konzern/laender-und-standorte/rueckbauanlage-gundremmingen>, abgerufen am 4. August 2022.
- /RWE --/ RWE Power AG: Anlage Mülheim-Kärlich, Ein Kraftwerk im Rückbau. 10 S., (undatiert).
- /SCA 09/ Schmitz, A., Knoll, P.: Rückbau der Reaktordruckbehälter-Einbauten im Kernkraftwerk Stade-Ein weiterer Meilenstein auf dem Weg zur grünen Wiese ist realisiert. Atw. Internationale Zeitschrift für Kernenergie, Bd. 54, Nr. 8-9, S. 514–518, 2009.
- /SCH 06/ Schartmann, F., Wörlen, S., Thierfeldt, S., Adler, J., Schappert, W., Beckmann, R., Kolander, G.: Einführung einer automatisierten radiologischen Charakterisierung mit dem Reststoff-Freigabe-Optimierungs-Modul (Re-FOM) beim Rückbau des Kernkraftwerks Stade, Leistungsreaktoren, Sektion 7 - Stilllegung kerntechnischer Anlagen, Jahrestagung Kerntechnik 2006; Annual Meeting on Nuclear Technology 2006; Eurogress, Aachen; 16. - 18. Mai 2006 Kerntechnische Gesellschaft e. V. 2006.

- /SLU 89/ Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU): Genehmigung nach § 7 Atomgesetz (AtG) zur Stilllegung des Kernkraftwerks RWE-Bayernwerk (KRB) Block A in Gundremmingen, 2. Ergänzungsgenehmigung zur Stilllegungsgenehmigung vom 26.05.83 Nr. 9202-741-23983, Az.: 9202-741-63585. 29. November 1989.
- /SMU 19/ Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL): 78. Sitzung des Fachausschusses für Ver- und Entsorgung am 28. November 2019; TOP 13: Bericht des Freistaats Sachsen. BfE DOK Nr 3904, 22. November 2019.
- /SRN 08/ Srncik, M., Hrncek, E., Steier, P., Wallner, A., Wallner, G., Bossew, P.: Vertical distribution of ²³⁸Pu, ²³⁹(40)Pu, ²⁴¹Am, ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs in Austrian soil profiles. *radiochim. acta* 96, S. 733–738, DOI 10.1524/ract.2008.1559, 2008.
- /SSK 95/ SSK: Kernkraftwerk Greifswald (KGR) Blöcke 1-6 Stilllegung der Anlage mit Abbau von Anlagenteilen, Stellungnahme der Reaktor-Sicherheitskommission und der Strahlenschutzkommission. Bonn, 27. April 1995.
- /SSK 05/ Strahlenschutzkommission (SSK): Kernkraftwerk Stade - Stilllegung und Rückbau, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, Verabschiedet in der 200. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 30. Juni 2005. 30. Juni 2005.
- /SSV 01/ BMU: Strahlenschutzverordnung Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierenden Strahlen, StrISchV 2001. Stand vom 19. Mai 2021, erreichbar unter https://www.umwelt-online.de/recht/energie/strahlen/ssv_ges.htm, abgerufen am 12. August 2021.
- /SSV 18/ Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 27. März 2020 (BGBl. I S. 748) geändert worden ist (Strahlenschutzverordnung - StrISchV) zuletzt geändert 2018.
- /STI 06/ Stiepani, C., Seidelmann, K.: System Decontamination in the Stade Nuclear Power Plant Prior to Dismantling. Nr. 5, S. 88–91, 2006.

- /SYS 12/ E.ON Kernkraft GmbH, Bereich Rückbau (Syska, B.): Überblick über Stilllegungsaktivitäten der E.ON Kernkraft. 27. März 2012.
- /THI 09/ Thierfeldt, S., Schartmann, F.: Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen, Erfahrungen und Perspektiven. 3. Aufl., 193 S.: Aachen, 2009.
- /TÜV 97/ RWTÜV Essen, TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt, Rheinland/Berlin: Sicherheitsgutachten: Kernkraftwerk Würgassen. Rückbau von Anlagenteilen (Phase 2). 17. November 1997.
- /TÜV 01/ RWTÜV Essen, TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt, Rheinland/Berlin: Sicherheitsgutachten: Rückbau von Anlagenteilen (Phasen 4 und 5) Nutzungsänderung des UNS-Gebäudes. 1. Oktober 2001.
- /UMB 17/ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Philippsburg, Block 1 (KKP 1) - Stilllegungs- und erste Abbaugenehmigung (1. SAG). 379 S., 7. April 2017.
- /VAL 98/ Valencia, L., Prechtel, E.: Die Demontage und Beseitigung des Kernkraftwerkes Niederaichbach (KKN) bis zur "Grünen Wiese" Abschlussbericht. 110 S., April 1998.
- /VER 05/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA): Jahresbericht Strahlenschutz 2005. 108 S., 2005.
- /VER 06/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA): Jahresbericht Strahlenschutz 2006. 109 S., 2006.
- /VER 07/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA): Jahresbericht Strahlenschutz 2007. 103 S., 2007.
- /VER 08/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA): Jahresbericht Strahlenschutz 2008. 100 S., 2008.
- /VER 09/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA): Jahresbericht Strahlenschutz 2009. 98 S., 2009.

- /VER 10/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA):
Jahresbericht Strahlenschutz 2010. 100 S., 2010.
- /VER 11/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA):
Jahresbericht Strahlenschutz 2011. 93 S., 2011.
- /VER 12/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA):
Jahresbericht Strahlenschutz 2012. 89 S., 2012.
- /VER 13/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA):
Jahresbericht Strahlenschutz 2013. 90 S., 2013.
- /VER 14/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA):
Jahresbericht Strahlenschutz 2014. 94 S., 2014.
- /VER 15/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA):
Jahresbericht Strahlenschutz 2015. 100 S., 2015.
- /VER 16/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA):
Jahresbericht Strahlenschutz 2016. 101 S., 2016.
- /VER 17/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA):
Jahresbericht Strahlenschutz 2017. 100 S., 2017.
- /VER 18/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V. (VKTA):
Jahresbericht Strahlenschutz 2018. 93 S., 2018.
- /VGB 13/ C. Topf, L. Sempere-Belda, M. Fischer, K. Tscheschlok und C. Volkmann:
VGB PowerTech 5 (2013), Primärkreisdekontamination im Kernkraftwerk
Unterweser. 2013.
- /VKA 00/ Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e. V. (Herausgeber):
Zur Geschichte der Kernenergie in der DDR. Peter Lang GmbH, Europäischer Verlag der Wissenschaften:
Frankfurt am Main, November 2000.

- /VKT 21/ VKTA, Jansen, S., Michel, F.: „Zuarbeit zum Projekt ‚Einfluss von Rückbaustrategie, -verfahren und Messtechnik beim Rückbau von Kernkraftwerken auf die Freigabe‘“, VKTA-Bericht KS47/2021, 16. Dezember 2021.
- /VKT 22/ VKTA, Jansen, S., Michael, F.: Einfluss von Rückbaustrategie, -verfahren und Messtechnik beim Rück von Kernkraftwerken auf die Freigabe am Forschungsstandort Rossendorf. Teil 2: Fortsetzung Bearbeitung Fragenkatalog (Projektzuarbeit), Arbeitsbericht KS23/2022. 15. September 2022.
- /VOL 06/ Volkmann, B., Engemann, A., Kemp, L.-H.: System Decontamination at the Stade Nuclear Power Station in the Run-up to Dismantling. Nr. 5, S. 85–87, 2006.
- /WEB 2015/Weber, A.: Bevorstehende Herausforderungen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen. Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH, Kerntechnisches Symposium: Dresden, 15. Oktober 2015.
- /WÖR 11/ Wörlen, S., Brenk Systemplanung GmbH, Aachen (Thierfeldt, S.): Innovative Konzepte der Gebäudefreigabe am Beispiel des Kernkraftwerks Würgrassen. Präsentation, 7. Freigabesymposium, TÜV NORD Akademie: Rostock-Warnemünde, Oktober 2011.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Kernkraftwerk Stade an der Elbe /SYS 12/	6
Abb. 2.2	Lage des Kernkraftwerkes Stade und benachbarter Kernkraftwerke /GOO 08/	7
Abb. 2.3	Gebäudeanordnung KKS /KKS 03a/	8
Abb. 2.4	Längsschnitt durch das Reaktorgebäude KKS /KKS 03b/	9
Abb. 2.5	Kernkraftwerk Würgassen während der Betriebsphase /GRS 19a/	11
Abb. 2.6	Lageplan des Kernkraftwerks Würgassen /GOO 22/	12
Abb. 2.7	Gebäudeplan des KWW /BFS 02/	13
Abb. 2.8	Schematischer Längsschnitt durch die Anlage KWW /EON 03/	14
Abb. 2.9	Ansicht des Kraftwerkstandorts Greifswald /EWN 09a/	16
Abb. 2.10	Geografische Lage des KKW Greifswald /GOO 08/	17
Abb. 2.11	Luftbildansicht des Kernkraftwerkstandortes Greifswald /GOO 08/	18
Abb. 2.12	Skizze zur Lage der Gebäude des KRG /GRS 11/	19
Abb. 2.13	Konstruktive Besonderheiten der WWER-Anlage /GRS 91/	20
Abb. 2.14	Schematischer Längsschnitt durch den Anlagentyp WWER-440/W-230 /GRS 98/	21
Abb. 2.15	Reaktordruckgefäße der Anlagen W-230 (links) und W-213 (rechts) /GRS 91/	22
Abb. 2.16	Dampferzeuger der Anlagen W-230 (oben) und W-213 (unten) /GRS 91/	24
Abb. 2.17	Aufsicht der räumlichen Anordnung eines WWER-Reaktors /BFS 02/	25
Abb. 2.18	Druckraumsystem der W-230-Anlage /GRS 91/	29
Abb. 2.19	Schematische Längsquerschnitt durch den Anlagentyp WWER-440/W-213 /GRS 98/	31

Abb. 2.20	Territoriale Lage der RFR-Anlagen; Labortrakt (1) mit Reaktorwarte (2), Reaktorhalle mit Vorhalle und Anbau (3), Pavillon und einen weiteren Anbau (4), Ventilations- und Filtergebäude mit Fortluftschornstein (5), Schauer (6), Trafostation (7), Notstromgebäude (8), Altes Armaturenhaus (9), Armaturenhaus (10), Trockenkühlturm 1 und 2 (11), Rohrleitungen des 2. Kühlkreislaufs (12) /KNA 19/.....	42
Abb. 2.21	Längsschnitt des RFR-Gebäudekomplexes /KNA 19/.....	43
Abb. 2.22	Detaildarstellung des Längsschnitts durch den Reaktor /KNA 19/.....	44
Abb. 2.23	Lage der small facility in Köln /GOO 22a/	47
Abb. 2.24	Schematischer Aufbau repräsentativer DWR /GRS 17/	49
Abb. 2.25	Lageplan des Referenz-DWR /WEB 2015/	50
Abb. 2.26	Schematischer Aufbau repräsentative Anlage SWR /GRS 17/.....	51
Abb. 2.27	Lageplan des repräsentativen SWR /WEB 2015/.....	52
Abb. 2.28	Mögliche Pfade der Verwertung von Reststoffen aus Kontrollbereich (KB) und Überwachungsbereich (ÜB) bei der Stilllegung eines KKW /BRU 17/.....	58
Abb. 2.29	Block „Allgemein“ des Fragenkatalogs.....	67
Abb. 2.30	Block „Prozesse“ des Fragenkatalogs.....	68
Abb. 2.31	Block „Rückbautechniken/Strategien“ des Fragenkatalogs	69
Abb. 2.32	Block „Radiologische Charakterisierung“ des Fragenkatalogs	70
Abb. 2.33	Block „Messtechnik“ des Fragenkatalogs.....	71
Abb. 2.34	Block „Dekontaminationstechniken“ des Fragenkatalogs.....	72
Abb. 2.35	Block „Allgemein“ des an VKTA gerichteten Fragenkatalogs. Im Vergleich zum Fragenkatalog an die Betreiber von Leistungsreaktoren sind zwei Fragen gelöscht worden, die hier nichtzutreffend gewesen wären (Pos. 1.1 und 1.3 wurden ergänzt/angepasst).	93
Abb. 2.36	Block „Prozesse“ des an VKTA gerichteten Fragenkatalogs. Im Vergleich zum Fragenkatalog an die Betreiber von Leistungsreaktoren wurden zwei Fragen hinzugefügt (Pos 2.5 und 2.5a).	95

Abb. 2.37	Block „Rückbautechniken/Strategien“ des an VKTA gerichteten Fragenkatalogs. Im Vergleich zum Fragenkatalog an die Betreiber von Leistungsreaktoren wurden ähnliche Fragen gestellt, jedoch weiter präzisiert (siehe Unterstriche bei den Fragen)	97
Abb. 2.38	Block „Radiologische Charakterisierung“ des an VKTA gerichteten Fragenkatalogs. Im Vergleich zum Fragenkatalog an die Betreiber von Leistungsreaktoren wurde Pos 4.4 (bzgl. FSD) und Pos 4.5 (Brennelementschäden) gelöscht. Die Pos. 4.4, 4.5 und 4.6 sind neu im Fragenkatalog an VKTA.....	99
Abb. 2.39	Block „Messtechnik“ des an VKTA gerichteten Fragenkatalogs. Im Vergleich zum Fragenkatalog an die Betreiber von Leistungsreaktoren wurde keine neuen Fragen gestellt, allerdings wurden die bestehenden Fragen präzisiert (siehe Unterstriche).	101
Abb. 2.40	Block „Dekontaminationstechniken“ des an VKTA gerichteten Fragenkatalogs. Im Vergleich zum Fragenkatalog an die Betreiber von Leistungsreaktoren wurde keine neuen Fragen gestellt, allerdings wurden die bestehenden Fragen teilweise präzisiert (siehe Unterstriche).	102
Abb. 2.41	Hauptabbaurichtungen des Gesamtvorhabens „Stilllegung KGR“ /GRS 19a/.....	111
Abb. 2.42	Draufsicht auf den sogenannten „Hof 91“ mit den Gebäuden 91.1 bis 91.4 in ihren maximalen Dimensionen, sprich einschließlich aller für den Rückbau errichteten Umhausungen und Neubauten /VKT 22/	172
Abb. 2.43	Gebäude des Rückbaukomplex 2 im Jahr 1999 (Aufnahme vor Beginn der Rückbauarbeiten bzw. Umbauten im Betriebshof) /VKT 22/	172
Abb. 2.44	Luftbild vom FSR mit Markierung und Benennung der wesentlichen Anlagen, die rückzubauen waren /VKT 22/	176
Abb. 2.45	Erdgeschoss-Grundriss des Freimesszentrums /VKT 22/	177
Abb. 2.46	Freimesszentrum mit Betriebshof; rechts im Hintergrund ist die Leichtbauhalle des Pufferlagers zu erkennen /VKT 22/.....	178
Abb. 2.47	Momentaufnahme der Tätigkeiten auf einem Pufferlagerausschnitt im Jahr 2013 während der „Hochzeiten“ des Rückbaus /VKT 22/	179
Abb. 2.48	Im Rahmen von Druckstrahlversuchen ermittelter Dekontaminationserfolg an Bleisteinen des Rückbauprojekts AMOR in Abhängigkeit der angewendeten Strahldurchgänge	205

Abb. 2.49	Messdaten der Untersuchung der ^{14}C -Gehalte in der Atmosphäre aus Vermont, Österreich /LEV 94/. Angaben als relative Erhöhung $\Delta^{14}\text{C}$ in ‰; d. h. $\Delta^{14}\text{C} = 1.000$ entspricht $F^{14}\text{C} = 2$.	209
Abb. 2.50	Entsorgungspfad A: Massenströme Beton (KGR)	222
Abb. 2.51	Entsorgungspfad A: Massenströme Metallschrott (KGR). Metallschrott stellt neben Beton eine weitere relevante Masse dar, die jährlich uneingeschränkt freigegeben wird	223
Abb. 2.52	Entsorgungspfad B: Verbrennung (KGR)	224
Abb. 2.53	Entsorgungspfad B: Deponierung (KGR)	225
Abb. 2.54	Einteilung der Freigabeablaufpläne (FAP) für KMK ab 2013 (entnommen aus /KMK 18/)	236
Abb. 2.55	Zeitlicher Verlauf der uneingeschränkt freigegebenen Massen (Pfad A) nach Materialart sowie der Beseitigung (Pfad B1: Deponierung, Pfad B3: Verbrennung) freigegebenen Massen aus dem Kontrollbereich	237
Abb. 2.56	Zeitlicher Verlauf der Anteile uneingeschränkt freigegebener Massen (Pfad A) nach Materialart sowie der zur Beseitigung (Pfad B1: Deponierung, Pfad B3: Verbrennung) freigegebenen Massen an der insgesamt freigegebenen Masse aus dem Kontrollbereich	238
Abb. 2.57	Freigegebene Massen im Pfad A ohne Metalle, Beton	239
Abb. 2.58	Freigegebene Massen an Beton im Pfad A nach Nuklidvektor	239
Abb. 2.59	Freigegebene Massen an Metallen im Pfad A nach Nuklidvektor	240
Abb. 2.60	Freigegebene Massen im Pfad A nach FAP	240
Abb. 2.61	Freigegebene Massen an Beton im Pfad A nach FAP	241
Abb. 2.62	Freigegebene Massen im Pfad B für alle Materialien	242
Abb. 2.63	Freigegebene Massen an Metallen im Pfad B nach Nuklidvektor	242
Abb. 2.64	Freigegebene Massen im Pfad B nach Entsorgungsklasse und FAP	243
Abb. 2.65	Freigegebene Massen an Beton im Pfad B nach Entsorgungsklasse und FAP	244
Abb. 2.66	Im Zeitraum 2008 bis 2018 pro Kalenderjahr in Freigabeverfahren geführte Massen	250

Abb. 2.67	Massen von im Zeitraum 2008 bis 2018 pro Kalenderjahr in Freigabeverfahren geführte Baugruben, Bodenflächen sowie Bodenaushub	251
Abb. 2.68	Zweckgerichtet zur Beseitigung oder zum Einschmelzen bzw. der Wiederverwendung von Metallen freigegebene Massen, die im Zeitraum 2008 bis 2018 pro Kalenderjahr in Freigabeverfahren geführt wurden.....	251
Abb. 2.69	Massen von im Zeitraum 2008 bis 2018 pro Kalenderjahr in Freigabeverfahren geführte Gebäude zum Abriss oder zu Weiterverwendung.....	252
Abb. 2.70	Massen von im Zeitraum 2008 bis 2018 pro Kalenderjahr in Freigabeverfahren geführte Stoffe, die entweder nach Anlage III Tab. 1 Spalte 5 („uneing.“) oder nach 9 (bzw. 9a – d) bzw. 14 /SSV 01/ („eing.“) freigegeben wurden.....	252
Abb. 2.71	<i>(linkes Bild)</i> Blick auf die Rollenbahn mit Anschluss an den GAR-1 Ringtunnel (roter Pfeil) und die Gitterplätze für Brennelemente im AB <i>(rechtes Bild)</i> . Draufsicht GAR 1 und AB 2 /HIE 09/.....	256
Abb. 2.72	Schnittdarstellung RFR mit Darstellung der Heißen Zellen 1 - 4 (gelb umrandet v. r. n. l.) /HIE 09/.....	259
Abb. 2.73	<i>(linkes Bild)</i> ferngesteuerter, elektrohydraulischer Kleinbagger auf einer Stampfbetonwand der Heißen Kammern, <i>(rechtes Bild)</i> Bediener in sicherer Entfernung.....	261
Abb. 2.74	Vergleich der Sichtbereiche des kollimierten/unkollimierten ISG-Spektrometers	263

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Massen in Kontroll-, Überwachungs- und Sonstigem Bereich (repräsentativer DWR).....	50
Tab. 2.2	Massen in Kontroll-, Überwachungs- und Sonstigem Bereich (repräsentativer SWR).....	52
Tab. 2.3	Aufteilung der Massen auf die einzelnen Entsorgungspfade in [Mg] aus dem Rückbau des Repräsentativer-DWR und -SWR	61
Tab. 2.4	Abschätzung der Stilllegungsmassen und Entsorgungspfade für ausgewählte (anonymisierte) Leistungsreaktoren in Deutschland. Pfad C (Abklinglagerung) ist nicht aufgeführt, da davon auszugehen ist, dass diese Massen in die Pfade A und B einfließen.	62
Tab. 2.5	Verwendete Feststoffproben für die ¹⁴ C-Messungen.....	207
Tab. 2.6	Messwerte der AMS-Messungen	208
Tab. 2.7	Spezifische Aktivität der ausgebohrten Proben und zugewiesene Flächenaktivität. Die Unsicherheit der letzten Stellen ist jeweils in Klammern angegeben.	210
Tab. 2.8	Verwendete Feststoffproben für die ³⁶ Cl-Messungen.....	212
Tab. 2.9	Messwerte der AMS-Messungen: ³⁶ Cl / ³⁵ Cl-Verhältnis, Erhöhung gegenüber dem natürlichen ³⁶ Cl / ³⁵ Cl-Verhältnis (F ³⁶ Cl), Anzahl der ³⁶ Cl-Atome in der Probe und Umrechnung in Aktivität A	213
Tab. 2.10	Spezifische Aktivität der ausgebohrten Proben und zugewiesene Flächenaktivität (die Unsicherheit der Werte beträgt etwa 4 %, siehe oben)	215
Tab. 2.11	Verwendete Feststoffproben für die ²³⁹ Pu-Messungen.....	217
Tab. 2.12	Messwerte der AMS-Messungen: ^{239/242} Pu-Verhältnis, Umrechnung in spezifische Aktivität A [Bq/g], ^{240/242} Pu-Verhältnis.....	218
Tab. 2.13	Zuordnung der Kampagnen und Betonmassen zu den Entsorgungsjahren mit hohem jährlichen Massenstrom.....	227
Tab. 2.14	Für die hohen Betonmassenströme verantwortliche Kampagnen mit den Randbedingungen bezüglich Kampagnenzeitraum, Radiologie und Masse gemäß Chargenblätter der EWN GmbH	228
Tab. 2.15	Festgelegte Entsorgungsziele und Klassen für die in der Anlage KMK anfallenden Reststoffe /KMK 13a/.....	233

Tab. 2.16	Charakteristika der Diagramme und Ereignisse	244
Tab. 2.17	Freigabepfade und ihre Bilanzfälligkeit	247
Tab. 2.18	Im Zeitraum 2008 bis 2018 pro Kalenderjahr bewertete Anzahl an Freigabeobjekten nebst Anzahl der Freigabevorgänge und bewerteter Massen	248

Abkürzungsverzeichnis

AG	Abbaugenehmigung
ALfR	aktives Lager für flüssige und feste radioaktive Abfälle, Reinsberg
ALK	Auslaufkanal
AMDA	Automatische Modulare Dekontaminations-Anlage
AMS	Accelerator Mass Spectrometry
AMS	Beschleunigermassenspektrometrie
AtG	Atomgesetz
ATV	Abschirm- und Transportvorrichtungen
BEB	Brennelementbecken
BfE	Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit
BSK	Bodensanierungskonzept
CAMC	Contact-Arc-Metal-Cutting
DE	Dampferzeiger
DH	Druckhalter
DN	Nennweite
DWR	Druckwasserreaktor
EFN	Einzelfallnachweis
EKK	E.ON Kernkraft GmbH
EM	Entscheidungsmessung
EnKK	EnBW Kernkraft GmbH
ERAM	Endlager Morsleben
EWN	Energiewerke Nord GmbH

FAP	Freigabeablaufplänen
FD-Leitung	Frischdampfleitung
FMA	Freimessanlage
FSD	Full System Decontamination, Primärkreiskontamination
FSR	Forschungsstandort Rossendorf
GAR 1	Gammabestrahlungsanlage Rossendorf
GKN 1	Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim 1
GKN 2	Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim 2
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH
GSG	Gemeinsamen Spezialgebäude
HAS	Hauptabsperrschieber
HD	Hochdruck-Einspeisung
HDV	Hochdruckvorwärmer
HSE	Health Safety Environment, Arbeitssicherheit
HUL	Hauptumwälzleitung
HUP	Hauptumwälzpumpe
IBK	Isotopenbestrahlungskassetten
IBS	Inbetriebsetzung
ISG	In-situ-Gammaspektrometrie
KB	Kontrollbereich
KBR	Kernkraftwerk Brokdorf
KGR	Kernkraftwerk Greifswald
KKB	Kernkraftwerk Brunsbüttel

KKE	Kernkraftwerk Emsland
KKG	Kernkraftwerk Grafenrheinfeld
KKG BELLA	Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente, Greifswald
KKI 1	Kernkraftwerk Isar 1
KKI 2	Kernkraftwerk Isar 2
KKK	Kernkraftwerk Krümmel
KKN	Kernkraftwerk Niederaichbach
KKP 1	Kernkraftwerk Phillipsburg 1
KKP 2	Kernkraftwerk Phillipsburg 2
KKR	Kernkraftwerk Rheinsberg
KKS	Kernkraftwerk Stade
KKU	Kernkraftwerk Unterweser
KMK	Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich
KRB-A	Kernkraftwerk Grundremmingen Block A
KRB-II-B	Kernkraftwerk Grundremmingen Block B
KRB-II-C	Kernkraftwerk Grundremmingen Block C
KrW-/AbfF	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KWB-A	Kernkraftwerk Biblis-A
KWB-B	Kernkraftwerk Biblis-B
KWG	Kernkraftwerk Grohnde
KWL	Kernkraftwerk Lingen
KWO	Kernkraftwerk Obrigheim

KWW	Kernkraftwerk Würgassen
LarA	Lager für radioaktive Abfälle, Stade
Lasma	Lager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle und Reststoffe, Brunsbüttel
ND	Niederdruck-Einspeisung
OFK	Oberflächenkontaminationsmonitor
OM	Orientierungsmessung
PEL	PreussenElektra GmbH
QS	Qualitätssicherungsprogramm Strahlenschutzmesstechnik ?
RAKE	Rosendorfer Anordnung für kritische Experimente
RBMK	leichtwassergekühlter graphitmoderierter Druckröhrenreaktor
RDG	Reaktordruckgefäß
RECU	rekuperativer Wärmetauscher
RFR	Rosendorfer Forschungsreaktor
RRR	Rosendorfer Ringzonenreaktor
SAAS	Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz
SAS	Schnellabschaltsystem
SE	Sicherer Einschluss
SG	Spezialgebäude
SG	Stilllegungsgenehmigung
SMUL	Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung
StMUG	Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit
StMUV	Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung

SUS	Steuer- und Schutzsystem
SWA	speziellen Wasseraufbereitung
SWP	Speisewasserpumpe
SWR	Siedewasserreaktor
TG	Turbogenerator
TBH	Transportbereitstellungshalle
TP	Teilprojekt
UM-BW	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg
UNS	unabhängige Nachkühlsystem
VKTA	Strahlenschutz und Analytik & Entsorgung Rossendorf e. V.
VU	Voruntersuchung
WASS	Wasserabrasivsusensionsschneiden
WWER	wassergekühlter wassermoderierter energetischer Druckwasserreaktor
ZAB	Zwischenlager für abgebrannte Brennstoffe
ZAW	Zentrale Aktive Werkstatt
ZfK	Zentralinstitut für Kernforschung
ZKKL-HUP	Zwischenkühlkreislauf
ZLN	Zwischenlager Nord
ZSA	Neutralisationsanlage

A Kurzinformation zu den Kernkraftwerken in Deutschland

A.1 Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim 1 (GKN 1)

Kurzbeschreibung

Das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim besteht aus zwei Blöcken, dem GKN 1 und dem GKN 2. Nach vier Jahren Bauzeit nahm das Kernkraftwerk Neckarwestheim 1 den ersten Leistungsbetrieb am 3. Mai 1976 und den Dauerbetrieb am 01. Dezember 1976 auf. In den 35 Jahren Betriebsdauer erzeugte das KKW 186,8 TWh elektrische Energie. Der Druckwasserreaktor des Kernkraftwerkes Neckarwestheim 1 besaß eine thermische Leistung von 2.497 MW und erzeugte im Vollastbetrieb eine elektrische Brutto-Generatorleistung von 840 MW (davon 152 MW Bahnstrom). Nach der Atomgesetzänderung (13. AtG-Novelle) wurde das GKN 1 im März 2011 zunächst vorübergehend und am 6. August 2011 endgültig abgeschaltet /ENB 14/, /GRS 19a/.

Der erste Antrag auf Stilllegung und Rückbau wurde am 24. April 2013 durch den Betreiber, die EnBW Kernkraft GmbH (EnKK) bei dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg (UM-BW) eingereicht und am 3. Februar 2017 genehmigt /GRS 19a/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Neckarwestheim befindet sich am rechten Neckarufer in der Gemeinde Neckarwestheim im Landkreis Heilbronn im Bundesland Baden-Württemberg. Der Standort liegt ca. 15 km südlich von Heilbronn.

Stand der Stilllegung

Im April 2011 wurden die Brennelemente aus dem Kern entladen und im Brennelement-lagerbecken des Kernkraftwerks Neckarwestheim 1 gelagert. Die abgebrannten Brennelemente sollten in Transport- und Lagerbehälter des Typs CASTOR-V/19 überführt und bis Mitte 2018 in das Standortzwischenlager gebracht werden. Auf Grund eines derzeitigen Mangels an Transport- und Lagerbehältern vom Typ CASTOR, muss von einem längerfristigen Verbleib der Brennelemente in den Lagerbecken ausgegangen werden. Im Jahr 2016 befanden sich noch 173 Brennelemente, sowie ein Köcher mit 35 Brennstäben im Lagerbecken /GRS 19a/, /ASK 17a/.

Die Primärkreisdekontamination wurde nach Zustimmung des UM-BW planmäßig und ohne Zwischenfälle im 2. Quartal 2013 mit einem Dekontfaktor von ca. 80 abgeschlossen /ASK 17a/.

Für die Errichtung eines neuen Lagers für radioaktive Abfälle und eines neuen Reststoffbehandlungszentrums wurden im April 2014 Anträge auf die Bau- und auf Umgangsge-
nehmigungen nach § 7 StrlSchV (alt) eingereicht. Die Bauarbeiten haben im 2. Quartal 2016 begonnen /GRS 19a/.

A.2 Gemeinschaftskernkraftwerk Neckerwestheim 2 (GKN 2)

Das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim besteht aus zwei Blöcken, dem GKN 1 und dem GKN 2. Der Druckwasserreaktor des GKN 2 wurde 1989 in Betrieb genommen. Aufgrund der Atomgesetznovelle von 2011 muss der Leistungsbetrieb spätestens zum Ende des Jahres 2022 eingestellt werden. Der Antrag auf eine erste Stilllegungs- und Abbaugenehmigung wurde bereits im Juli 2016 gestellt /ENB 22/.

Betrieben wird KRB-II-C (Neckarwestheim, Landkreis Heilbronn, Baden-Württemberg) von der EnBW Kernkraft GmbH (EnKK).

A.3 Kernkraftwerk Philippsburg 1 (KKP 1)

Kurzbeschreibung

Am 1. Oktober 1970 wurde mit dem Bau des Kernkraftwerks Philippsburg 1 begonnen. Die erste Kritikalität wurde am 9. März 1979 erreicht. Am 5. Mai 1979 ging die Anlage erstmalig ans Stromnetz und am 26. März 1980 begann der kommerzielle Dauerbetrieb. Innerhalb 31 Jahren Betriebsdauer erzeugte KKP 1 187,55 TWh elektrische Energie. Der Siedewasserreaktor besaß eine thermische Leistung von 575 MW und erzeugte im Vollastbetrieb eine elektrische Brutto-Generatorleistung von 926 MW. Nach der 13. Novelle des Atomgesetzes erfolgte die Abschaltung im März 2011 zunächst vorübergehend und am 6. August 2011 endgültig /GRS 19a/.

Der erste Antrag auf Stilllegung und Rückbau vom 24. April 2013 wurde durch den Betreiber, die EnBW Kernkraft GmbH (EnKK) bei dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg (UM-BW) gestellt und am 7. April

2017 genehmigt /ENB 13/, /UMB 17/. Der Antrag für die zweite Abbaugenehmigung wurde am 21. Dezember 2017 beim UM-BW eingereicht und beinhaltet den Abbau des biologischen Schildes, des Brennelementlagerbeckens und des Flutraumes über dem RDB /ENB 17/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Philippsburg befindet sich am rechten Rheinufer auf der Gemarkung der Stadt Philippsburg im Landkreis Karlsruhe im Bundesland Baden-Württemberg. Der Standort liegt ca. 25 km nördlich von Karlsruhe /GRS 19a/.

Stand der Stilllegung

Im Januar 2012 wurden die Brennelemente aus dem Kern entnommen und lagerten zunächst im Brennelementlagerbecken in CASTOR-V/52-Behältern. Bis Ende 2016 wurden alle Brennelemente ins Standortzwischenlager verbracht. Eine Primärkreisdekontamination wurde Ende 2013 durchgeführt /GRS 19a/. Seit dem Demontagebeginn am 2. Mai 2017 wurde der RDB-Deckel abgenommen und zerlegt, der RDB von allen anbindenden Systemen getrennt, der Flutraum gefüllt und mit der Zerlegung von Kerneinbauten begonnen /ENB 18/. Die ersten Schnitte am Dampftrockner fanden im November 2017 statt und bis zum Ende 2017 wurden 2.915 Mg Masse abgebaut. Bereits Ende 2013 wurde eine Systemdekontamination im Reaktorwasserreinigungssystem und im Reaktordruckbehälter durchgeführt (mittlerer Dekontfaktor: 89 /BRE 15/).

Das Rückbauende inklusive des sich an die Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung anschließenden konventionellen Abrisses wird nach Angabe des Betreibers voraussichtlich spätestens für das Jahr 2032 erwartet.

A.4 Kernkraftwerk Obrigheim (KWO)

Kurzbeschreibung

Das Kernkraftwerk Obrigheim war erstmals kritisch am 22. September 1968 und nahm seinen Leistungsbetrieb im Jahre 1969 auf. Der kommerzielle Leistungsbetrieb begann am 31. März 1969. Gemäß Vereinbarungen des Atomkonsens wurde das KKW nach 36 Jahren Betriebsdauer am 11. Mai 2005 abgeschaltet. Der Druckwasserreaktor besaß

eine thermische Leistung von 1.050 MW und erzeugte im Vollastbetrieb eine elektrische Brutto-Generatorleistung von 357 MW /GRS 19a/.

Der Betreiber, die EnBW Kernkraft GmbH stellte am 21. Dezember 2004 nach § 7 Abs. 3 AtG einen Antrag auf Stilllegung und Rückbau. Die erste Stilllegungs- und Abbaugenehmigung wurde am 28. August 2008 erteilt und ab dem 15. September 2008 wurde von ihr Gebrauch gemacht. Die Weiterführung des erforderlichen Betriebs von Anlagen, Anlagenteilen, Systemen und Komponenten wurde dabei erlaubt, soweit diese für die Stilllegung und den Abbau sowie für die Aufrechterhaltung eines sicheren Zustandes des KKW erforderlich sind. Die zweite Stilllegungsgenehmigung wurde am 24. Oktober 2011 erteilt und beinhaltet im Wesentlichen den Abbau von Anlagenteilen im Kontrollbereich und ein optimiertes betriebliches Regelwerk /ASK 15c/. Am 30. April 2013 wurde die dritte Abbaugenehmigung erteilt und damit der Abbau der RDB-Einbauten, des RDB-Unterteils, des Biologischen Schilds und weiterer baulicher Anlagenteile im Reaktorgebäude genehmigt. Die vierte und letzte Stilllegungs- und Abbaugenehmigung wurde am 3. November 2015 gestellt. Diese beinhaltet den Abbau der restlichen Systeme /ASK 18b/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Obrigheim befindet sich am linken Neckarufer der Gemeinde Obrigheim im Neckar-Odenwald-Kreis im Bundesland Baden-Württemberg. Der Standort liegt ca. 30 km östlich von Heidelberg /GRS 19a/.

Stand der Stilllegung

In der Nachbetriebsphase wurden insgesamt 342 Uran- und MOX-Brennelemente aus dem Lagerbecken des Reaktorgebäudes das externe Brennelement-Nasslagerbecken im Notstandsgebäude überführt. Im Anschluss wurden die Brennelemente zur trockenen stehenden Langzeitzwischenlagerung in CASTOR-440/84-mvK-Behältern in ein Trockenlager verbracht. Zunächst wurde ein Antrag für ein entsprechendes Trockenlager am 22. April 2005 mit Änderungen am 31. Oktober 2007 nach § 6 AtG beim Bundesamt für Strahlenschutz gestellt, jedoch mittlerweile wieder zurückgezogen. Am 10. Dezember 2013 wurde ein Antrag zur Änderung der Aufbewahrungsgenehmigung beim BfS gestellt und am 9. August 2016 wurde die 6. Änderungsgenehmigung für das Zwischenlager von GKN für die Einlagerung der 15 CASTOR-Behältern aus KWO vom Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) erteilt. Am 27. März 2014 wurde der Antrag für

der Transport der CASTOR-Behälter von Obrigheim nach Neckarwestheim mit der bevorzugten Transportvariante „Transport über Schifffahrtswege“ und der Alternative „Transport auf der Straße“ beim BfS eingereicht. Die Überführung der Brennelemente bestand aus fünf Transporten mit jeweils drei CASTOR-440/84-mvK-Behältern und wurde in dem Zeitraum zwischen dem 27. Juni 2017 und dem 19. Dezember 2017 ohne technische Probleme durchgeführt. Seit diesem Zeitpunkt ist die Anlage KWO brennelementefrei /ASK 18b/. Im 1. Quartal 2007 wurde eine Systemdekontamination des Primärkreises und der angeschlossenen Hilfssysteme durchgeführt, wodurch die Ortsdosisleistung im Bereich des Primärkreises um mehr als den Faktor 600 abgesenkt wurde /GRS 19a/.

Mit der 1. SAG wurden Anlagenteile im Überwachungsbereich, wie z. B. der Sekundärkreis des Kernkraftwerks Obrigheim abgebaut /ASK 15c/. Im Rahmen des 2. SAG wurde der Rückbau des Primärkreises abgeschlossen. Der Dampferzeuger und die Hauptkühlmittelpumpe wurden Ende Mai 2012 zur Zerlegung zu den Energiewerken Nord (EWN) nach Lubmin verschifft /ASK 12b/. Mit der 3. AG wurde hauptsächlich der Abbau im Reaktorgebäude und im Reaktorhilfsanlagengebäude weitergeführt. Der Abbau der RDB-Einbauten wurde abgeschlossen und das RDB-Unterteil zerlegt. Mit dem Abbau des biologischen Schildes wurde begonnen /ASK 18b/.

A.5 Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG)

Kurzbeschreibung

Im Jahre 1974 wurde mit dem Bau des Kernkraftwerks Grafenrheinfeld durch die Bayernwerk AG begonnen und die erste Kritikalität wurde am 9. Dezember 1981 erreicht. Der Druckwasserreaktor der dritten Generation („Vor-Konvoi“-Anlage) von Siemens/KWU besaß eine thermische Leistung von 3.765 MW und eine elektrische Leistung von 1.345 MW. Am Standort wurde zudem am 1. März 2006 ein Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente (KKG BELLA) in Betrieb genommen. Nach Inkrafttreten der 13. Novelle des Atomgesetzes am 6. August 2011 wurde aufgrund § 7 Abs. 1a Nr. 2 AtG die Berechtigung zum Leistungsbetrieb auf den 31. Dezember 2015 begrenzt. Aus wirtschaftlichen Gründen wurde das KKW am 27. Juni 2015 vom Netz genommen /GRS 19a/, /EON 16/.

Der erste Antrag auf Stilllegung und Rückbau wurde am 28. April 2014 durch den Betreiber PreussenElektra GmbH (PEL) (ehemals E.ON Kernkraft GmbH (EKK)) an das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) gestellt und am 11. April 2018 genehmigt. Seit diesem Zeitpunkt befindet sich die Anlage in der Restbetriebs- bzw. Abbauphase /BSU 18/, /GRS 19a/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Grafenrheinfeld befindet sich am östlichen Mainufer auf dem Gebiet der Gemeinde Grafenrheinfeld im Landkreis Schweinfurt im Regierungsbezirk Unterfranken (Bayern) /GRS 19a/.

Stand der Stilllegung

Der nukleare Rückbau wurde im April 2018 begonnen (/PEL 18/). Seit dem 15. Mai 2018 wurden Brennelemente aus dem BE-Lagerbecken in CASTOR-Behälter beladen und in das Standortzwischenlager verbracht /GRS 19a/.

In den bestehenden Kontrollbereichen werden Einrichtungen für die Reststoffbehandlung, sodass eine Vielzahl an Rückbauarbeiten darin vorgenommen werden können und im Ringraum des Reaktorgebäudes wird eine Anlage zur Aufbereitung der Borsäure eingerichtet /GRS 19a/.

Das KKG ist das einzige Kernkraftwerk weltweit in dem zwei vollständige Primärkreisdekontaminationen („Full System Decontamination“ (FSD)) während der Betriebszeit durchgeführt wurden. Die erste FSD im Jahr 2010 wurde mit dem von AVERA entwickelten HP/CORD® UV-Verfahren und AMDA® (Automatische Modulare Dekontaminations-Anlage) durchgeführt und erzielte einen Dekontfaktor von 60,5. Die zweite FSD erfolgte in der Nachbetriebsphase in der zweiten Jahreshälfte 2016 und erzielte einen Dekontfaktor von 139,3. Der konzeptionelle und chemische Ansatz war die Integration von möglichst vielen Anlagensystemen, um die Kontakt- und Umgebungs-dosisleistung effizient zu minimieren. Ein Hauptaspekt dabei war es die Behandlung des rekuperativen Wärmetauschers (RECU) als Einzelkomponente zu optimieren /GRS 19a/.

A.6 Kernkraftwerk Isar 1 (KKI 1)

Kurzbeschreibung

Am 01. Mai 1972 wurde mit dem Bau des Kernkraftwerks Isar 1 begonnen. Die erste Kritikalität wurde am 20. November 1977 erreicht. Am 3. Dezember begann der Leistungsbetrieb und am 21. März 1979 der Dauerbetrieb. Innerhalb 32 Jahren Betriebsdauer erzeugte KKI 1 198,27 TWh elektrische Energie. Der Siedewasserreaktor besaß eine thermische Leistung von 2.575 MW und erzeugte eine elektrische Bruttoleistung von 912 MW. Auf Grund der Atomgesetzänderung (13. AtG-Novelle) erfolgte die Einstellung des Leistungsbetriebs am 6. August 2011 /EON 14/, /GRS 19a/.

Der erste Antrag auf Stilllegung und Rückbau wurde am 4. Mai 2012 durch den Betreiber PreussenElektra GmbH an das Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG, heute Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV)) gestellt und am 17. Januar 2017 genehmigt /EON 12/, /BSU 17/. Seit diesem Zeitpunkt befindet sich KKI 1 im Stilllegungs- bzw. Restbetrieb. Die Nutzung der 1. SAG wurde am 31. Januar 2017 beantragt und am 2. März 2017 vom StMUV zugestimmt. Am 28. Februar 2017 hat der BUND Naturschutz in Bayern e.V. eine Anfechtungsklage gegen die 1. SAG beim Bayerischen Verwaltungshof erhoben. Durch ein Schreiben vom 15. Februar wurde vom Genehmigungsinhaber die Anordnung der sofortigen Vollziehung beantragt, welcher durch das StMUV angeordnet wurde /ASK 17b/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Isar 1 befindet sich am Ufer der Isar bei Essenbach und Landshut im Bundesland Bayern /GRS 19a/.

Stand der Stilllegung

Seit Inanspruchnahme der Stilllegungs- und Abbaugenehmigung wurden 28 Stillsetzungsvorhaben und 5 Demontagevorhaben vorgelegt, 10 Stillsetzungsvorhaben und 1 Demontagevorhaben wurden davon abgeschlossen. Diese beinhalten hauptsächlich Systeme im Maschinenhaus /ASK 18c/.

A.7 Kernkraftwerk Niederaichbach (KKN)

Kurzbeschreibung

Das Kernkraftwerk Niederaichbach wurde zwischen 1966 und 1972 erbaut. Die erstmalige Kritikalität erfolgte am 17. Dezember 1972 und der Netzbetrieb begann im Januar 1973. Der schwerwassermoderierte und Kohlendioxid-gekühlte Druckröhrenreaktor besaß eine elektrische Bruttoleistung von 106 MW. Am 31. Juli 1974 wurde das KKN aufgrund technischer Schwierigkeiten und der Entwicklung von Leichtwasserreaktoren abgeschaltet /VAL 98/, /GRS 19a/.

Am 21. Oktober 1975 wurde die Genehmigung zur Überführung in den Zustand des „Sicheren Einschlusses“ durch die StMLU erteilt /BSU 75/. Am 31. März 1980 wurde die Genehmigung zur totalen Beseitigung der Anlage beantragt und am 6. Juni 1986 erteilt /BSU 86/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Niederaichbach befand sich am linken Isarufer im niederbayerischen Landkreis Landshut im Bundesland Bayern /GRS 19a/.

Stand der Stilllegung

In der ersten Stufe der Stilllegung, die Überführung in den „Sicheren Einschluss“ erfolgte die Entsorgung von Brennelementen und Betriebsmedien, die Demontage von nicht kontaminierten Systemen und Anlagenteilen sowie von den durch Betriebsmedien kontaminierten Systemen und Anlagenteilen außerhalb des Sicherheitsbehälters und von Lüftungs- und Abwasseranlagen. Der Prozess wurde im Jahr 1981 beendet /VAL 98/.

Der Beginn der Abbauarbeiten erfolgte im ersten Quartal 1987. Zunächst wurden die nicht-radioaktiven Anlagenteile abgebaut und ab 1988 begann die Demontage des aktivierten und kontaminierten Materials. Die Stilllegung wurde am 17. August 1995 beendet und der Zustand der „Grünen Wiese“ hergestellt. Dies war der erste vollständige Abbau eines Kernkraftwerkes in Europa /GRS 19a/.

A.8 Kernkraftwerk Gundremmingen Block A (KRB-A)

Kurzbeschreibung

Im Dezember 1962 wurde mit dem Bau des Blockes A des Kernkraftwerks Gundremmingen begonnen. Die erste Kritikalität wurde im Dezember 1966 erreicht. Der Drei-Loop-Siedewasserreaktor mit Sekundärdampferzeugern besaß eine thermische Leistung von 801 MW und erzeugte eine elektrische Bruttoleistung von 250 MW (Netto 237 MWe). KRB-A war der erste kommerziell betriebene Leistungsreaktor in Deutschland und galt damals als leistungsfähigster Siedewasserreaktor. In der Anlage wurden erstmalig Reaktorinterne Wasser-Dampf-Abscheide- und Dampftrocknungsanlagen in einem Siedewasserreaktor eingesetzt. Ein Störfallereignis im Jahre 1977 hatte die Freisetzung von Primärkühlmittel in das Reaktorgebäude zur Folge. Aus wirtschaftlichen Gründen wurden Maßnahmen zu einer weitreichenden Ertüchtigung des Primärkreislaufes verworfen und der Betreiber beschloss am 8. Januar 1980 die Anlage stillzulegen /GRS 19a/.

Die erste Stilllegungsgenehmigung wurde am 26. Mai 1983 erteilt /BAY 83/. Im Rahmen dieser Genehmigung und weiteren Änderungsgenehmigungen wurden bis 1989 die am Standort befindlichen Brennelemente abtransportiert und zur Wiederaufbereitung gebracht /SLU 89/. Die zweite Stilllegungsgenehmigung wurde am 8. September 2000 erteilt und beinhaltet einen phasenweisen Abbau und die Dekontamination des Reaktorgebäudes. Am 5. Januar 2006 wurde die 13. Änderungsgenehmigung zur Nutzung von Teilen der Anlage (Aufbereitungsgebäude mit Fortluftkamin, Maschinenhaus, Betriebsgebäude, Werkstatt- und Lagergebäude, Kühlwasserpumpenhaus mit Einlaufbauwerk, Dieselgebäude, Lagerhalle) als Technologiezentrum für Dekontaminationsarbeiten und die Abfallbehandlung der Blöcke II-B und II-C genehmigt /BSU 06/, /GRS 19a/.

Das Rückbauprojekt KRB-A wurde von der EU-Kommission im Zeitraum zwischen 1989 und 1996 als Pilotprojekt für den Abbau einer kerntechnischen Anlage gewählt und entsprechend gefördert. Im Zuge des Projekts wurden zahlreiche Verfahren zur Zerlegung und Dekontamination erstmalig entwickelt und erprobt. Der daraus entstandene Erkenntnisgewinn konnte auch bei Stilllegungen von kerntechnischen Anlagen im In- und Ausland genutzt werden /GRS 19a/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Gundremmingen befindet sich am rechten Donauufer in Gundremmingen im schwäbischen Landkreis Günzburg im Regierungsbezirk Schwaben (Bayern). Der Standort liegt ca. 50 km entfernt von Ulm bzw. von Augsburg /GRS 19a/.

Stand der Stilllegung

Das Stilllegungskonzept besteht aus drei Phasen.

In der ersten Phase wurden zwischen 1983 und 1990 schwach kontaminierte Maschineneinbauten abgebaut. Dabei handelte es sich um ca. 4.000 bis 4.500 Mg Material, welches größtenteils nach Dekontamination und Freigabe dem Schrottkreislauf rückgeführt werden konnte /GRS 19a/.

Die zweite Phase beinhaltete kontaminierte Systeme des Reaktorgebäudes. Zum Einsatz kamen fernhantierte Zerletechniken an Luft innerhalb speziell abgegrenzter Räume unter Vermeidung einer hohen Aerosolfreisetzungsrates. Für Bauteile mit einem Durchmesser unter 4 m kamen verschiedener Sägen unter geringer Aerosolfreisetzung zum Einsatz. Die Demontage vor Ort und die Zerlegung komplexer Bauteile wurde aufgrund der hohen Schneidgeschwindigkeit mittels thermischer Trennverfahren (autogenes Brennschneiden, Plasmaschmelzen) durchgeführt. Der erstmalige Einsatz von Eissägen für den Abbau einer kerntechnischen Anlage erfolgte bei hoch kontaminierten Anlagenteilen (Leerlaufkühler, Primärreinigungskühler und Sekundärdampferzeuger) mit Dosisleistungen bis zu 10,3 mSv/h /GRS 19a/. Dabei wurden die Anlagenteile zunächst mit Wasser befüllt und die primärseitigen Rohrleitungen mit Kaltluft durchströmt, wodurch diese für bis zu sechs Monate auf -20 °C abgekühlt werden. Die anschließende Zerlegung erfolgte mit einer Bandsäge /CND 15/. Nach dem Auftauprozess in einem absaugfähigen Zelt wurden die erhaltenen Stücke (Schüsse von ca. 80 cm) zerlegt. Durch Verwendung des Eissägens wird die Aerosolproduktion während der Zerteilung minimiert, die innengelagerten Kompartimente, insbesondere die Dampferzeugerröhren werden fixiert, die Vibration beim Sägen wird minimiert, durch die Abschirmung wird die lokale Dosisleistung reduziert und es erfolgt eine automatische Kühlung des Sägeblattes. Der Abbau der drei Sekundärdampferzeuger belief sich auf 1,5 Jahre /BFS 02/. Mithilfe des Elektro-Poliervorgangs in 40%iger Phosphorsäure in einem Tauchbecken wurden Sekundärdampferzeuger und andere abgebaute metallische Anlagenteile mit fest haf-

tender Kontamination dekontaminiert. Die Stromversorgung erfolgte durch einen Gleichrichter mit Stromstärken von 6.000 A bzw. 4.000 A. Während der 3- bis 8-stündigen Behandlungsdauer geht Eisen in Form von abgetragener Kontamination und Grundmaterial in Lösung, welches durch Ausfällen und Filtrieren aus der Lösung entfernt und anschließend thermische behandelt wird. Die gereinigte Phosphorsäurelösung kann dem Dekontaminationsprozess wieder zugeführt werden. Durch Abbeizen mit Natronlauge werden die in Anstrichen fixierten Dekontaminationen entfernt /GRS 19a/.

Die dritte Phase beinhaltete aktivierte Komponenten im Reaktorgebäude. Um die Abschirmung während der Zerlegung zu gewährleisten erfolgten alle Arbeiten an den Einbauten des Reaktordruckbehälters (im Brennelementlagerbecken, dem Absetzbecken (für Dampfabscheider bzw. Wasserabscheider) und im Flutungsraum der Reaktorgrube) fernhandelt unter einer Wasserbedeckung. Bis auf die Gebäudestrukturen ist der Abbau abgeschlossen. Gebäudeteile des Blockes A können bereits als Technologiezentrum für die Durchführung von Servicearbeiten der Blöcke B und C und weiterer Anlagen der Gesellschafter genutzt werden /GRS 19a/.

A.9 Kernkraftwerk Gundremmingen Block B (KRB-II-B)

Kurzbeschreibung

Das Kernkraftwerk Gundremmingen besteht aus zwei fast baugleichen Reaktorblöcken (KRB-II-B und KRB-II-C) mit Siedewasserreaktoren der KWU Baulinie 72. Im Jahr 1984 wurde der kommerzielle Leistungsbetrieb des Reaktorblockes B aufgenommen. In den 34 Jahren Betriebsdauer erzeugte KRB-II-B 314,49 TWh Strom (brutto). Der Siedewasserreaktor erzeugte eine elektrische Bruttoleistung von 1.344 MW. Nach Inkrafttreten der 13. Novelle des Atomgesetzes am 6. August 2011 wurde die Berechtigung zum Leistungsbetrieb auf den 31. Dezember 2017 begrenzt und KRB-II-B wurde an diesem Datum abgeschaltet /RWE 16/, /GRS 19a/.

Der erste Antrag auf Stilllegung und Rückbau vom 11. Dezember 2014 wurde durch RWE Nuclear GmbH (vormals: RWE Power AG) bei dem Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) gestellt und am 11. April 2018 genehmigt /GRS 19a/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Gundremmingen befindet sich am rechten Donauufer in Gundremmingen im schwäbischen Landkreis Günzburg im bayerischen Regierungsbezirk Schwaben im Bundesland Bayern. Der Standort liegt ca. 50 km entfernt von Ulm bzw. von Augsburg /GRS 19a/.

Stand der Stilllegung

Mitte Januar 2018 wurde mit den Vorbereitungen für den Abbau begonnen, darunter die Entfernung von Betriebsmitteln, wie z. B. Wasserstoff, der zur Kühlung des Generators verwendet wurde. Zudem wurde mit der Demontage im Maschinenhaus Block B begonnen. Erste Abschirm- und Setzsteinwände, welche nicht fest mit der Anlage verbunden sind und keine Funktion mehr erfüllen wurden entfernt, wodurch ca. 160 Mg Betonstrukturen angefallen sind. Diese werden in einer speziellen Anlage im Technologiezentrum Gundremmingen zu Bauschutt zerbrochen. Die uneingeschränkte Freigabe nach Vorgaben der Strahlenschutzverordnung wurde für den Bauschutt beim Bayerischen Landesamt für Umwelt beantragt /KER 18/.

In der Brennelement-Verladekampagne von Mitte Januar bis Anfang März 2017 wurden drei CASTOR-Behälter mit abgebrannten Brennelementen aus dem Lagerbecken von Block B befüllt und in das Standort-Zwischenlage Gundremmingen verbracht. Derzeit sind 58 der 192 genehmigten Stellplätze mit beladenen Behältern belegt /KER 18b/. Im März 2018 wurden alle 784 Brennelemente aus dem Reaktordruckbehälter entladen und in das Abklingbecken gebracht /KER 18/.

A.10 Kernkraftwerk Gundremmingen Block C (KRB-II-C)

Das Kernkraftwerk Gundremmingen besteht aus zwei fast baugleichen Reaktorblöcken (KRB-II-B und KRB-II-C) mit Siedewasserreaktoren der KWU Baulinie 72. Im Jahr 1984 wurde Reaktorblock C in Betrieb genommen. Nach Inkrafttreten der 13. Novelle des Atomgesetzes am 6. August 2011 wurde die Berechtigung zum Leistungsbetrieb auf den 31. Dezember 2021 begrenzt. Die Genehmigung für Stilllegung und Abbau von KRB-II-C wurde bereits im Mai 2021 erteilt /RWE 22/, /GRS 19a/.

Betrieben wird KRB-II-C (Gundremmingen, Landkreis Günzburg, Regierungsbezirk Schwaben, Bayern) von der RWE Nuclear GmbH.

A.11 Kernkraftwerk Rheinsberg

Kurzbeschreibung

Nach einem 1956 geschlossenen Regierungsabkommen zwischen der DDR und der UdSSR wurde das Kernkraftwerk Rheinsberg gebaut. Ab dem 9. Mai 1966 wurde das KKR für insgesamt 130.239 h ans Netz genommen. Der Druckwasserreaktor vom Typ WWER-70 besaß eine thermische Leistung von 265 MW und eine elektrische Bruttoleistung von 70 MW /EWN 21/, /GRS 19a/.

Die geplante Betriebszeit der Anlage betrug 20 Jahre und wurde nach Rekonstruktionsmaßnahmen in den Jahren 1986 und 1987 um weitere 5 Jahre verlängert. Die vom ehemaligen Staatlichen Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz (SAAS) erteilte Betriebsgenehmigung war damit bis 1992 befristet. Nach der Abschaltung für eine Brennstoffumladung ordnete das SAAS aufgrund von festgestellten Defiziten zu den Sicherheitsstandards nach dem Atomgesetz am 10. September 1990 an, die Anlage nicht wieder ohne wesentliche sicherheitstechnische Verbesserungen weiter zu betreiben. Der Betreiber, die Energiewerke Nord GmbH (EWN) hat aus technischen und wirtschaftlichen Gründen im November 1990 die Stilllegung beschlossen /EWN 21/, /GRS 19a/.

Der Antrag auf Stilllegung und Teilabbau der Anlage wurde 26. März 1992 eingereicht und am 28. April 1995 genehmigt. Die Stilllegungsschritte werden in sehr detaillierte Teilgenehmigungen aufgeteilt /GRS 19a/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Rheinsberg befindet sich in der Rheinsberger Seenlandschaft zwischen dem Großer Stechlinsee und dem Nehmitzsee im Bundesland Brandenburg. Der Standort liegt ca. 80 km nördlich von Berlin /GRS 19a/.

Stand der Stilllegung

Am 9. Mai 2001 wurden die Brennelemente in das am Standort Lubmin errichtete Zwischenlager Nord (ZLN) mittels vier CASTOR-Behältern transportiert /EWN 21/.

Das Kernkraftwerk Rheinsberg befindet sich seit 1995 im Stilllegungs- und Abbauprozess. Das Stilllegungskonzept besteht aus einem sofortigen schrittweisen Abbau, welcher in mehreren Etappen (8 Abbauetappen) aufgebaut ist. Begonnen wurde mit dem

Abbau außerhalb des Kontrollbereichs. Dabei wurden zunächst nicht mehr benötigte maschinentechnische und elektrotechnische Anlagen des Sekundärkreislaufs mit dem Schwerpunkt auf dem Maschinenhaus demontiert. Die Gebäudesubstanz und die Transport- und Versorgungseinrichtungen sind dabei erhalten geblieben /GRS 19a/.

Der Abbau innerhalb des Kontrollbereichs beinhaltete u. a. Ausrüstungen des Primärkreislaufs, Ausrüstungen der speziellen Wasseraufbereitung (SWA) und der Schmutzige Außenbehälteranlage /EWN 21/. Die Entkernung in den Reaktor- und SWA-Gebäuden und den daran angeschlossenen Außenbehälteranlagen wurden raumkomplexweise durchgeführt. Die Rückbauarbeiten in diesen Gebäudekomplexen sind bis auf die für den Restbetrieb noch benötigten Systeme beendet /GRS 19a/. Das Schachtoberteil vom Reaktordeckel-Abstellschacht wurde demontiert und auf dem Vorzerlegeplatz im Reaktorsaal konditioniert. Zwischen Juni 2010 und März 2011 wurde der Ringwasserbehälter demontiert und in einem dafür eingerichteten Vor- und Nachzerlegeplatz im Reaktorsaal zerlegt /EWN 12/. Eine zusätzliche Zerlegestation im Reaktorgebäude für die weiteren Rückbauarbeiten wurde errichtet und 2015 freigegeben. In den Pumpensämpfen und der Spezial-Kanalisation wurden Dekontaminationsarbeiten zur Senkung der Aktivität für die Demontage durchgeführt /ASK 18d/. Die Demontage der Ausrüstung der Heißen Zelle ist weit fortgeschritten. Daraufhin wurde der Antrag der EWN über die Entlassung des KKR aus der Kernmaterialbilanz von EURATOM genehmigt /GRS 19a/.

Zwischen 1994 und 1998 wurde das aktive Lager für flüssige und feste radioaktive Abfälle (ALfR) entleert und das Inventar in das Zwischenlager Nord (ZLN) oder das Endlager Morsleben (ERAM) abtransportiert /GRS 19a/. Im Anschluss wurden Ausrüstungen demontiert und Gebäudeteile des ALfR abgerissen. Neben Kontaminationsbergungen wurde eine erneute Errichtung der Schutzeinhausung über den letzten Baustrukturen des ALfR-flüssig begonnen /ASK 15d/.

Anfang 2011 wurden in Teilen des Reaktorgebäudes die Hot Spots mittels Bergetechnik aus der Rohrleitung des Abkühlkreislaufes in einen speziellen Abschirmbehälter ausgefragt und in einen Primärbehälter in der Heißen Zelle umgepackt und im Anschluss in einen MOSAIK-Behälter eingeladen /EWN 12/. Bis April 2012 wurden die Außenflächen des SWA- und Reaktorgebäudes sowie Stützpfeiler des Maschinenhauses saniert /GRS 19a/.

A.12 Kernkraftwerk Biblis-A (KWB-A)

Kurzbeschreibung

Das Kernkraftwerk Biblis besteht aus zwei fast baugleichen Reaktorblöcken (KWB-A und KWB-B) mit Druckwasserreaktoren der KWU Baulinie der 2. Generation. Im Jahr 1975 wurde der kommerzielle Leistungsbetrieb des Reaktorblockes A aufgenommen. In den 37 Jahren Betriebsdauer erzeugte KWB-A ca. 248 TWh Strom (brutto). Der Druckwasserreaktor besaß eine elektrische Bruttoleistung von 1.200 MW. Im März 2011 wurde die Anlage zunächst vorübergehend abgeschaltet und verlor auf Grundlage der Atomgesetzänderung (13. AtG-Novelle) zum 6. August 2011 die Berechtigung zum Leistungsbetrieb /RWE 14a/, /GRS 19a/.

Der erste Antrag auf die zeitgleiche Genehmigung zur Stilllegung des KWB-A und einer ersten Genehmigung zum Abbau von Anlagenteilen wurde am 6. August 2012 durch die RWE Power AG beim Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gestellt und am 30. März 2017 genehmigt /RWE 12a/, /HMU 17a/. Seit dem 1. Juli 2017 befindet sich die Anlage KWB im Stilllegungsbetrieb und soll innerhalb eines etwa 15-jährigen Prozesses in mindestens zwei Phasen rückgebaut werden /GRS 19a/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Biblis befindet sich auf der hessischen Rheinseite an der Mündung der Weschnitz ca. 3,5 km von der Gemeinde Biblis entfernt in der Gemarkung Biblis im Landkreis Bergstraße (Hessen). Der Standort liegt ca. 10 km nördlich von Worms /GRS 19a/.

Stand der Stilllegung

Während der Nachbetriebsphase wurde 2013 eine Primärkreislaufdekontamination begonnen. Nach einer Unterbrechung aufgrund eines meldepflichtigen Ereignisses wurde die Primärkreisdekontamination 2016 mit dem Einsatz eines modifizierten Verfahrens (ASDOC_D-MOD) abgeschlossen. Seit der Brennelement-Entladekampagne zwischen November 2015 und November 2016 ist KWB-A brennstofffrei /GRS 19a/.

Seit Inanspruchnahme der Stilllegungs- und Abbaugenehmigung wurden im KWB-A Demontearbeiten aller Komponenten eines Notspeisesystems in einem separaten Gebäude, in einem Kanal und in einem Raum im Kontrollbereich durchgeführt. Auch die Demontage der trockenen BE-Lagerstelle, der Auspackstation, von Kühlern und Pumpen im Reaktorhilfsanlagegebäude und der H₂-Rekombinatoren in Anlagen- und Betriebsräumen ist erfolgt. Zudem wurden TF-Kühler und TF-Pumpen abgebaut und elektrische Komponenten in den Kühlturmschalldhäusern sowie Kühlturmeinbauten KWB-A wurden rückgebaut. Die Komponenten des Primärkreises (Loop-Leitungen, Dampferzeuger, Druckhalter, HKMP) wurden bereits weitestgehend abisoliert und es laufen Vorbereitungen zur Demontage der Dampferzeuger. Zudem fanden Entkernungsarbeiten von Ringräumen auf der –6,0 m und der 0,0 m-Ebene zur Vorbereitung auf die zukünftig zu errichtende Dekont-Stationen statt. Für die dafür notwendigen infrastrukturellen und platztechnischen Voraussetzungen wurden Pufferlagerflächen zwischen den beiden Reaktorblöcken geschaffen. Hier können temporär im Zuge des Rückbaus nicht konditionierte Rohabfälle und Großkomponenten lagern /GRS 19a/.

Asbestfunde haben die Abbaumaßnahmen erschwert und verzögert, wie beispielsweise Rieselplatten in den Kühlmittelinbauten, Tragringe des Dampferzeugermantels und Isolierungen der Hauptkühlmittelleitungen /GRS 19a/.

A.13 Kernkraftwerk Biblis-B (KWB-B)

Kurzbeschreibung

Das Kernkraftwerk Biblis besteht aus zwei fast baugleichen Reaktorblöcken (KWB-A und KWB-B) mit Druckwasserreaktoren der KWU Baulinie der 2. Generation. Im Jahr 1977 wurde der kommerzielle Leistungsbetrieb des Reaktorblockes B aufgenommen. In den 34 Jahren Betriebsdauer erzeugte KWB-A ca. 264 TWh Strom (brutto). Der Druckwasserreaktor besaß eine elektrische Bruttoleistung von 1.300 MW. Am 18. März 2011 wurde die Anlage zunächst vorübergehend abgeschaltet und verlor auf Grundlage der Atomgesetzänderung (13. AtG-Novelle) zum 6. August 2011 die Berechtigung zum Leistungsbetrieb /RWE 14b/, /GRS 19a/.

Der erste Antrag auf die zeitgleiche Genehmigung zur Stilllegung des KWB-A und einer ersten Genehmigung zum Abbau von Anlagenteilen wurde am 6. August 2012 durch die RWE Power AG beim Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft

und Verbraucherschutz gestellt und am 30. März 2017 genehmigt /RWE 12b/, /HMU 17b/. Seit dem 1. Juli 2017 befindet sich die Anlage KWB im Stilllegungsbetrieb und soll innerhalb eines etwa 15-jährigen Prozesses in mindestens zwei Phasen rückgebaut werden /GRS 19a/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Biblis befindet sich auf der hessischen Rheinseite an der Mündung der Weschnitz ca. 3,5 km von der Gemeinde Biblis entfernt in der Gemarkung Biblis im Landkreis Bergstraße (Hessen). Der Standort liegt ca. 10 km nördlich von Worms.

Stand der Stilllegung

Der Reaktorkern wurde mit Beginn der Nachbetriebsphase entladen. Am 23. Oktober 2017 wurde mit der Primärkreislaufdekontamination (FSD) von KWB-B begonnen. Auf Grundlage der Erfahrungen der Primärkreislaufdekontamination von KWB-A kam das Verfahren ASDOC_D-MOD von AREVA zum Einsatz. Nach einer Unterbrechung zur Inspektion der HKMP und TH-Nachkühlpumpen, welche nach fünf Dekontzyklen erfolgte und keine Auffälligkeiten zeigte konnte die FSD Mitte Februar abgeschlossen werden. Der Dekont-Faktor ist vergleichbar mit dem von KWB-A und beträgt im Mittel ca. 90 /GRS 19a/.

Bislang wurden 17 CASTOR-Behälter beladen und ins Standortzwischenlager gebracht, womit noch 11 CASTOR-Behälter benötigt werden. Aufgrund eines meldepflichtigen Ereignisses (Ereignis-Nr. 2018/004) am Reaktorrundlaufkran wurde das Ziel der Kernbrennstofffreiheit von Juni 2018 auf das erste Quartal 2019 verschoben. Der Antrag für die dafür notwendige Einlagerung eines CASTOR-Behälters mit Köchern für Defektstäbe ins Standortzwischenlager wurde am 20. Februar 2013 beim BfE gestellt /ASK 18c/.

Aufgrund der begrenzten Pufferlagerflächen auf dem Kernkraftwerksgelände, welcher zunächst ausschließlich für den Rückbau des KWB-A genutzt wird, ist mit den Rückbauarbeiten am KWB-B frühestens im Jahr 2020 zu rechnen /GRS 19a/.

A.14 Kernkraftwerk Unterweser (KKU)

Kurzbeschreibung

Im Jahr 1979 wurde der kommerzielle Leistungsbetrieb des Kernkraftwerks Unterweser aufgenommen. Innerhalb 32 Jahren Betriebsdauer erzeugte das KKU 289,75 TWh Strom (brutto) und hielt damit bis zu seiner endgültigen Abschaltung den Weltrekord in der erzeugten Strommenge für Einzelblockanlagen. Der Druckwasserreaktor der 2. Generation von KWU/Siemens besaß eine thermische Leistung von 3.900 MW und eine elektrischen Bruttoleistung von 1.410 MW /EON --/, /GRS 19a/. Im März 2011 wurde die Anlage zunächst vorübergehend abgeschaltet und verlor auf Grundlage der Atomgesetzänderung (13. AtG-Novelle) zum 6. August 2011 die Berechtigung zum Leistungsbetrieb /GRS 19a/, womit es sich seitdem in der Nachbetriebsphase befand.

Der erste Antrag auf Stilllegung und Abbau vom 4. Mai 2012 wurde durch den Betreiber PreussenElektra GmbH beim Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz gestellt und am 5. Februar 2018 genehmigt /NMU 18/, /GRS 19a/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Unterweser befindet sich am westlichen Weserufer ca. 5 km südlich von Nordenham und ca. 11 km nördlich von Brake entfernt in der Gemarkung Rodenkirchen der Gemeinde Stadland im Landkreis Wesermarsch des Verwaltungsbezirks Oldenburg (Niedersachsen) /GRS 19a/.

Stand der Stilllegung

Vor der ersten Stilllegungs- und Abbaugenehmigung wurden vorwiegend Anpassungs- und Entsorgungsmaßnahmen durchgeführt. Seit der Inanspruchnahme der Genehmigung am 5. Februar 2018 begannen der Rückbau und der Restbetrieb der Anlage. Es wurden alle 204 Brennelemente in CASTOR-V/19-Behälter verladen und in das Standortzwischenlager verbracht, womit die Anlage seit Februar 2018 brennelementefrei ist. 80 Sonderbrennstäbe werden sich noch im BE-Nasslager in speziellen Köchern gelagert und sollen in einen CASTOR-V/19-Behälter verladen werden. Der Antrag auf Änderungsgenehmigung beim Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) für die Lagerung dieses CASTOR-Behälters wurde beantragt. Die Kernbrennstofffreiheit ist für Anfang 2019 erwartet /PEL 17/, /ASK 18c/, /GRS 19a/.

Im Herbst 2012 wurde im KKW die erste Primärkreisdekontamination („Full System Decontamination“ (FSD)) in einer stillgelegten Anlage in Deutschland durchgeführt. Zum Einsatz kamen dabei hauptsächlich kraftwerkseigene Systeme und Komponenten in Kombination mit dem HP/CORD® UV-Verfahren und der AMDA® (Automatische Modulare Dekontaminations-Anlage) von AREVA. Der Gesamt-Dekontfaktor beträgt 94,5 /VGB 13/.

Ein Ende der Abbauarbeiten inklusive sich an die Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung anschließende konventionelle Abrissaufgaben wird nach Angaben des Betreibers für das Jahr 2034 erwartet.

A.15 Kernkraftwerk Lingen (KWL)

Kurzbeschreibung

Das Kernkraftwerk Lingen befand sich zwischen 1968 und 1977 im Leistungsbetrieb. Der Siedewasserreaktor besaß eine thermische Leistung von 520 MW und erzeugte eine elektrische Bruttoleistung von 252 MW, wobei 82 MW_e davon aus einem fossil befeuerten Überhitzer stammen. Nach nur 9 Jahren Leistungsbetrieb wurde KWL am 5. Januar 1977 aus wirtschaftlichen Gründen stillgelegt. Aufgrund von Schäden an den Dampfmaschinen wären umfassende Ertüchtigungen für den Weiterbetrieb nötig gewesen /GRS 19a/, /BFS 02/.

Nach der Genehmigung vom 21. November 1985 wurde die Anlage von 1988 bis 2015 im „Sicheren Einschluss“ (SE) gehalten /NMB 85/. Die Genehmigung zur „Änderung der stillgelegten Anlage, des Sicheren Einschlusses und des Betriebes des Sicheren Einschlusses“ vom 14. November 1997 erlaubte die Entsorgung der Betriebsabfälle, die sich im „Sicheren Einschluss“ befanden und die anschließende Überführung der Anlage in den „Sicheren Einschluss“ /NMU 97/. Der Antrag nach § 7 AtG vom 21. Dezember 2004 auf Fortführung des „Sicheren Einschlusses“ bis längstens 2040 wurde am 19. Dezember 2007 von der Kernkraftwerk Lingen GmbH zurückgezogen. Grund waren gerichtliche Entscheidungen im Planfeststellungsverfahren KONRAD, die eine absehbare Verfügbarkeit eines Endlagers für Stilllegungsabfälle sichern /GRS 19a/.

Der erste Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Abbau der Anlage KWL wurde am 15. Dezember 2008 vom Betreiber RWE beim Niedersächsischen Ministerium für Umwelt und Klimaschutz gestellt und am 21. Dezember 2015 genehmigt (Teilprojekt 1) /NMU 15/.

Seitdem befindet sich die Anlage KWL in der Abbauphase. Am 15. November 2017 stellte die Kernkraftwerk Lingen GmbH einen Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG für das Teilprojekt 2, welches sich insbesondere auf den Abbau der aktivierten Anlagenteile bezieht /GRS 19a/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Lingen befindet sich am Dortmund-Ems-Kanal auf dem Gebiet der Stadt Lingen (Ems) im Ortsteil Darne im Bundesland Niedersachsen /GRS 19a/.

Stand der Stilllegung

Vor Beginn des „Sicheren Einschlusses“ wurden die Brennelemente nach Sellafield (GB) gebracht. Die Überwachung des „Sicheren Einschlusses“ wird vom benachbarten Kernkraftwerk Emsland (KKE) übernommen /GRS 19a/.

Im Jahr 2009 wurde der Schornstein (150 m) mit dem Schornsteinstuhl auf eine Höhe von etwa 10 m abgerissen und durch einen Kamin (ca. 60 m) ersetzt /GRS 19a/. Die Arbeiten werden nach Angabe des Betreibers, der Kernkraftwerk Lingen GmbH inklusive des sich an die Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung anschließenden konventionellen Abrisses voraussichtlich bis Anfang der 2030er Jahre andauern.

A.16 Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich (KMK)

Kurzbeschreibung

Das Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich wurde am 14. März 1986 zum ersten Mal ans Netz genommen. Der Leistungsbetrieb begann im Jahr 1987. Der Zweikreis-Druckwasserreaktor besaß eine thermische Leistung von 3.760 MW und elektrische Bruttoleistung von 1.302 MW. Am 9. Oktober 1986 wurde die Anlage aufgrund der fehlenden immissionsschutzrechtlichen Genehmigung für den Naturzug-Kühlturm abgefahren und konserviert bis zum Erhalt dieser Genehmigung am 18. August 1987 /GRS 19a/, /RWE --/.

Die erste Teilgenehmigung wurde am 9. September 1988 nach einer Klage von Anwohnern aufgrund der nachträglichen Verschiebung des Anlagenstandortes ohne neues Baugenehmigungsverfahren vom Bundesverwaltungsgericht aufgehoben. Daraufhin

wurden die Brennelemente ins das BE-Lagerbecken entladen. Die Anlage wurde aber für den Fall der Wiedererlangung der entsprechenden Genehmigung im Zustand gehalten, der eine Wiederaufnahme des Leistungsbetriebs erlaubt. Im Juli 1990 erteilte die Mainzer Landesregierung eine neue erste Teilgenehmigung, allerdings ohne Sofortvollzug. Nach Unregelmäßigkeiten in diesem Genehmigungsverfahren in Bezug auf die Prüfung der Standortsicherheit, vor allem im Hinblick auf die Erdbebengefahr hat das Bundesverwaltungsgericht in Berlin am 9. September 1998 in letzter Instanz die Teilgenehmigung aufgehoben. Seitdem befindet sich die abgeschaltete Anlage in der Stillstands- bzw. Nachbetriebsphase /GRS 19a/.

Die Stilllegungsstrategie besteht aus drei Phasen. Am 12. Juni 2001 wurde der erste Antrag einer Stilllegung des Kernkraftwerks Mülheim-Kärlich und die Abbauphase 1a durch den Betreiber RWE Power AG gestellt und am 16. Juli 2004 genehmigt /GRS 19a/. Die Abbauphase 1a beinhaltet den Abbau der nicht kontaminierten und kontaminierten Systeme bis auf den Primärkreislauf /MUF 04/. Die zweite Phase beinhaltet u. a. den Abbau des Primärkreislaufs und die Dekontamination von Gebäuden. Die Genehmigung 2a wurden am 31. Mai 2013 und die Genehmigung 2b am 8. Oktober 2015 erteilt /MWK 13/, /MWK 15/. Die dritte Abbauphase besteht aus Maßnahmen, die zur Entlassung der verbliebenen Anlage aus der atomrechtlichen Aufsicht erforderlich sind. Die Genehmigung 3a wurde am 9. Juni 2009, die Genehmigung 3b am 16. September 2014 und die Genehmigung 3c am 31. Januar 2014 erteilt /MUF 09/, /MWK 14a/, /MWK 14b/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich befindet sich am linken Rheinufer nahe der Stadt Mülheim-Kärlich im Landkreis Mayen-Koblenz im Bundesland Rheinland-Pfalz. Der Standort liegt ca. 10 km nordwestlich von Koblenz im sogenannten Neuwieder Becken /GRS 19a/.

Stand der Stilllegung

In der Nachbetriebsphase, seit der Beantragung der Stilllegungs- und ersten Abbaugenehmigung wurden die Brennelemente aus der Anlage abtransportiert. Am 29. Juli 2002 haben die letzten Brennelemente die Anlage verlassen /GRS 19a/.

Nach der Genehmigung der Stilllegung und Abbauphase 1a wurde die Anlage in den Restbetrieb überführt, wobei nur die Systeme weiter betrieben und vereinfacht werden,

die während der Stilllegungsarbeiten noch notwendig sind (hauptsächlich lufttechnische Anlagen im Kontrollbereich, Abwassersammlungs- und aufbereitungsanlagen, Einrichtungen zur Energieversorgung, Aktivitätsüberwachung und Filtereinrichtungen). Abbauphase 1a ist weitgehend abgeschlossen. Auch wurden systemzugehörige Hilfs- und Versorgungseinrichtungen und der Großteil der leit- und elektrotechnischen Einrichtungen abgebaut. Das Maschinenhaus ist weitgehend entkernt. Aufgrund der geringen Kontamination wurden die Anlagenteile aus der Genehmigung 1a manuell vor Ort abgebaut /KMK 13b/.

Die Ringräume wurden nahezu vollständig entkernt und verschlossen. Zudem wurden Um- und Abbaumaßnahmen an der Personenschleuse durchgeführt. Die Infrastruktur im gesamten Kontrollbereich wurde abgebaut /ASK 12c/. Die Kühlturm-Zusatzwasser-Aufbereitung wurde vom Regen- und Betriebswassernetz getrennt und außer Betrieb genommen und es wurde mit der Demontage der BE-Lagerstelle begonnen /ASK 16/, /KMK 12/.

Im Rahmen der Genehmigung 2a wurde zwischen Juni 2016 und April 2017 die Hauptkühlmittelpumpen und -leitungen abgebaut /ASK 17c/. Die Abbauarbeiten des Dampfdruckerzeugers im Rahmen der Genehmigung 2b war für Oktober 2018 angesetzt /ASK 18e/.

Im Zuge der Genehmigung 3a bzw. 3b wurde das Gelände Ost bzw. West aus der atomrechtlichen Aufsicht entlassen. Nach der Genehmigung 3c wurden weitere Geländebebereiche im Süden und Westen aus dem Atomgesetz entlassen. Das ursprünglich 30 ha große Anlagengelände wurde damit auf ca. 6 ha reduziert /GRS 19a/.

Der Abbau wird voraussichtlich -inklusive des sich an die Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung anschließenden konventionellen Abrisses – bis Anfang der 2030er Jahre andauern.

A.17 Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB)

Kurzbeschreibung

Im Jahr 1970 wurde mit dem Bau des Kernkraftwerks Brunsbüttel begonnen und am 23. Februar 1977 wurde die erste Kritikalität erreicht. Nach mehreren Teilgenehmigungen

wurde im Jahr 1983 die Betriebsgenehmigung erteilt. Während der Betriebsdauer erzeugte das KKB 124.211.289 MWh elektrische Energie. Der Siedewasserreaktor des Kernkraftwerkes Brunsbüttel besaß eine thermische Leistung von 2.292 MW und eine elektrische Nettoleistung von 771 MW. Nach der Atomgesetzänderung (13. AtG-Novelle) verlor das KKB am 6. August 2011 die Berechtigung zum Leistungsbetrieb. Ab dem 22. Dezember 2011 befand sich die Anlage in der Nachbetriebsphase. Betrieben wird die Anlage von der Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG /GRS 19a/.

Der erste Antrag auf Stilllegung und Abbau wurde am 1. November 2012 nach § 7 Absatz 3 Atomgesetz durch Vattenfall gestellt. Am 5. Mai 2014 wurde der Antrag auf Genehmigung zum Umgang mit radioaktiven Stoffen nach § 7 StrlSchV (alt) in einem neu zu errichtendem Lager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle und Reststoffe (Lasma) gestellt /ASK 18f/, /GRS 19a/. Die Teilbaugenehmigung für die Herstellung der Pfahlgründung und der Pfahlkopfplatte des Lasma erfolgte am 26. September 2017 /GRS 19a/.

Geographische Lage

Das Kernkraftwerk Brunsbüttel befindet sich am rechten Elbufer in Brunsbüttel in der Gemarkung Brunsbüttel im Kreis Dithmarschen des Bundeslandes Schleswig-Holstein /GRS 19a/.

Stand der Stilllegung

Der Abbauplan beinhaltet einen zweiphasigen Prozess, der 2018 begonnen und innerhalb 12 Jahre abgeschlossen werden soll. Für die dritte Phase, dem konventionellen Gebäudeabriss werden drei Jahre eingeplant /GRS 19a/.

Am 18. Februar 2018 wurde der Transport aller Sonderbrennstäbe nach Studsvik in Schweden abgeschlossen. Das KKB ist seitdem kernbrennstofffrei. In Bezug auf die Langzeitsicherheit in der Zwischenlagerung sind Forschungsarbeiten geplant /GRS 19a/.

A.18 Kernkraftwerk Brokdorf (KBR)

Der Druckwasserreaktor Brokdorf, dessen Inbetriebnahme im Jahr 1986 erfolgte, soll im „direkten Abbau“ beseitigt werden. Durch die 13. Atomgesetznovelle von 2011 erlischt

die Berechtigung zum Leistungsbetrieb der Anlage spätestens Ende 2021. Der Betreiber hat schon im Dezember 2017 den Antrag auf Stilllegungs- und Abbaugenehmigung gestellt. Nach Betreiberangaben wird der Abbau der Anlage voraussichtlich bis zum Jahr 2040 andauern. Mit dem sich an die Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung anschließenden konventionellen Abriss sollen sämtliche Abbauaktivitäten voraussichtlich bis zum Jahr 2042 abgeschlossen sein.

Betrieben wird die Anlage in Brokdorf (Kreis Steinburg, Schleswig-Holstein) von der Kernkraftwerk Brokdorf GmbH & Co. oHG.

A.19 Kernkraftwerk Emsland (KKE)

Das Kernkraftwerk Emsland besteht aus einer Einzelblockanlage mit Druckwasserreaktor, deren Inbetriebnahme 1988 erfolgte. Die 13. Atomgesetznovelle von 2011 beendet die Berechtigung zum Leistungsbetrieb der Anlage spätestens mit Ablauf des Jahres 2022. Anschließend soll der Restbetrieb beginnen. Hierzu wurde im Dezember 2016 der entsprechende Genehmigungsantrag gestellt. Mit dem sich an die Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung anschließenden konventionellen Abriss ist nach Angabe des Betreibers ein vollständiges Ende der Arbeiten Anfang der 2040er Jahre geplant.

Betrieben wird die Anlage in Lingen (Landkreis Emsland, Niedersachsen) von der Kernkraftwerke Lippe-Ems GmbH.

Betrieben wird die Anlage in Grafenrheinfeld (Landkreis Schweinfurt, Bayern) von der Preussen Elektra GmbH.

A.20 Kernkraftwerk Grohnde (KWG)

Das Kernkraftwerk Grohnde ist mit einem Druckwasserreaktor ausgestattet. Die Anlage wurde 1985 in Betrieb genommen und befindet sich im Leistungsbetrieb, zudem sie mit der 13. Atomgesetznovelle aus 2011 längstens bis zum Ende des Jahres 2021 berechtigt ist. Der Betreiber hat bereits im Oktober 2017 den Antrag auf eine erste Stilllegungs- und Abbaugenehmigung gestellt. Den sich an Stilllegung, Abbau und anschließender Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung nachfolgenden konventionellen Abriss plant der Betreiber mit dem Jahr 2042 abschließen zu können.

Betrieben wird die Anlage in Emmerthal (Landkreis Hameln-Pyrmont, Niedersachsen) von der Gemeinschaftskernkraftwerk Grohnde GmbH & Co. oHG.

A.21 Kernkraftwerk Isar 2 (KKI 2)

KKI 2 ist ein Druckwasserreaktor und befindet sich seit 1988 im Leistungsbetrieb. Diesen muss KKI 2 aufgrund der Atomgesetznovelle von 2011 spätestens zum Ende des Jahres 2022 einstellen. Der Antrag auf eine erste Stilllegungs- und Abbaugenehmigung wurde Mitte 2019 gestellt. Das vollständige Ende aller Abbauarbeiten erwarten die Betreiber für das Jahr 2043.

Betrieben wird KKI 2 in Essenbach (Landkreis Landshut, Bayern). Während KKI 1 von der Preussen Elektra GmbH betrieben wird, ist bei KKI 2 neben der Preussen Elektra GmbH noch die Stadtwerke München GmbH Miteigentümer und Mitbetreiber der Anlage.

A.22 Kernkraftwerk Krümmel (KKK)

Das Kernkraftwerk Krümmel ist ein Siedewasserreaktor und wurde 1984 in Betrieb genommen. Im Zuge des Inkrafttretens der Atomgesetznovelle endete die Berechtigung zum Leistungsbetrieb im August 2011. Der Antrag auf Genehmigung zur Stilllegung und zum Abbau wurde im August 2015 gestellt. Seit Juni 2018 befindet sich die Anlage im Nachbetrieb. Nach Angaben des Betreibers wird die Genehmigungserteilung im Jahr 2020 erwartet. Mit der Entlassung der Anlage aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung rechnet der Betreiber voraussichtlich für das Jahr 2035. Inklusive des sich anschließenden konventionellen Abrisses wird das Ende sämtlicher Abbauaktivitäten im Jahr 2037 erwartet.

Betrieben wird die Anlage in Geesthacht (Kreis Herzogtum Lauenburg, Schleswig-Holstein) von der Kernkraftwerk Krümmel GmbH & Co. oHG.

A.23 Kernkraftwerk Philippsburg 2 (KKP 2)

Das Kernkraftwerk Philippsburg besteht aus zwei Blöcken, von denen KKP 1 ein Siedewasserreaktor und KKP 2 ein Druckwasserreaktor ist. KKP 2 wurde 1985 in den Leistungsbetrieb genommen, der nach Maßgabe der 13. Atomgesetznovelle aus 2011 noch längstens bis Ende 2019 fortgeführt werden darf. Die Genehmigung für Stilllegung und

Abbau von KKP 2 wurde bereits im Juli 2016 beantragt. Ein vollständiges Ende der Abbauarbeiten inklusive des sich an die Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung anschließenden konventionellen Abrisses ist nach Betreiberangabe voraussichtlich Ende 2040 zu erwarten.

Betrieben wird KKP 2 (Rheinschanzinsel, Landkreis Karlsruhe, Baden-Württemberg) von der EnBW Kernkraft GmbH.

B Untersuchung Small Facility (Universität zu Köln)

B.1 Dokumentation zur Feststoffprobenentnahme

B.1.1 Allgemeines zur Probenentnahme

Die Proben wurden aus dem Kontrollbereich der *small facility* der Nuklearchemie in der Otto-Fischer-Str. 12-14, 50674 Köln entnommen. Einzelheiten können Tabelle B.1 entnommen werden. Insgesamt wurden 20 Proben aus Wänden und Böden der unterschiedlichen Räume entnommen.

Tab. B. 1 Beschreibung der entnommenen Feststoffproben. Die Lage der Probenentnahmeorte ist in den nachfolgenden Raumplänen genauer markiert

Probennummer	Wand/Bodenprobe	Bohrtiefe	Entnahmeort
WL11EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	5 cm tief	Labor 11 EG
WL11EG2	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	5 cm tief	Labor 11 EG
BL11EG3	Boden, mittig	5 cm tief	Labor 11 EG
WL10EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	5 cm tief	Labor 10 EG
WL10EG2	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	5 cm tief	Labor 10 EG
BL10EG3	Boden, mittig	5 cm tief	Labor 10 EG
BL10EG4	Boden, vor Abzug	5 cm tief	Labor 10 EG
WL9EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	5 cm tief	Labor 9 EG
WL9EG2	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	5 cm tief	Labor 9 EG
BL9EG3	Boden, mittig	5 cm tief	Labor 9 EG
BL9EG4	Boden, vor Abzug	5 cm tief	Labor 9 EG

Probennummer	Wand/Bodenprobe	Bohrtiefe	Entnahmeort
WL2EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	5 cm tief	Labor 2 EG
WL2EG2	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	5 cm tief	Labor 2 EG
BL2EG3	Boden, vor ehem. Abzug	5 cm tief	Labor 2 EG
WR1EG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	5 cm tief	Labor 1 EG Aktivvorbereitung
WR1EG2	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	5 cm tief	Labor 1 EG Aktivvorbereitung
WR1EG3	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	5 cm tief	Labor 1 EG Aktivvorbereitung
BR1EG4	Boden, Anfang	5 cm tief	Labor 1 EG Aktivvorbereitung
WSBUG1	Wand, 1,30 m Höhe über Boden	5 cm tief	Sperrbereich UG
BBUG1	Barytbetonklotz	5 cm tief	Sperrbereich UG

B.1.2 Kurzbeschreibung der Räume

Labore 9, 10, 11 EG

Die Labore mit den Raumnummer 9, 10 und 11 wurden als radiochemische Laboratorien benutzt und enthielten jeweils einen Radionuklidabzug. Soweit bekannt, wurden diese Räume überwiegend für Forschungsarbeiten verwendet.

Labor 2 EG

Das Labor mit der Raumnummer 2 wurde als radiochemisches Laboratorium sowohl für Forschungsarbeiten als auch für die praktische Ausbildung von Studierenden benutzt. Der Raum war das am häufigsten und intensivsten genutzte Laboratorium der Anlage. Labor 2 enthielt drei Radionuklidabzüge; vor 2010 fünf Radionuklidabzüge und eine „heiße Zelle“, für die aber keine intensive Nutzung bekannt ist.

Labor 1 EG Aktivvorbereitung

Das Labor mit der Raumnummer wurde als Aktivvorbereitung genutzt. D. h. radioaktive Stoffe, mit denen in den Laboratorien des Erdgeschosses umgegangen wurde, wurden hier kurz- und mittelfristig aufbewahrt. Es erfolgte teilweise ein kurzfristiger offener Umgang mit radioaktiven Stoffen, etwa zur Ausgabe von Lösungen an Praktikumsgruppen etc.

Sperrbereich UG

Der Sperrbereich wurde als Lager für die radioaktiven Stoffe genutzt und bis 2018 zur Aufbewahrung einer Neutronenquelle (74 GBq Am) genutzt. Hier erfolgte jedoch kein offener Umgang mit radioaktiven Stoffen.

B.1.3 Entnahmeorte im Raumplan

Probe WL11EG1

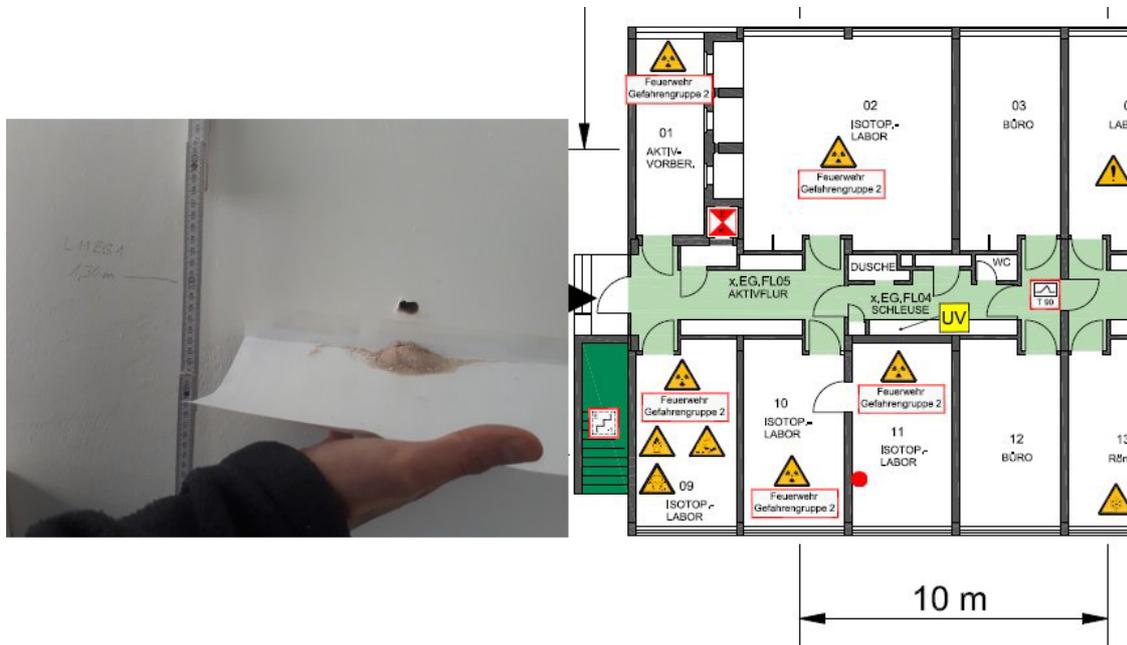


Abb. B 1 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe WL11EG2

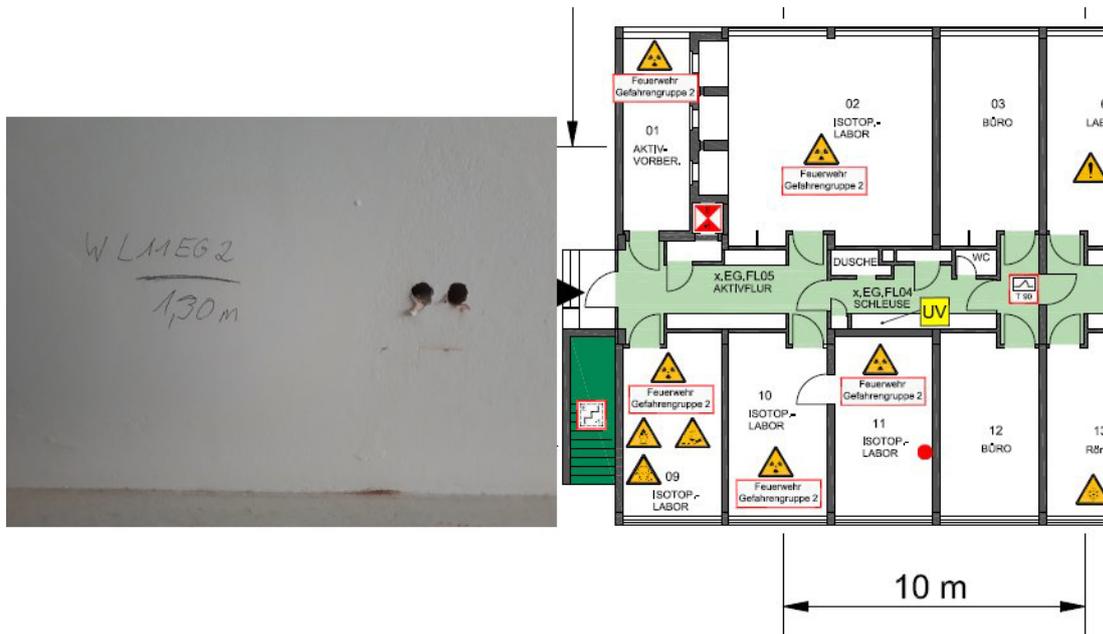


Abb. B 2 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe BL11EG3

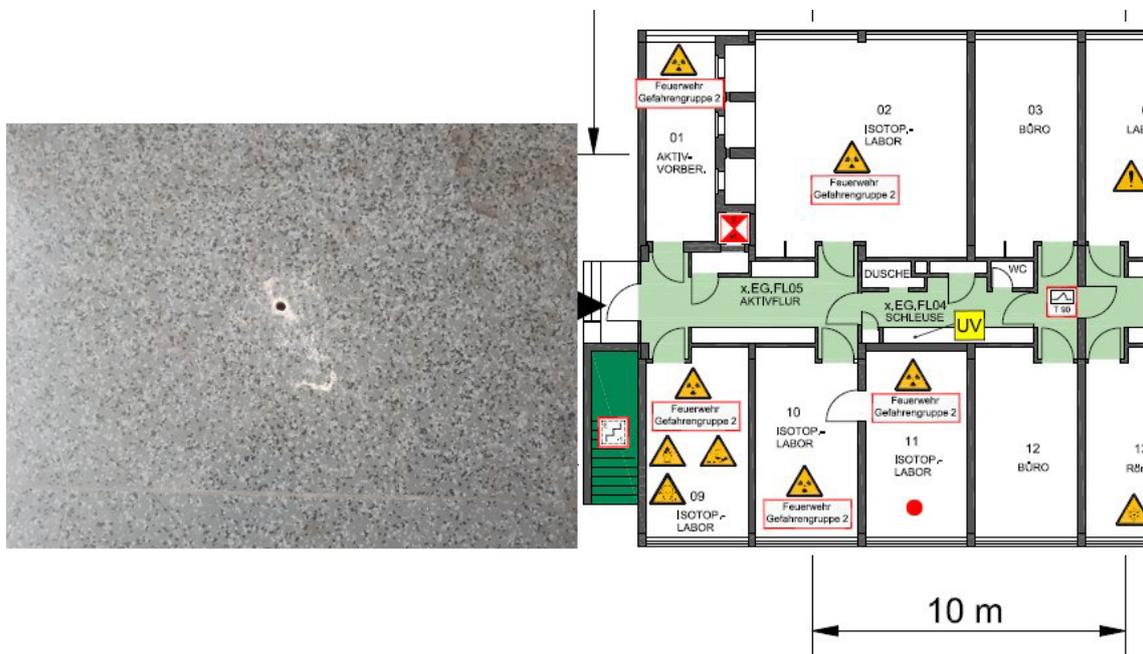


Abb. B 3 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe WL10EG1

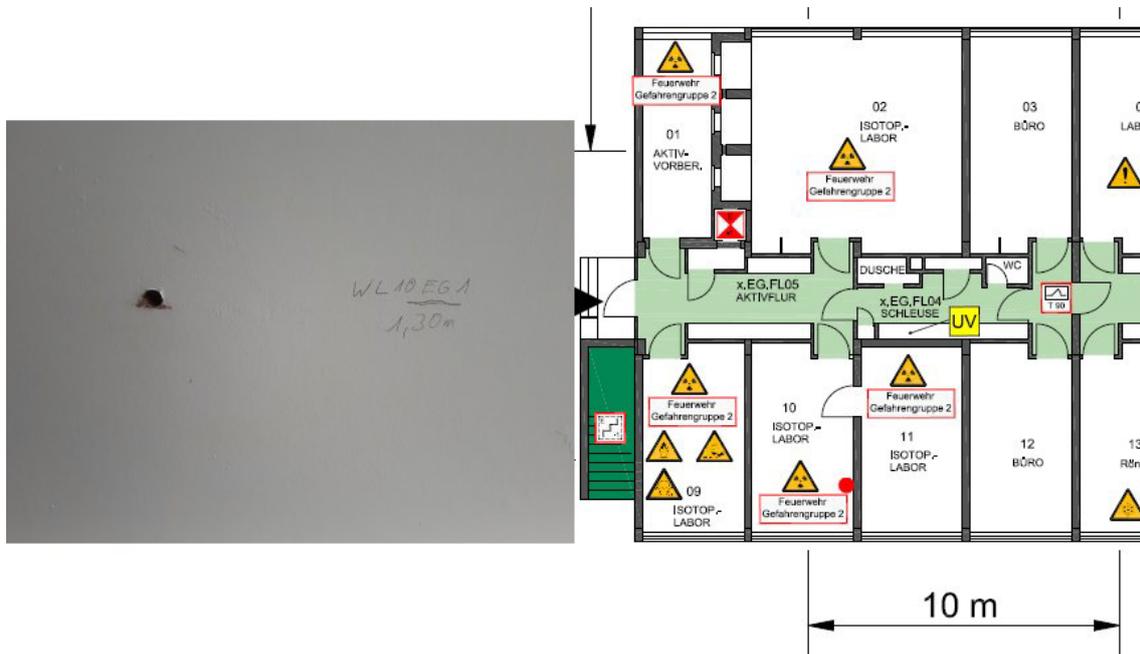


Abb. B 4 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe WL10EG2

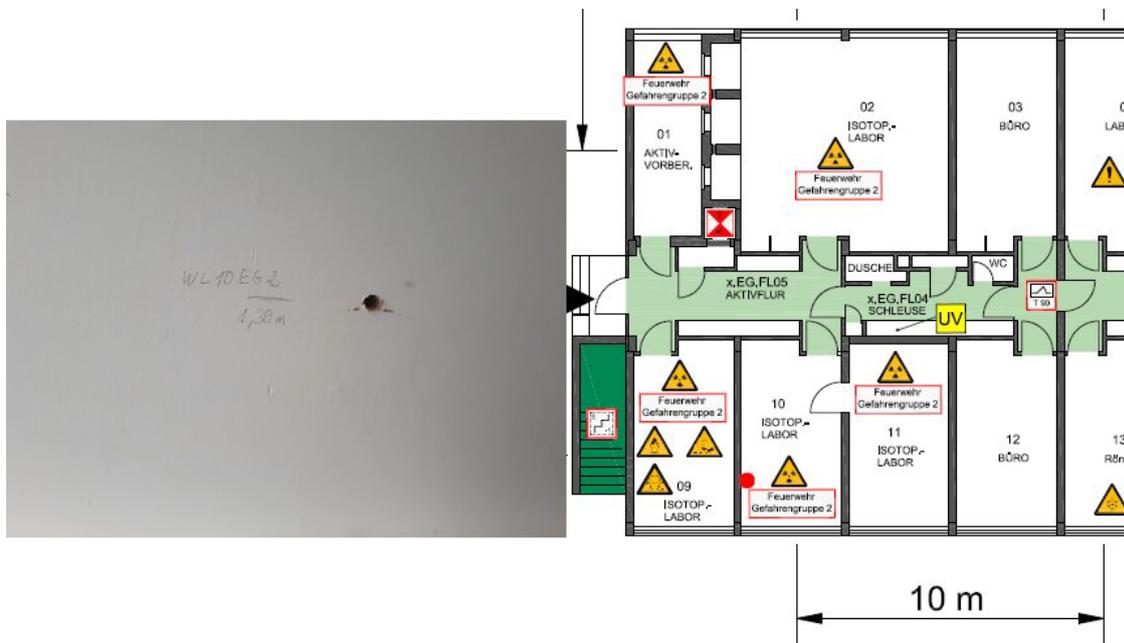


Abb. B 5 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe BL10EG3

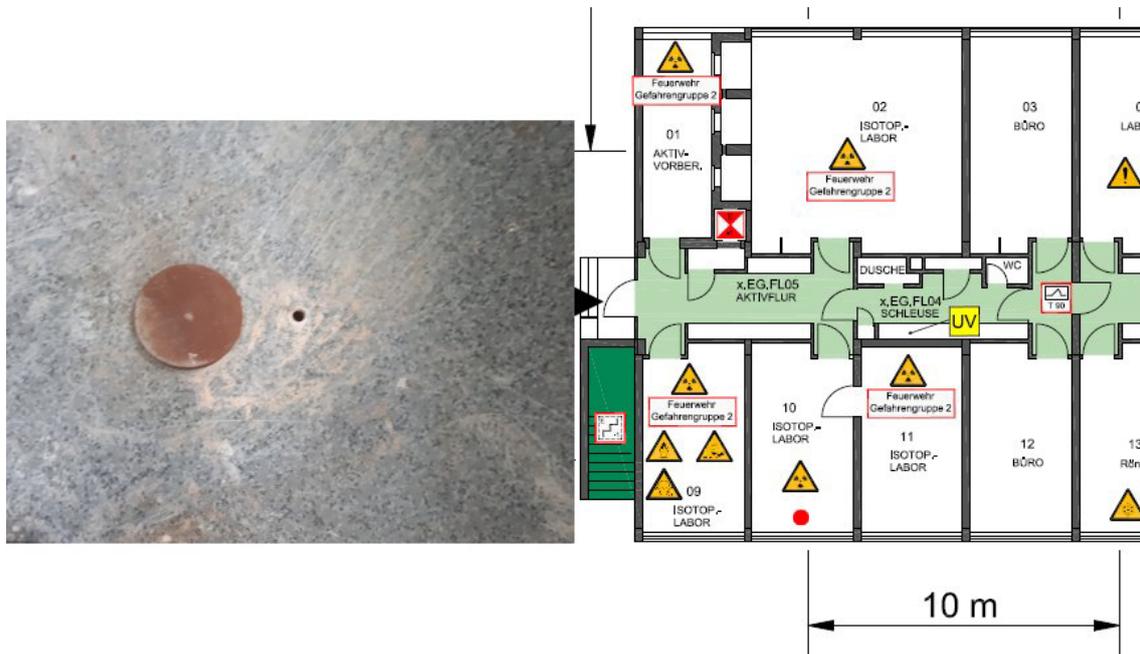


Abb. B 6 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe BL10EG4

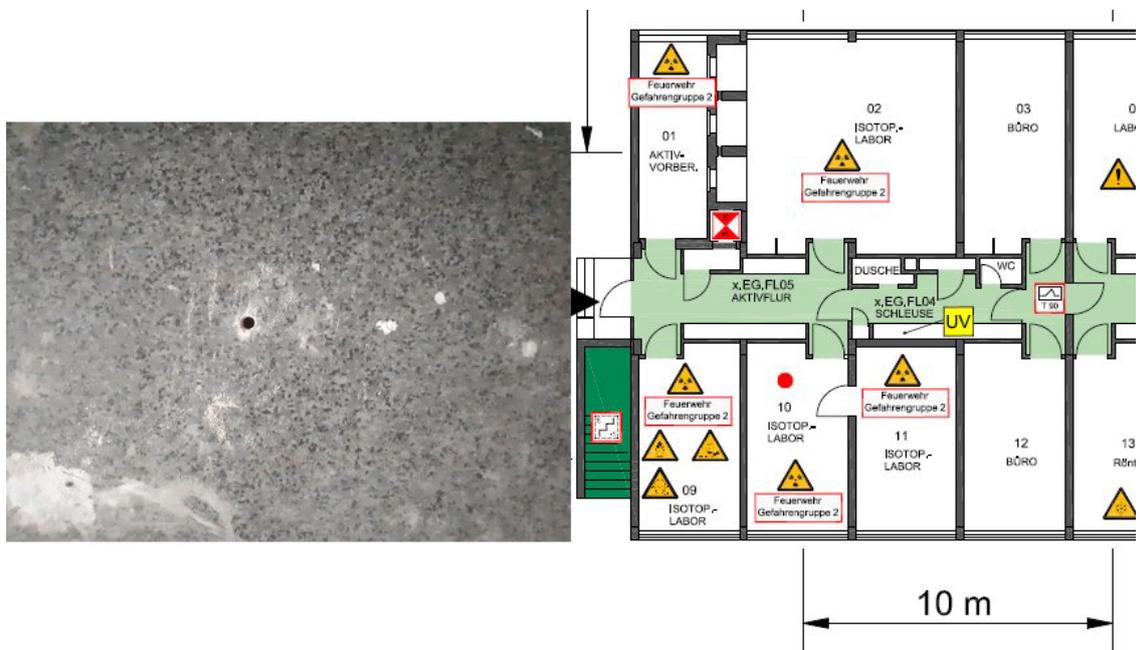


Abb. B 7 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe WL9EG1

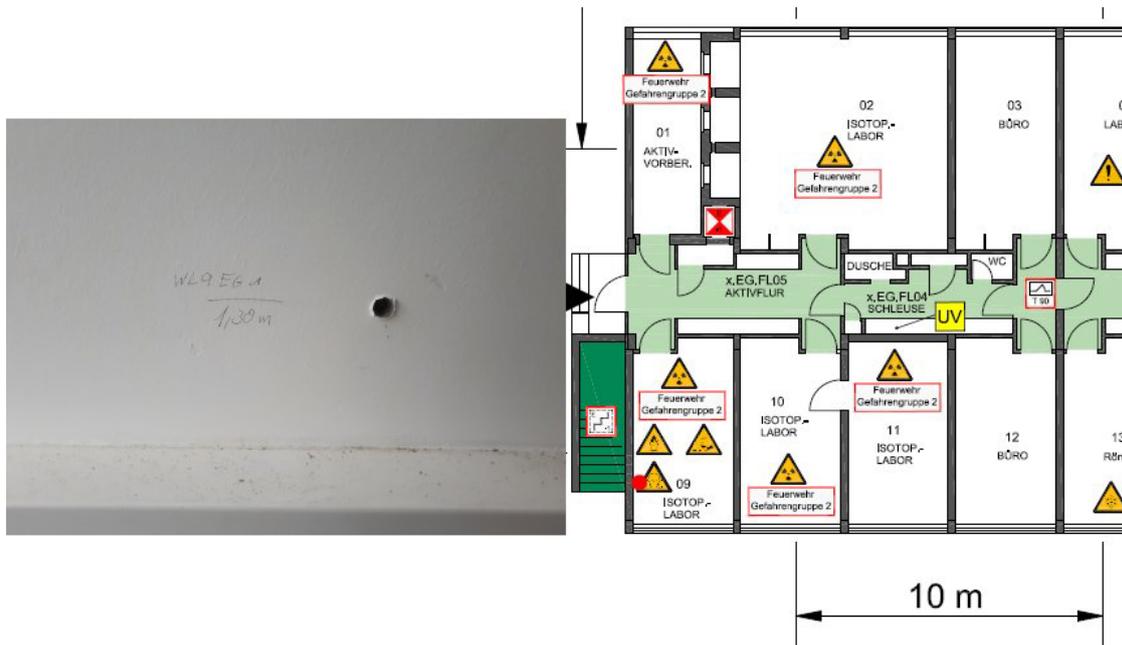


Abb. B 8 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe WL9EG2

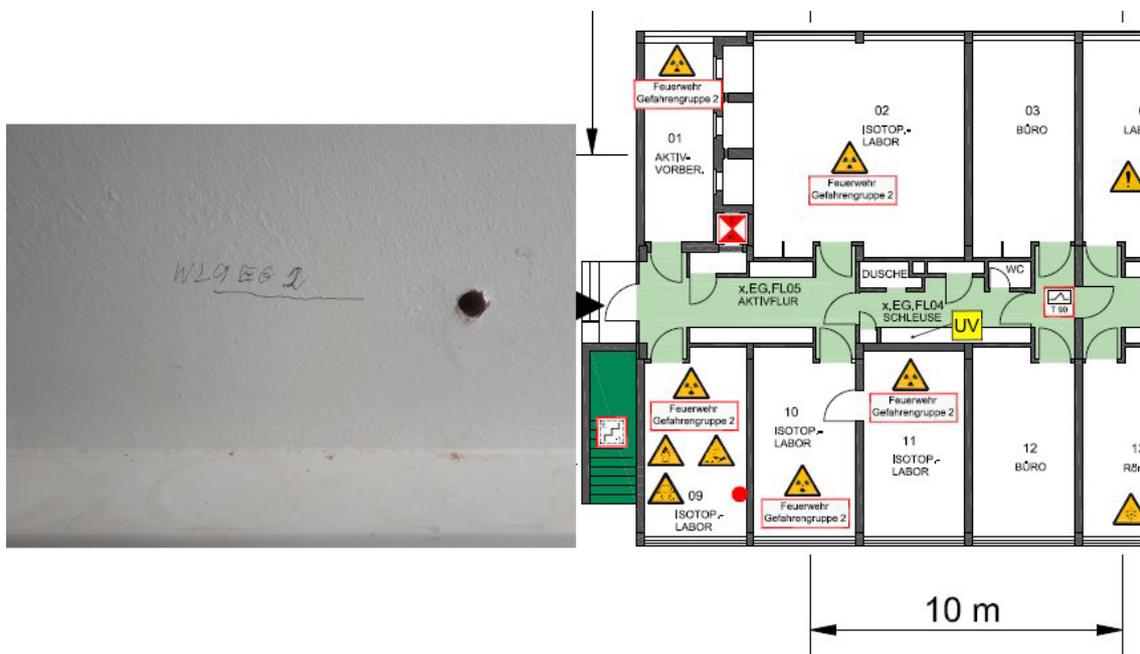


Abb. B 9 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe BL9EG3

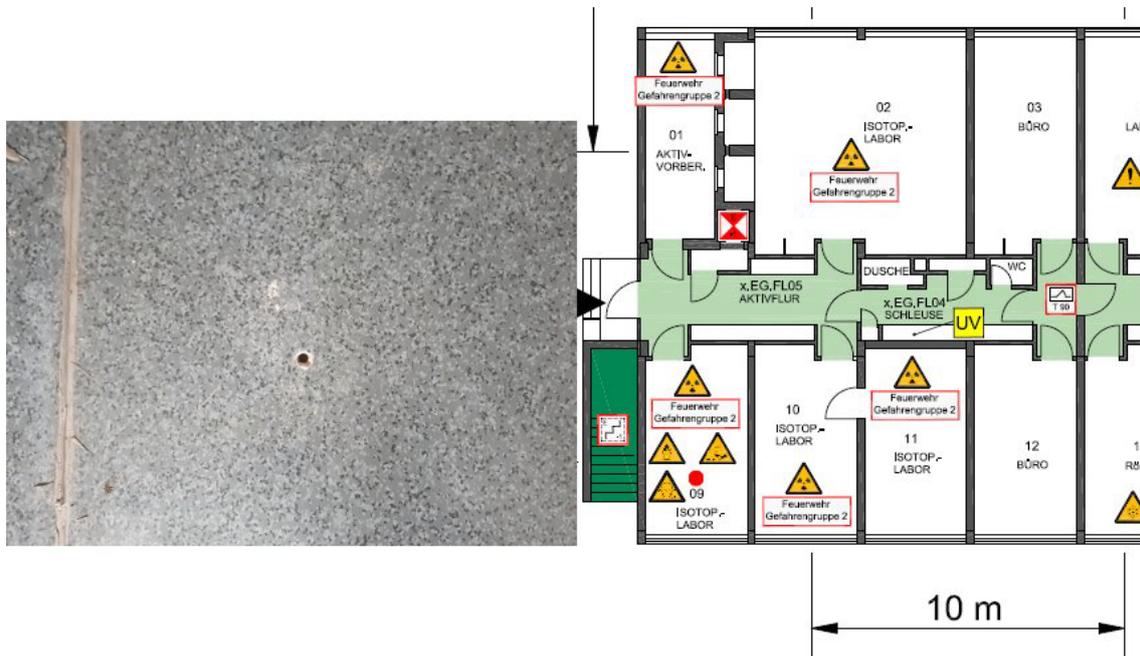


Abb. B 10 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe BL9EG4

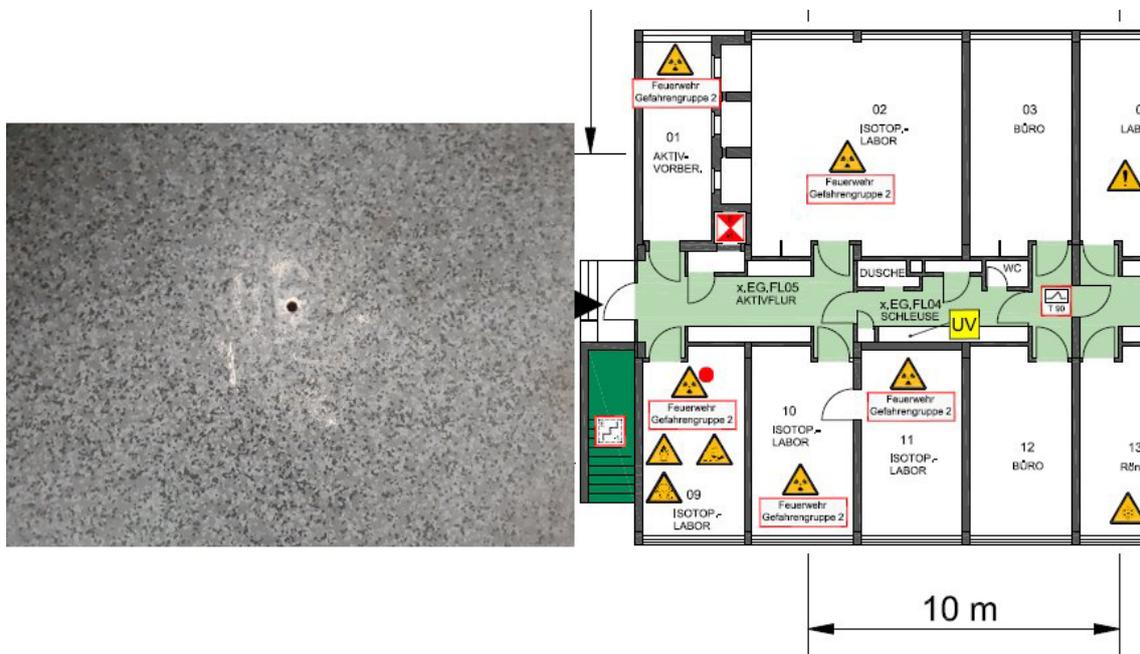


Abb. B 11 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe WL2EG1

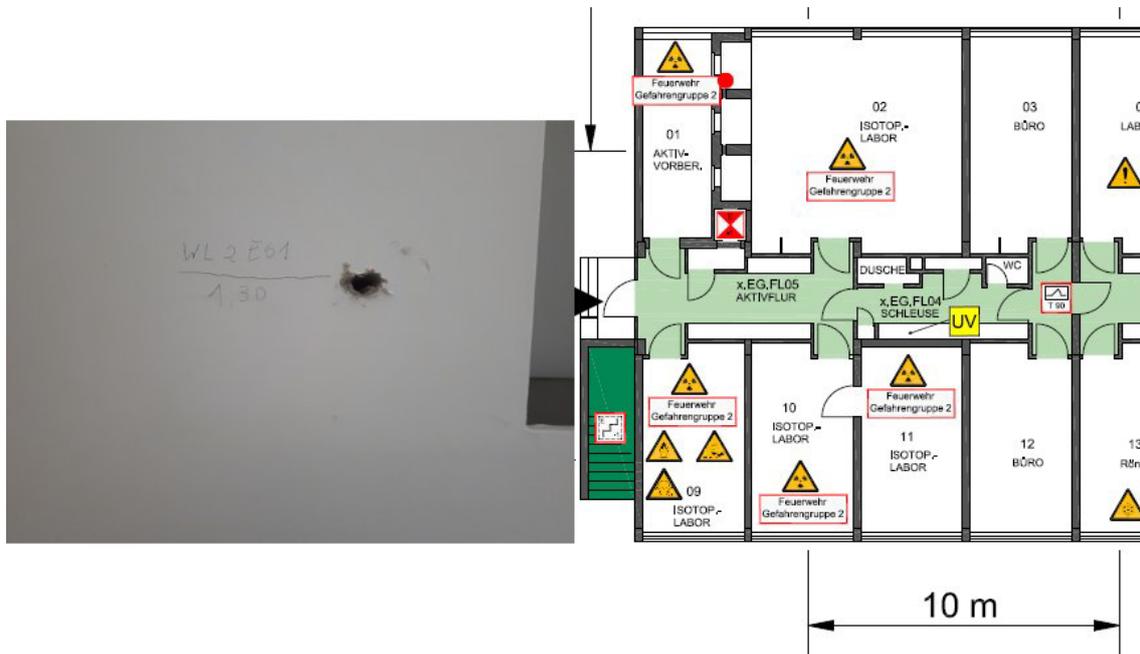


Abb. B 12 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe WL2EG2

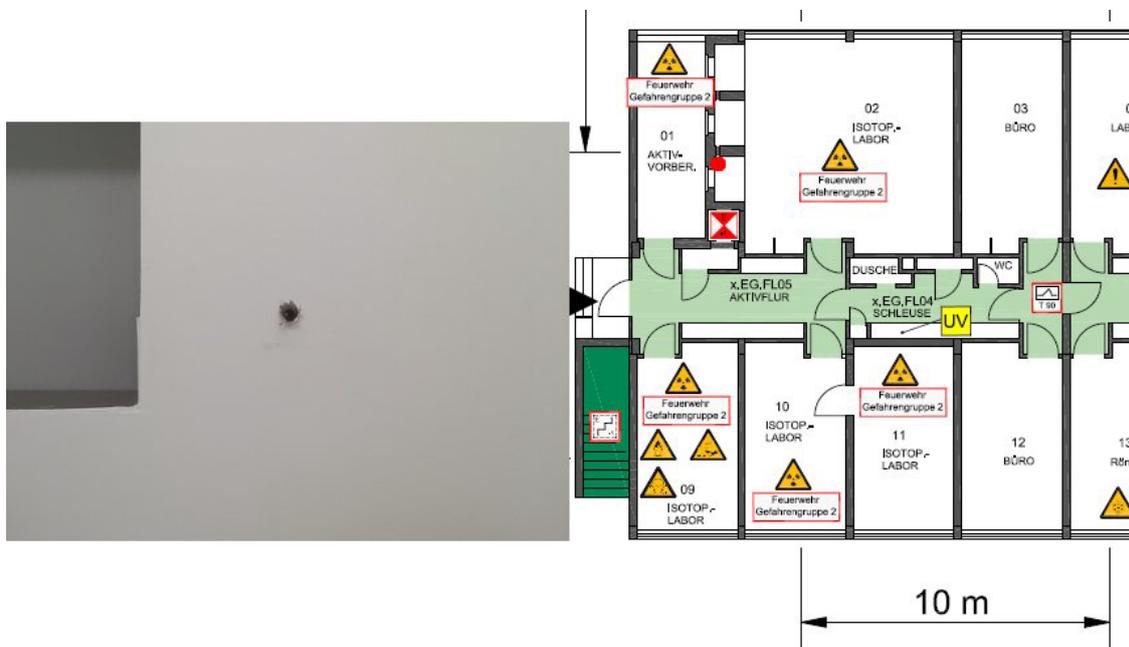


Abb. B 13 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe WR1EG2

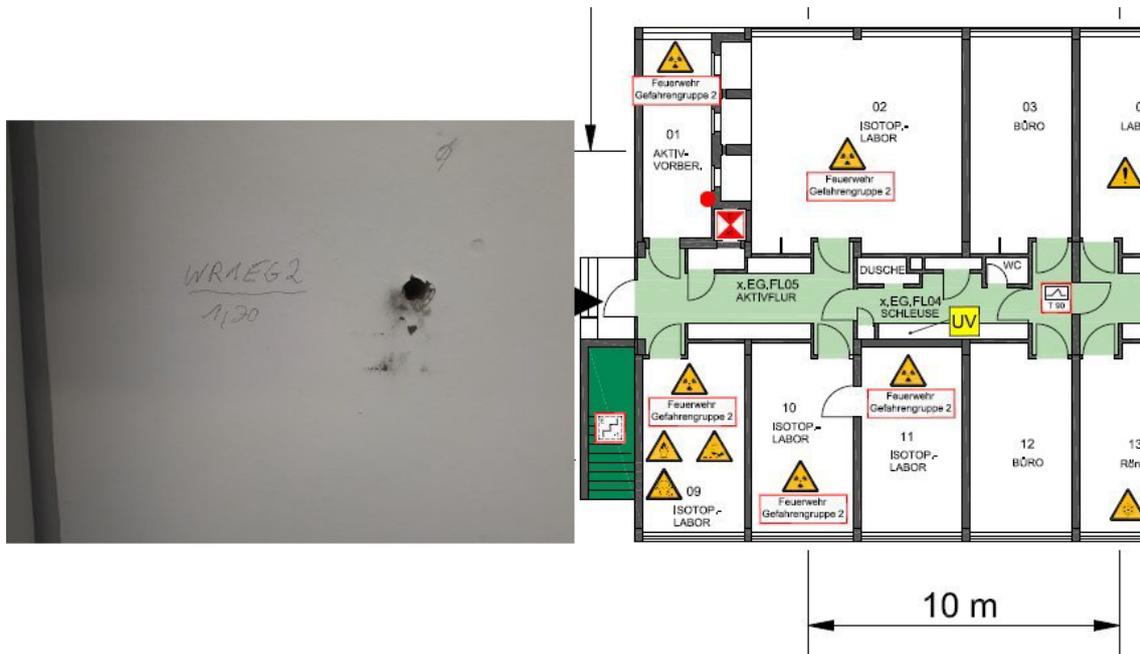


Abb. B 16 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe WR1EG3

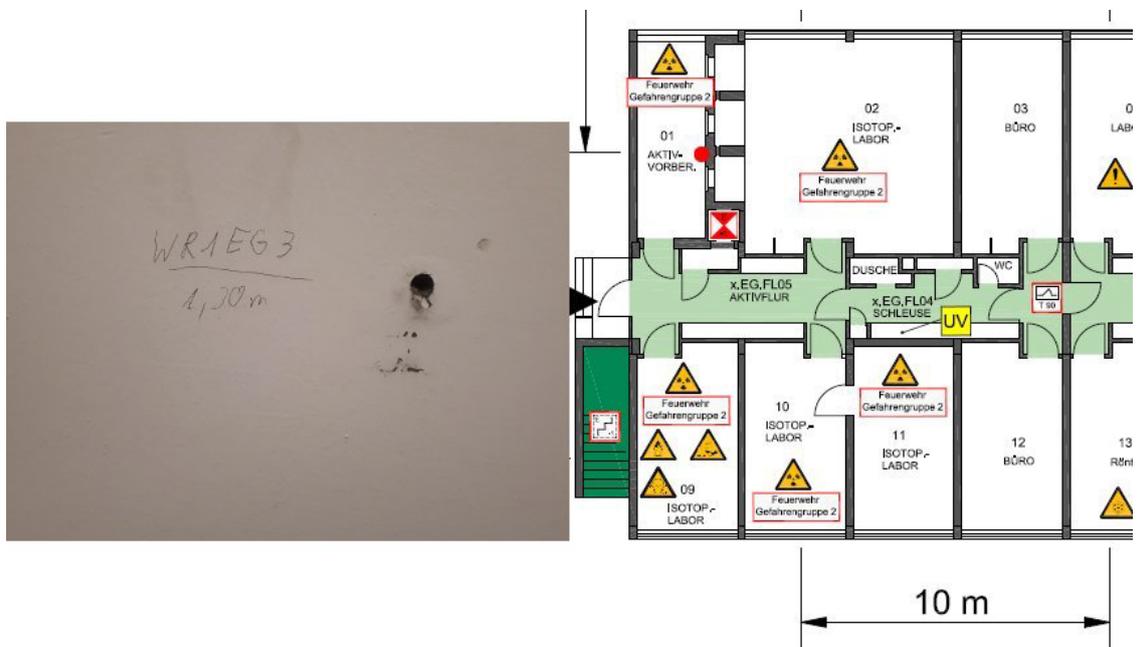


Abb. B 17 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe BR1EG4

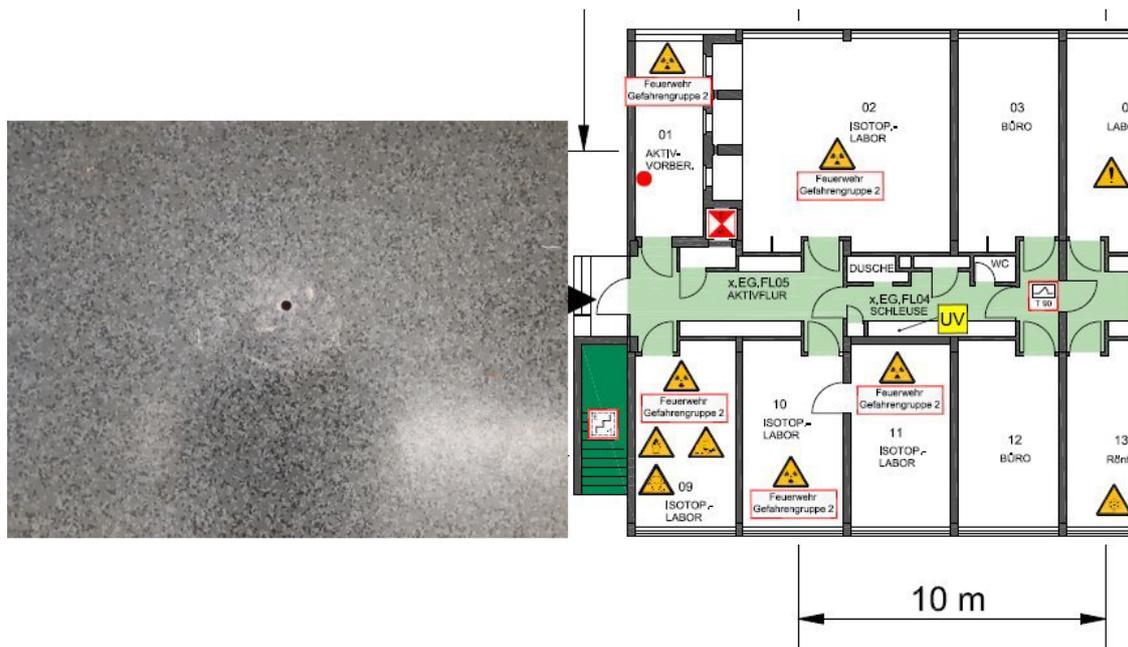


Abb. B 18 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe WSBUG1

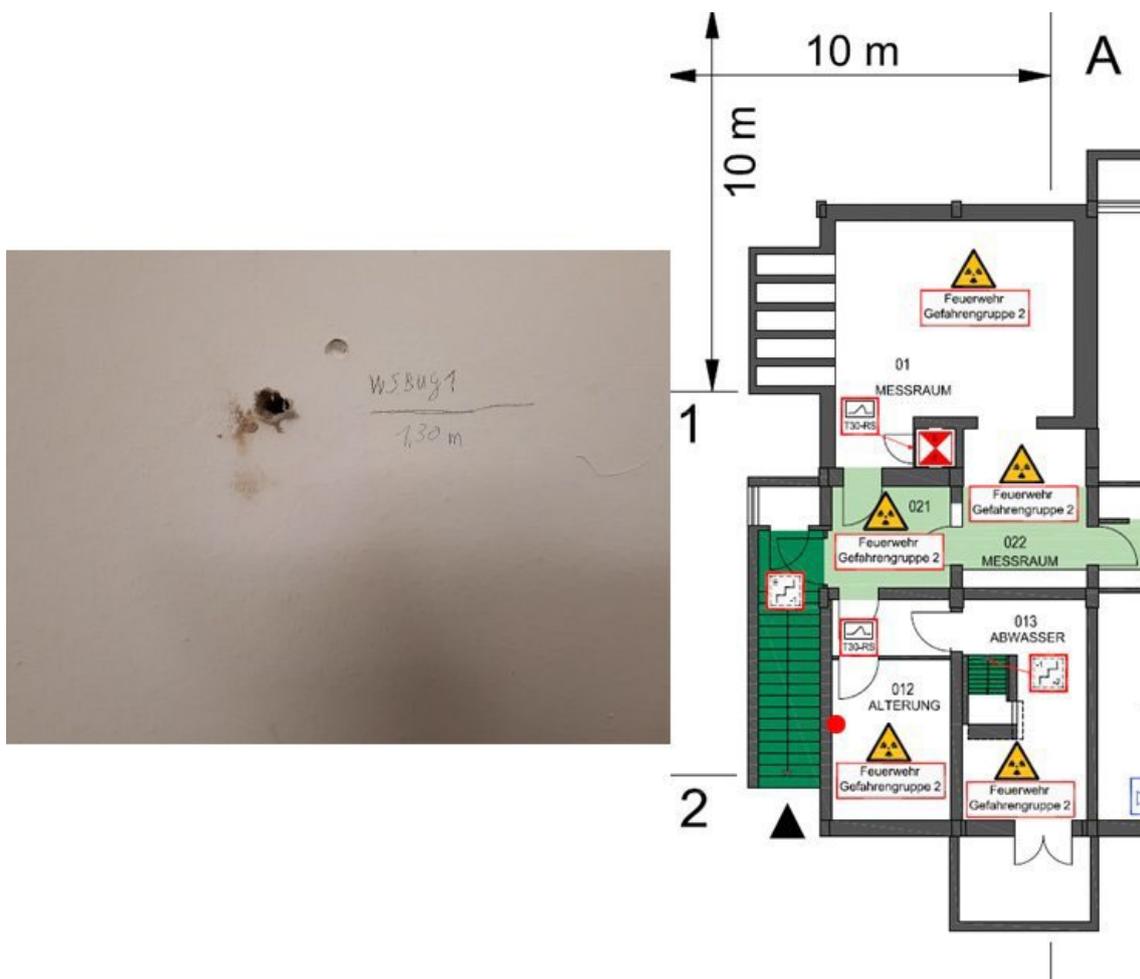


Abb. B 19 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe BL2EG3

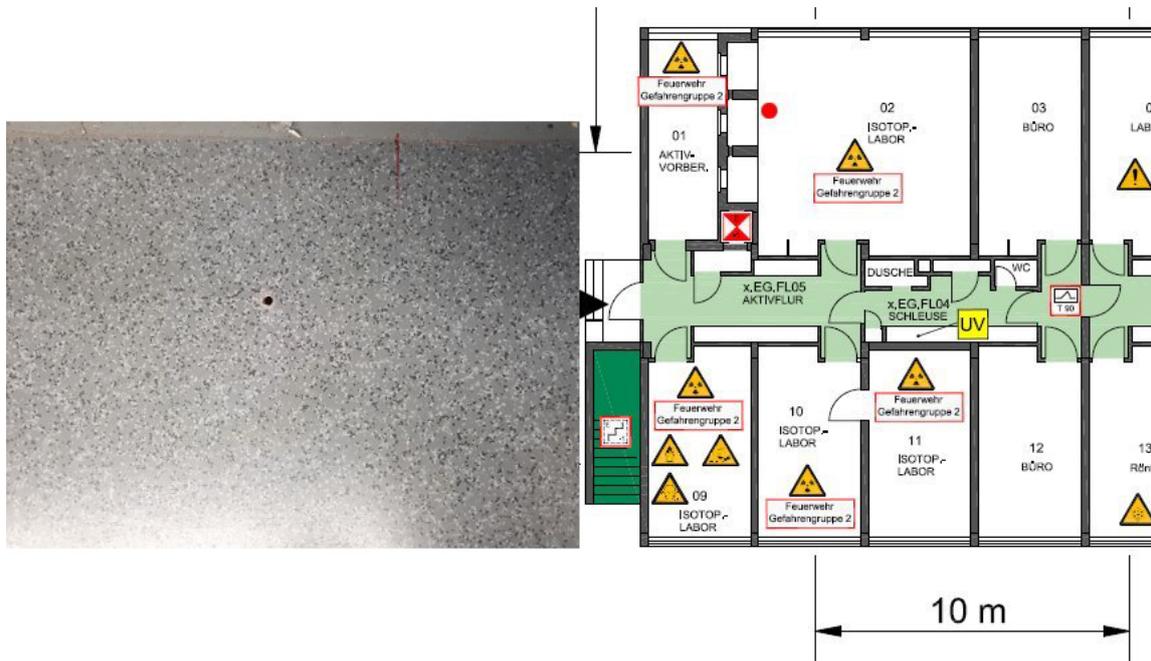


Abb. B 14 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe WR1EG1

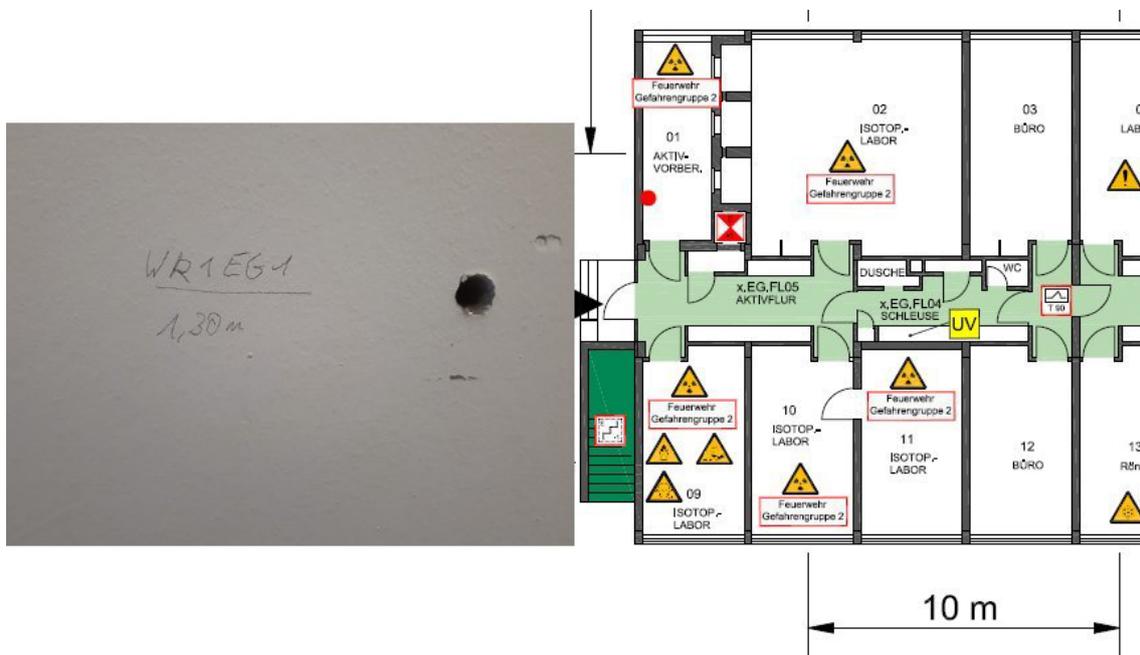


Abb. B 15 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

Probe BBUG1

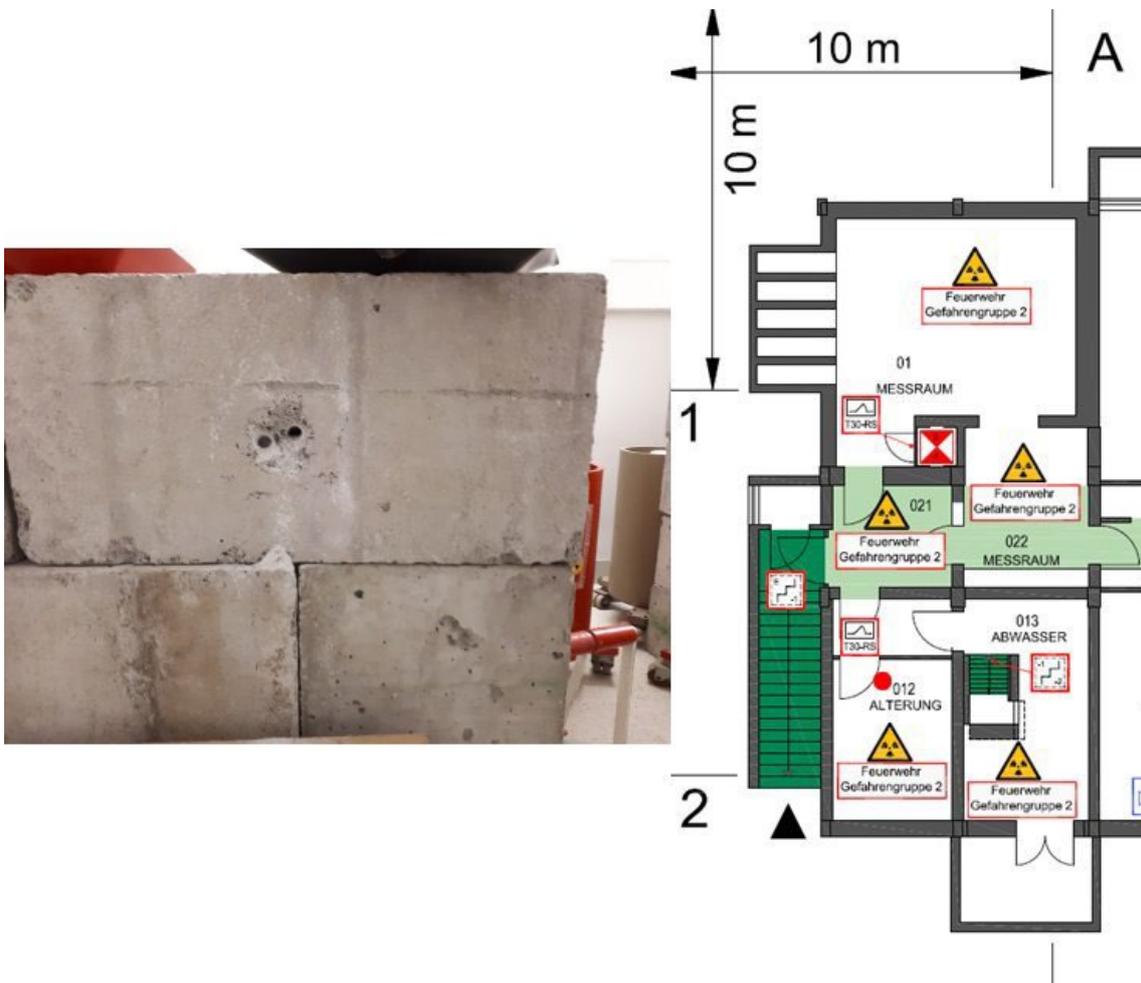


Abb. B 20 Bohrloch der Feststoffprobenentnahme (links). Lokalisierung im Labor (rechts, rot markiert)

**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