

**Untersuchungen zur
Planung und
Umsetzung des
Abschlusses der
Stilllegung von
Kernkraftwerken in
Deutschland**

Untersuchungen zur Planung und Umsetzung des Abschlusses der Stilllegung von Kernkraftwerken in Deutschland

Abschlussbericht

Sebastian Schneider
Björn-Alexander Dittmann-Schnabel
Christian Lambertus
Richard Spanier

Juni 2024

Anmerkung:

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) unter dem Förderkennzeichen 4721R01370 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

Abschluss, Bilanzierung, Gesamtergebnis, Stilllegung, Stilllegungsplanung

Kurzfassung

Bereits vor der politischen Entscheidung der Bundesregierung zum Ausstieg aus der friedlichen Nutzung der Kernenergie zur Erzeugung von Elektrizität um die Jahrtausendwende wurden Kernkraftwerke in Deutschland endgültig abgeschaltet und ihre Stilllegung eingeleitet. Dementsprechend konnten drei Stilllegungsprojekte gänzlich abgeschlossen werden und der Stilllegungsabschluss von vier weiteren Anlagen steht unmittelbar bevor.

Im Vorhaben „Untersuchungen zur Planung und zur Umsetzung des Abschlusses der Stilllegung von Kernkraftwerken in Deutschland“ wurde die bisherige Bilanz der Stilllegungsprojekte für alle deutschen Kernkraftwerke hinsichtlich messbarer Schlüsselgrößen einzeln ausgewertet. In Fällen, in denen Kenngrößen Auffälligkeiten zeigten, etwa in Form eines steilen Anstiegs im Jahresverlauf, wurde nach den Ursachen auf Basis der verfügbaren Informationen geforscht.

Eine größere Anzahl an Kernkraftwerken mit längerer Stilllegungshistorie zeigt die gemeinsame Tendenz einer verlängerten letzten Stilllegungsphase, welche die Dekontamination und Freigabemessungen umfasst. Hinsichtlich der Gesamtdauer der Stilllegung zeigen sich dadurch deutliche Abweichungen von der initialen Stilllegungsplanung und dies lässt darauf schließen, dass die Stilllegungsplanung bezüglich der radiologischen Charakterisierung noch Verbesserungspotenzial hat. Andere Größen, einschließlich radioaktiver Reststoffe und Exposition des beteiligten Personals, liegen dagegen im Bereich der Planungswerte und im Regelfall darunter.

Ein Blick ins Ausland zeigt, dass die Betreiber von Kernkraftwerken in Europa anderen regulatorischen und finanziellen Bedingungen für die Stilllegung unterliegen als in Deutschland. Die Anlage Bohunice V1 (Slowakei) wird mithilfe von EU-Geldern abgebaut und die Stilllegung unterliegt damit einem gewissen Erfolgsdruck. Die britischen „Magnox“-Anlagen werden von einer staatlichen Organisation mit nationalen Steuergeldern stillgelegt. Der längerfristige sichere Einschluss ist hier gängiges Mittel und gesellschaftlich akzeptiert. In Spanien existiert die Möglichkeit einer beschränkten Standortfreigabe für die industrielle (und nicht beliebige) Nachnutzung.

Abstract

Even before the German government's political decision to phase out the peaceful use of nuclear energy to generate electricity at the turn of the millennium, nuclear power plants in Germany were finally shut down and their decommissioning was initiated. Accordingly, three decommissioning projects have been fully completed and the decommissioning of four further plants is imminent.

In the project "Investigations into the planning and implementation of the completion of the decommissioning of nuclear power plants in Germany", the overall outcome of the decommissioning projects for all German nuclear power plants was evaluated individually with regard to measurable key parameters. In cases where parameters showed anomalies, for example in the form of a steep increase over the course of the year, the causes were investigated on the basis of the available information.

A larger number of nuclear power plants with a longer decommissioning history show a common tendency towards an extended final decommissioning phase, which includes decontamination and clearance measurements. With regard to the total duration of decommissioning, this shows clear deviations from the initial decommissioning planning and suggests that decommissioning planning still has potential for improvement with regard to radio-logical characterization. In contrast, other variables, including radioactive residues and exposure of the personnel involved, are within the range of the planning values and generally below them.

A look abroad shows that operators of nuclear power plants in Europe are subject to different regulatory and financial conditions for decommissioning than in Germany. The Bohunice V1 plant (Slovakia) is being dismantled with the help of EU funds and decommissioning is therefore subject to a certain amount of pressure to succeed. The British "Magnox" plants are being decommissioned by a state organization with national taxpayers' money. Long-term safe enclosure is a common practice here and is socially accepted. In Spain, there is the possibility of a limited site release for industrial (and not any) subsequent use.

Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung.....	I
	Abstract.....	III
1	Einleitung und Motivation	1
1.1	Übersicht und Einteilung der betrachteten Anlagen	3
2	Auswertung der Stilllegungsbilanzen deutscher Kernkraftwerke.....	7
2.1	Auswertung der Stilllegungsbilanzen der Kernkraftwerke mit endgültiger Abschaltung bis 2005	9
2.2	Auswertung der Stilllegungsbilanzen der Kernkraftwerke mit endgültiger Abschaltung 2011.....	19
2.3	Auswertung der Stilllegungsbilanzen der Kernkraftwerke mit endgültiger Abschaltung ab 2015.....	21
3	Zusammenfassende Gesamtauswertung und Ausblick	25
3.1	Stilllegungsstrategien und zeitlicher Kontext.....	25
3.2	Dauer von Stilllegung und Abbau.....	26
3.3	Personeller Aufwand der Stilllegung	27
3.4	Exposition des Personals.....	27
3.5	Reststoffe, radioaktive Abfälle und Freigabe.....	28
3.6	Trends und Einflussfaktoren in der Stilllegung	29
3.7	Ausblick	32
4	Erkenntnisse aus der Teilnahme am internationalen Erfahrungsaustausch	35
4.1	Stilllegungsabschluss Kernkraftwerk Bohunice V1, Slowakei.....	37
4.2	Stilllegungsabschluss „Magnox“-Anlagen, Großbritannien	39
4.3	Stilllegungsabschluss Jose Cabrera, Spanien	41
	Literaturverzeichnis.....	43
	Abbildungsverzeichnis.....	47

	Tabellenverzeichnis.....	49
	Abkürzungsverzeichnis.....	51
A	Anhang A: Stilllegungsbilanzen der A-Anlagen (endgültige Abschaltung vor 2011)	53
A.1	Anlage A-1	53
A.2	Anlage A-2.....	57
A.3	Anlage A-3.....	65
A.4	Anlage A-4.....	71
A.5	Anlage A-5.....	81
A.6	Anlage A-6.....	90
A.7	Anlage A-7	98
A.8	Anlage A-8.....	106
A.9	Anlage A-9.....	110
A.10	Anlage A-10.....	115
A.11	Anlage A-11	121
A.12	Anlage A-12.....	128
A.13	Anlage A-13.....	134
A.14	Anlage A-14.....	142
A.15	Anlage A-15.....	149
B	Anhang B: Stilllegungsbilanzen der B-Anlagen (endgültige Abschaltung 2011).....	157
B.1	Anlage B-1	157
B.2	Anlage B-2.....	163
B.3	Anlage B-3.....	169
B.4	Anlage B-4.....	175
B.5	Anlage B-5.....	179
B.6	Anlage B-6.....	186
B.7	Anlage B-7	190
B.8	Anlage B-8.....	194

C	Anhang C: Stilllegungsbilanzen der C-Anlagen (endgültige Abschaltung nach 2011).....	201
C.1	Anlage C-1.....	201
C.2	Anlage C-2.....	205
C.3	Anlage C-3.....	209
C.4	Anlage C-4.....	212
C.5	Anlage C-5.....	215
C.6	Anlage C-6.....	218
C.7	Anlage C-7.....	222
C.8	Anlage C-8.....	224
C.9	Anlage C-9.....	226

1 **Einleitung und Motivation**

Deutschland hat bereits mit dem ersten Ausstiegsbeschluss um die Jahrtausendwende das Ende der Kernenergienutzung zur Elektrizitätserzeugung beschlossen und das Atomgesetz (AtG) entsprechend geändert. Die endgültige Abschaltung der Kernkraftwerke in Stade und Obrigheim folgte wenige Jahre danach 2003 bzw. 2005. Doch bereits zuvor wurden in Deutschland Kernkraftwerke endgültig abgeschaltet und mit ihrer Stilllegung begonnen, wenngleich dabei zumeist technische oder wirtschaftliche Gründe zur Stilllegungsentscheidung geführt haben.

Gegen Ende der 1980er Jahre wurde letztmalig die Stilllegungsstrategie des sicheren Einschlusses für ein deutsches Kernkraftwerk gewählt. Heute ist nur noch eine Anlage in diesem Zustand verblieben, während alle übrigen abgebaut werden bzw. wurden. Gemäß § 7 Abs. 3 S. 4 AtG sind nach aktueller Rechtslage die Kernkraftwerke der Energieversorgungsunternehmen unverzüglich stillzulegen und abzubauen.

Deutschland verfügt als eine führende Nation auf dem Gebiet der Stilllegung von Kernkraftwerken über umfangreiche Stilllegungserfahrung. Dementsprechend sind hierzulande bereits Kernkraftwerke vollständig stillgelegt worden, oder der Abbau ist so weit fortgeschritten, dass mit einem Abschluss der Stilllegung in wenigen Jahren zu rechnen ist. Des Weiteren existieren in Deutschland Stilllegungsprojekte, bei denen keine Abbauarbeiten mehr stattfinden, die Entlassung der Anlage aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung aber noch nicht vollzogen wurde. Eine Übersicht über historische Betriebsverläufe und prognostizierte Abschlüsse von Stilllegung und Abbau sind in Abb. 1.1 dargestellt.

Aufgrund der Kombination aus substanzieller Erfahrung, die im Bereich der Stilllegung kerntechnischer Anlagen in Deutschland bereits vorliegt und den zeitgleich zahlreichen noch zu bewältigenden Stilllegungsprojekten, bietet sich eine Auswertung der Erkenntnisse im Hinblick auf den Abschluss der Stilllegung zum aktuellen Zeitpunkt an, da sich noch Lehren für aktuelle Projekte ziehen lassen. Durch diese Forschungsarbeit wird erstmalig der Fokus dezidiert auf Abschluss und Endzustand gelegt und rückblickend erfasst, welche Einflussfaktoren sich im Hinblick auf eine erfolgreiche Stilllegung gezeigt haben.

Die Planungen der laufenden Stilllegungsprojekte sehen in Bezug auf den Abschluss der Stilllegung die Freigabe der Gebäude an der stehenden Struktur als bevorzugte Variante

vor, um anschließend einen konventionellen Abbruch der Gebäude vornehmen zu können. Auch das Anlagengelände muss für die Entlassung der Gesamtanlage aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Aufsicht freigeben werden. Inwieweit diese Ziele in allen Fällen gemäß den aktuellen Planungen erreicht werden können, ist derzeit nicht eindeutig absehbar und kann einen großen Einfluss auf den Abschluss der Stilllegung hinsichtlich zeitlicher Faktoren, auf zu entsorgende Massen und damit auch auf die Kosten haben. Dies zeigt die Bedeutung der gezielten Betrachtung des Stilllegungsabschlusses.

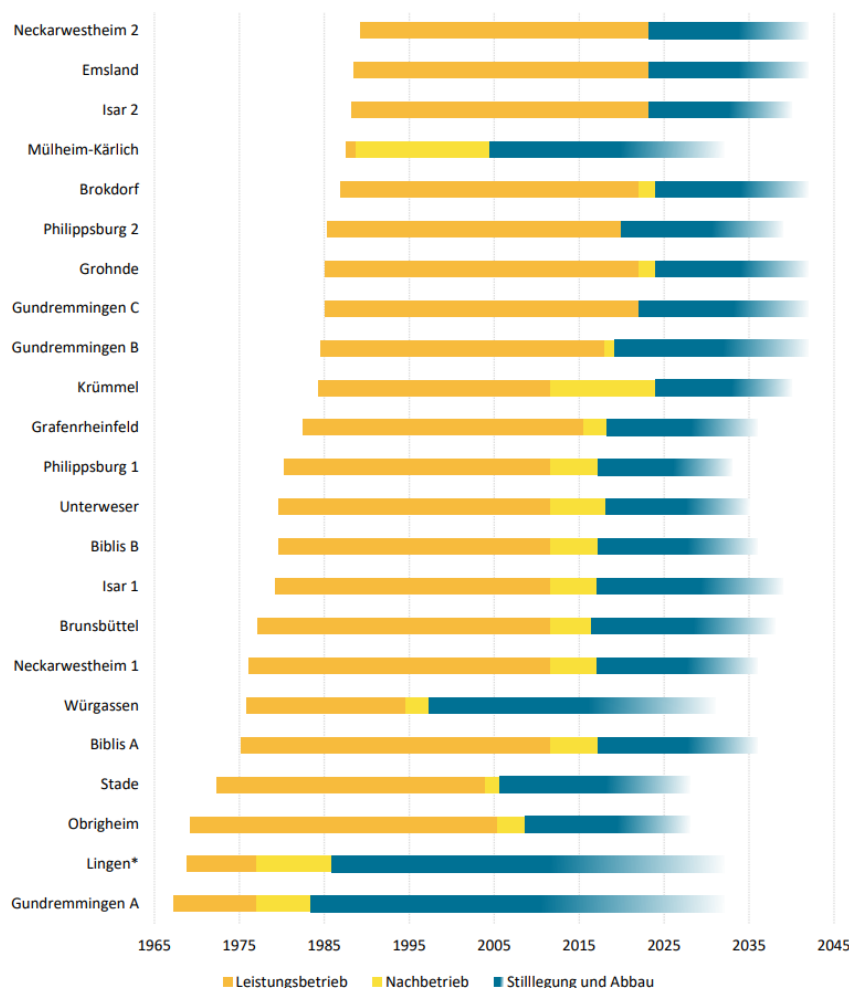


Abb. 1.1 Vergangene und prognostizierte Betriebsverläufe deutscher KKW /DBT 23/

Erkenntnisse, aus welchen Gründen die tatsächliche Herstellung des häufig avisierten Endzustandes der uneingeschränkten Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung („Grüne Wiese“ oder konventionelle Nachnutzung) noch nicht erreicht wurde, sind von großem öffentlichen Interesse. Der Vergleich der initialen Stilllegungsplanung mit der abschließenden Bilanz und die Analyse von Einflussfaktoren

können hierfür Antworten liefern. Die daraus gewonnenen Erfahrungen können somit für eine Bewertung der noch am Anfang stehenden Stilllegungsprojekte genutzt werden.

Im Vordergrund der Arbeiten steht eine Bilanzierung des Zeitrahmens, des Arbeits- und Personalaufwands in Gänze, der kollektiven Strahlenexposition, der kumulativen Ableitung radioaktiver Stoffe und des Reststoff-, bzw. Abfallaufkommens. Die Bilanzierung erfolgt auf Basis der verfügbaren Informationen, die über die Laufzeit der Stilllegungsprojekte gesammelt wurden. Ferner wurde untersucht, in welchem Zustand sich der Standort nach der Entlassung aus der atomrechtlichen Regulierung befindet. Sofern Informationen dazu vorlagen, wurden etwaige fortgeltende Pflichten der Betreiberinnen, etwa zur Aufbewahrung der Dokumentation etc., angegeben. Durch die Auswertung der Bilanzierung wurden schlussfolgernd Tendenzen mit Blick auf aktuelle und künftige Stilllegungsprojekte aufgezeigt. Dabei wurde für alle Anlagen mit nennenswerter Stilllegungshistorie die anfängliche Planung vor Beginn der Stilllegung dem tatsächlichen bzw. letzten Stand gegenübergestellt. Gegebenenfalls vollzogene Strategiewechsel wurden insbesondere bei der Betrachtung des Zeitrahmens berücksichtigt. Ferner wurde untersucht, welche Faktoren den Abschluss der Stilllegung ggfs. beeinflusst haben oder beeinflussen und inwieweit und aus welchen Gründen ursprünglich verfolgte Strategien im Laufe der Projekte angepasst wurden.

Die Auswahl der Bilanzierungsgrößen orientiert sich zum einen an der Verfügbarkeit entsprechender Informationen und zum anderen an deren Aussagekraft als Indikatoren für einen planmäßigen Projektverlauf. Eine abschließende Bewertung der Projektverläufe kann dadurch jedoch nicht abgegeben werden, da die Komplexität intrinsischer Abhängigkeiten und äußerer Randbedingungen nicht voll erfasst wird. Dennoch lassen sich Schlussfolgerungen für laufende Stilllegungsprojekte ziehen, die in diesem Bericht beschrieben sind.

1.1 Übersicht und Einteilung der betrachteten Anlagen

Zur Bilanzierung der Stilllegung deutscher Kernkraftwerke werden diese in drei Gruppen eingeteilt:

- **Gruppe A:** Alle Kernkraftwerke, die bis einschließlich 2005 endgültig abgeschaltet wurden.

- **Gruppe B:** Kernkraftwerke, die 2011 zunächst durch ein Moratorium abgeschaltet wurden und am 6. August 2011 mit entsprechender Änderung des Atomgesetzes die Berechtigung zum Leistungsbetrieb verloren haben.
- **Gruppe C:** Alle übrigen Kernkraftwerke, die nach 2011 endgültig abgeschaltet wurden.

Diese Einteilung ist auch in Tab. 1.1 dargestellt. Der zugrunde liegende Informationsstand dieses Berichtes ist der 1. Dezember 2023. Mit „Stilllegung Enddatum“ ist in der Tabelle die Entlassung aus der atomrechtlichen Überwachung gemeint, während „konv. Abriss“ den anschließenden Abbruch nach konventionellem Recht bezeichnet. Durch die Betreiberin prognostizierte Werte werden in Klammern angegeben.

Im Folgenden wird eine pseudonymisierte Benennung der Anlagen nach dem Schema A-X, B-X, C-X verwendet. Anlagenspezifische Daten (z. B. thermische oder elektrische Leistung sowie Jahreszahlen) werden nur grob angegeben. Trotzdem werden Schlussfolgerungen vergleichend gezogen. Erkenntnisse werden entsprechend generisch gewonnen (siehe Anhänge A, B, C) und auf die jeweilige Anlagengruppe (A, B und C) in der Auswertung in Kap. 2 bezogen.

Tab. 1.1 Übersicht der deutschen Kernkraftwerke und wichtige Kenndaten mit Prognosen in Klammern

„SE“ bezeichnet den sicheren Einschluss.

Anlage	Außerbetriebnahme	Stilllegung Antragsdatum	Stilllegung Startdatum	Stilllegung Enddatum	Konv. Abriss
KKN	31.07.1974	21.10.1975 (SE)/ 1982	20.10.1981 (SE)/ 06.06.1986 (Abbau)	17.08.1995	17.08.1995
HDR	1971		16.02.1983 (Nach- nutzung Übungen)/ 29.12.1994	14.05.1998	15.10.1998
VAK	25.11.1985	01.08.1985	05.05.1988	17.05.2010	24.09.2010
KWL	05.01.1977	13.06.1983	21.11.1985 (SE)/ 21.12.2015 (Abbau)		
KRB-A	13.01.1977	20.06.1980	26.05.1983		
MZFR	03.05.1984	22.04.1986	17.11.1987	(2025)	(2025)
AVR	01.09.1988	18.12.1986	09.03.1994	(2032)	
KMK	09.09.1988	16.12.2001	16.07.2004	(2025)	
THTR-300	29.09.1988	26.09.1989	22.10.1993 (SE)/ 2030 (Abbau)		
KKR	01.06.1990	26.03.1992	28.04.1995	(2035)	
KGR	18.12.1990	17.06.1994	30.06.1995	(2028)	
KNK II	23.08.1991	21.04.1992	26.08.1993	(2024)	
KWW	26.08.1994	25.09.1995	14.04.1997	2015	(2026)
KKS	14.11.2003	23.07.2001	07.09.2005	(2026)	
KWO	11.05.2005	21.12.2004	28.08.2008	(2024)	
KWB-A	06.02.2011	06.08.2012	30.03.2017		
GKN I	01.03.2011	24.04.2013	03.02.2017	(2032)	
KKI 1	06.08.2011	04.05.2012	17.01.2017	(2037)	
KKU	06.08.2011	04.05.2012	06.02.2018	(2033)	
KWB-B	06.08.2011	06.08.2012	01.06.2017		
KKB	06.08.2011	01.11.2012	21.12.2018		
KKP 1	06.08.2011	24.04.2013	07.04.2017		
KKK	06.08.2011	24.08.2015			
KKG	27.06.2015	28.03.2014	16.04.2018	(2033)	
KRB-II-B	31.12.2017	31.07.2019	27.03.2019	(2039)	
KKP 2	31.12.2019	18.07.2016	30.01.2020	(2030)	(2031)
KRB-II-C	31.12.2021	31.07.2019	26.05.2021	(2041 – 2051)	
KWG	31.12.2021	26.10.2017			
KBR	31.12.2021	01.12.2017			
GKN II	15.04.2023	18.07.2016	04.04.2023		
KKE	15.04.2023	22.12.2016			
KKI 2	15.04.2023	01.07.2019		(2037)	

2 Auswertung der Stilllegungsbilanzen deutscher Kernkraftwerke

Sämtliche deutsche Kernkraftwerke wurden hinsichtlich der Bilanz ihrer bisherigen Stilllegungsaktivitäten ausgewertet. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf folgenden Messgrößen:

- Zeitaufwand für die Stilllegung und die Randbedingungen, die sich aus der gesamten Anlagenhistorie ergeben haben
- Arbeits- und Personalaufwand für Stilllegungsaktivitäten
- Entwicklung und Summe der erhaltenen Kollektivdosen des Personals in der Stilllegung
- Verlauf der Ableitungen in der Stilllegung
- Reststoff- und Abfallaufkommen
- Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem Atom- und Strahlenschutzrecht (falls zutreffend bzw. bekannt)

Neben einer Beschreibung bzw. Darstellung dieser Daten, wurden „Auffälligkeiten“ in diesen Daten und ihren Verläufen besonders betrachtet und die jeweiligen Umstände, wo möglich, aufgeklärt. Teil der Einzelauswertung war außerdem der Vergleich der gemessenen bzw. dokumentierten Daten mit Planungswerten, die im Rahmen des Genehmigungsverfahrens zur Stilllegung angegeben wurden. Im Fall von klaren Abweichungen von den Planungswerten oder einem erwartbaren Verlauf wurden mögliche Ursachen diskutiert, welche auch z. B. rechtliche, technische oder gesellschaftliche Umstände einschließen können.

Die Kapitel zu den einzelnen Kernkraftwerken sind aufgrund ihres Gesamtumfangs, entsprechend ihren Anlagengruppen, als Anhänge A, B und C angefügt.

Das idealtypische Kernkraftwerk in Stilllegung

Auf Basis der Erkenntnisse, die sich aus den Einzelanalysen ergaben, lässt sich schlussfolgern, welche Eigenschaften ein idealtypischer, „unauffälliger“ Datensatz einer Anlage hat:

- Die Betriebsdauer beträgt mindestens zehn Jahre und die gesamte Stilllegungsdauer beträgt rund 20 Jahre.
- Das Eigenpersonal ist in seiner Stärke in der Stilllegung im Vergleich zum Leistungsbetrieb um mehr als 50 % abgestockt und auf wenig veränderlichem, niedrigen Niveau. Es übernimmt die verbleibenden Aufgaben des Restbetriebs. Da sich das Arbeitsaufkommen mit dem Abbaufortschritt aufgrund der kontinuierlich geringer werdenden Anzahl an betriebenen Systemen reduziert, ergibt sich auch beim Personaleinsatz des Eigenpersonals eine leicht sinkende Tendenz. Das Fremdpersonal wird für spezifische Abbauaufgaben eingesetzt, und dessen Stärke schwankt je nach Abbaugewerk im Bereich einiger hundert Personen.
- Am Verlauf der jährlich anfallenden Kollektivdosen des (Fremd-)Personals spiegeln sich dosisintensive Tätigkeiten. Ob eine Anlage zunächst aktivierte, kernnahe und anschließend periphere Komponenten abbaut (Abbau von innen nach außen) oder umgekehrt vorgeht, lässt sich anhand des Verlaufs erkennen. Das Eigenpersonal beteiligt sich nicht an Abbautätigkeiten. Dessen jährliche Kollektivdosis ist niedriger und schwankt über die Zeit kaum, mit insgesamt sinkender Tendenz entsprechend der abbaubedingten Verringerung der Aktivitätsinventare.
- Die jährlichen Ableitungen schwanken ebenfalls mit den Abbautätigkeiten, liegen aber jederzeit deutlich unter den Genehmigungswerten. Die Verläufe haben wenig Aussagekraft für die Stilllegungsbilanz, zeigen jedoch deutlich, dass Stäube oder Aerosole sowie wasserlösliche Stoffe innerhalb der Anlage während oder aufgrund des Abbaus effektiv zurückgehalten werden und sich kaum Auswirkungen auf die Ableitungen feststellen lassen.
- Reststoffe fallen kontinuierlich an, wobei die größten Massen aufgrund des Gebäudeabrisses am Stilllegungsende anfallen. Über 95 % dieser Massen können nach §§ 31 - 42 StrlSchV (bis 2017 nach § 29) freigegeben werden. Am Standort der Anlage befinden sich ein oder zwei Zwischenlager zur Aufnahme von zu entsorgenden (radioaktiven) Abfällen.

- Der geplante Endzustand der Anlage ist die „Entlassung aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes“, soweit nicht anders angegeben gleichbedeutend mit der Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Aufsicht.

Erfüllt eine Anlage eines dieser Kriterien, so ist in Einzelkapiteln der Anhänge A, B und C von „unauffälligen“ oder „typischen“ Verläufen oder Werten die Rede. Beispielsweise erfüllen die Anlagen A-13 und A-15 (siehe Anhang A.13 und A.15) fast alle der genannten Kriterien. Gleiches gilt bisher auch für alle B-Anlagen in Stilllegung.

2.1 Auswertung der Stilllegungsbilanzen der Kernkraftwerke mit endgültiger Abschaltung bis 2005

Die im Folgenden beschriebenen Kernkraftwerke der Gruppe A wurden seit Beginn der Nutzung der Kernenergie in Deutschland bis spätestens 2005 endgültig abgeschaltet. In Tab. 2.1 sind alle Kernkraftwerke der Gruppe A im Klartext aufgelistet. Die weiteren Unterkapitel enthalten Anlagen-Pseudonyme nach dem Schema A-X. Die Bilanzierungen der Stilllegung aller Einzelanlagen sowie die zugehörigen Auswertungen befinden sich in Anhang A.

Die Kernkraftwerke der Gruppe A wurden zwischen 1971 und 2005 endgültig abgeschaltet und beinhalten zahlreiche Prototypreaktoren sowie die ersten Serien von Druck- und Siedewasserreaktoren (DWR, SWR), auf deren Basis spätere Anlagengenerationen weiterentwickelt wurden. Trotz Zugehörigkeit zur ersten Serie, gibt es selbst bei diesen Anlagen keine zwei vollständig baugleichen Kernkraftwerke. Dies ist als Randbedingung für einen Anlagenvergleich zu berücksichtigen. In Gruppe A sind sowohl private als auch von der öffentlichen Hand finanzierte Stilllegungsprojekte enthalten. Zur zweiten Teilmenge zählen auch die in der früheren DDR betriebenen Leistungsreaktoren.

Tab. 2.1 Übersicht der Kernkraftwerke der Gruppe A, Prognosen in Klammern

Anlage	Außerbetriebnahme	Antrag Stilllegung	Start Stilllegung	Stilllegung Enddatum	Ende konv. Abriss (Beginn Abriss bei Prognosen)
KKN	31.07.1974	21.10.1975 (SE)/1982	20.10.1981 (SE)/06.06.1986 (Abbau)	17.08.1995	17.08.1995
HDR	1971		16.02.1983 (Nachnutzung Übungen)/29.12.1994	14.05.1998	15.10.1998
VAK	25.11.1985	01.08.1985	05.05.1988	17.05.2010	24.09.2010
KWL	05.01.1977	13.06.1983	21.11.1985 (SE)/21.12.2015 (Abbau)		
KRB-A	13.01.1977	20.06.1980	26.05.1983	Nachnutzung seit 2014	
MZFR	03.05.1984	22.04.1986	17.11.1987	(2025)	(2025)
AVR	01.09.1988	18.12.1986	09.03.1994	(2032)	
KMK	09.09.1988	16.12.2001	16.07.2004	(2025)	
THTR-300	29.09.1988	26.09.1989	22.10.1993 (SE)/(2030 (Abbau))		
KKR	01.06.1990	26.03.1992	28.04.1995	(2035)	
KGR	18.12.1990	17.06.1994	30.06.1995	(2028)	
KNK II	23.08.1991	21.04.1992	26.08.1993	(2024)	
KWW	26.08.1994	25.09.1995	14.04.1997	2015 ¹	(2026)
KKS	14.11.2003	23.07.2001	07.09.2005	(2026)	
KWO	11.05.2005	21.12.2004	28.08.2008	(2024)	

Im Folgenden werden die in den Einzelabschnitten in Anhang A aufgeführten und ausgewerteten messbaren Kenngrößen übergreifend verglichen.

Bei der Dauer der Stilllegung zeigt sich, dass ein Zeitraum von 20 bis 30 Jahren von der Erteilung der Stilllegungsgenehmigung bis zur Beendigung aller Stilllegungstätigkeiten bei den älteren Kernkraftwerken typisch ist. Da einige Anlagen trotz Beendigung der Abbautätigkeiten aus verschiedenen Gründen noch nicht aus der atomrechtlichen Aufsicht entlassen wurden, wird der Zeitpunkt der Beendigung des Abbaus für den Vergleich herangezogen. Mit dem aktuellen Stand prognostizierte Werte sind in der Tab. 2.2 in Klammern angegeben.

¹ Die Anlage selbst ist aus der atomrechtlichen Überwachung entlassen. Ein Gebäudeteil wird als Zwischenlager nach StrlSchG weiterbetrieben.

Tab. 2.2 Übersicht Stilllegungsdauer A-Anlagen

Anlage	Dauer bis Ende Stilllegungstätigkeiten in Jahren (GRS-Prognose)	Dauer der reinen Abbauarbeiten ohne sicheren Einschluss oder Nachnutzung (GRS-Prognose)
A-1	15	5
A-2	8	8
A-3	(> 60) war im sicheren Einschluss	(20)
A-4	22	22
A-5	30; Pilotprojekt Stilllegung	30
A-6	(50)	(25)
A-7	(41)	(30)
A-8	(> 60 inkl. sicherem Einschluss)	(20)
A-9	(25)	(25)
A-10	(35)	(35)
A-11	(33)	(33)
A-12	(31) Stilllegung fast abgeschlossen	(31)
A-13	(> 30) z. Zt. keine Abbautätigkeiten	> 18
A-14	(22) Stilllegung fast abgeschlossen	(22)
A-15	(16) Stilllegung fast abgeschlossen	(16)

Man erkennt, dass die bereits abgeschlossenen und die fast abgeschlossenen Stilllegungsprojekte (siehe Tab. 2.2 und Abb. 2.1) eher im unteren Bereich der Stilllegungsdauern liegen (ca. 20 Jahre und darunter), während andauernde Projekte voraussichtlich 30 Jahre und länger beansprucht werden. Dies liegt vor allem daran, dass erstgenannte Anlagen nur kurz betrieben wurden und/oder vergleichsweise klein sind bzw. waren. Dies korreliert mit dem für den Abbau eingesetzten Personal in den entsprechenden Anlagen, was zeigt, dass hier der Aufwand im Allgemeinen geringer war.

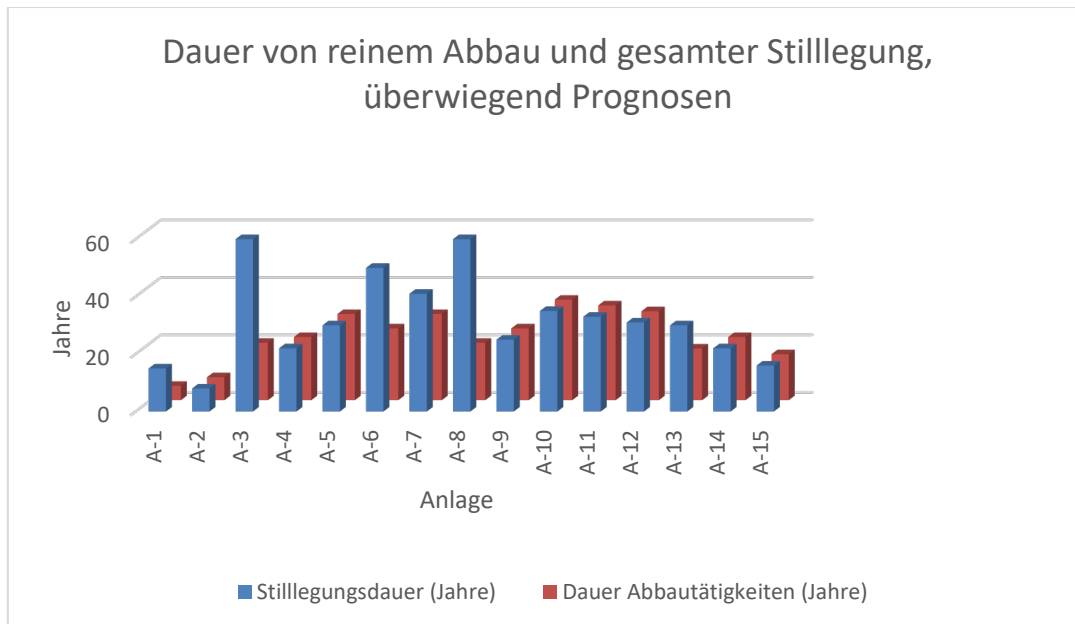


Abb. 2.1 Darstellung der (prognostizierten) Dauer aller Stilllegungsphasen (blau) und der reinen Abbautätigkeiten (rot)

Tab. 2.3 (Bisheriger) Arbeitsaufwand für die Stilllegung, Summe für Eigen- und Fremdpersonal

Anlage	Arbeitsaufwand in Pers.Jahren ²
A-1	Keine Information, Schätzung: < 1.000
A-2	632 (7.579 Pers.Monate; Betreiberangabe)
A-3	> 6.200
A-4	3.244
A-5	< 23.405
A-6	> 6.386
A-7	> 5.564
A-8	Noch nicht im Abbau, keine Angabe
A-9	> 3.937
A-10	> 6.409
A-11	> 38.455
A-12	> 3.507
A-13	< 18.414 kein Abbau mehr seit einigen Jahren
A-14	> 10.573
A-15	> 7.461

² Der Ansatz, in einem Jahr eingesetztes Personal als Personenjahr anzurechnen, führt zu einer systematischen Überschätzung, weil unklar ist, wie viele Stunden einzelne Personen im jeweiligen Jahr gearbeitet haben. Insbesondere Fremdpersonal ist nicht permanent in derselben Anlage tätig.

Der Zusammenhang wird also insbesondere bei den abgebauten Anlagen A-2 und A-3 deutlich. Bei der Mehrheit der A-Anlagen mit einem Reaktorblock und längerer Betriebs-historie liegt der Arbeitsaufwand (voraussichtlich) zwischen 5.000 und 10.000 Pers.Jahren. Normiert auf einen einzelnen Reaktor trifft dies auch auf die Mehrblockanlage A-11 zu. Bei der Anlage A-5 gehen in den Arbeitsaufwand auch Arbeiten zum Umbau in ein Technologiezentrum mit ein, so dass die Vergleichbarkeit in diesem Fall eingeschränkt ist.

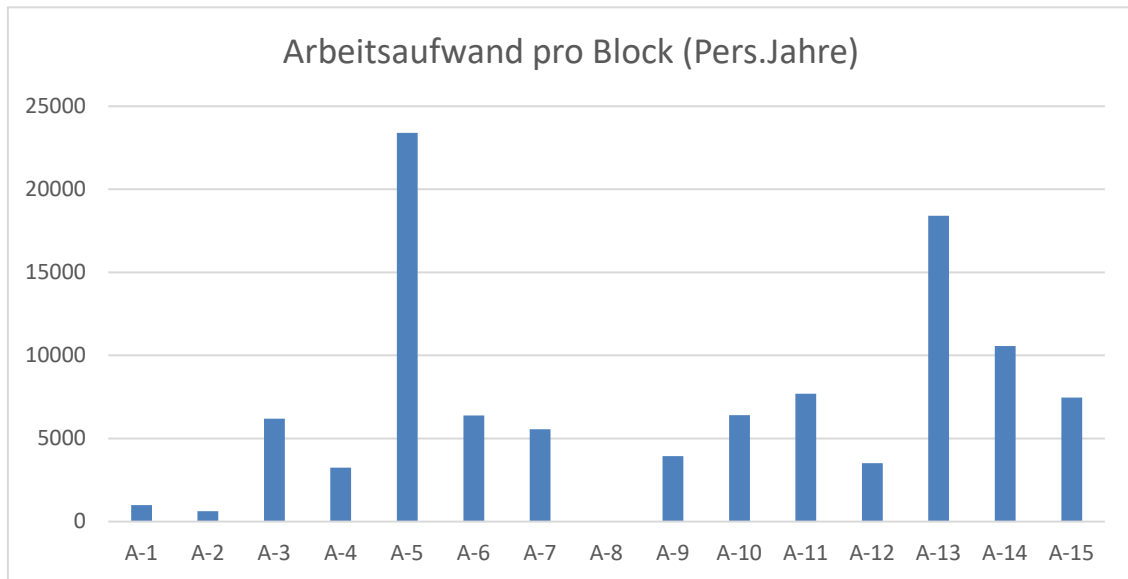


Abb. 2.2 Grafische Darstellung des Arbeitsaufwands für die Stilllegung pro Reaktorblock

Die in allen Stilllegungsphasen akkumulierte Personendosis wurde für alle A-Anlagen berechnet und wird zum Vergleich tabellarisch dargestellt (siehe Tab. 2.4).

Tab. 2.4 Akkumulierte Kollektivdosen und Planungswerte in der Stilllegungsphase

Anlage	Kollektivdosis (Pers.mSv)	Planungswert (Pers.mSv)
A-1	> 25,5	
A-2	421	
A-3	> 970	
A-4	3.100	
A-5	7.140	4.463
A-6	> 687	1.800
A-7	> 1.800	> 1933,6 in 6. bis 8. Phase
A-8	> 54	
A-9	> 454	1.000
A-10	> 1.446	
A-11	> 4.240	13.000
A-12	> 1.375	
A-13	7.500	1.200 pro Jahr in Phase 1
A-14	> 3.602	10.000
A-15	> 1.478	< 1.000 pro Jahr

Mit Ausnahme der Anlage A-5 wurden die erwarteten Kollektivdosen (soweit bekannt) bei allen Anlagen (bisher) unterschritten. Angesichts des Stilllegungsfortschritts und damit weiter abnehmender Strahlungsquellen ist eine Überschreitung auch bei noch nicht abgeschlossenen Abbauprojekten nicht mehr zu erwarten. A-5 ist in mehrerlei Hinsicht ein Sonderfall. Auch die Kenngrößen „Stilllegungsdauer“ und „Arbeitsaufwand“ sind hierbei in dem Sinne auffällig, dass sie vom eingangs aufgeführten idealtypischen Beispiel abweichen. Sie sind aber in sich konsistent. Zu möglichen Ursachen wird auf Kap. A.5 im Anhang verwiesen. In Abb. 2.3 ist eine grafische Darstellung der angefallenen Kollektivdosen für alle A-Anlagen während der Stilllegung zu sehen.

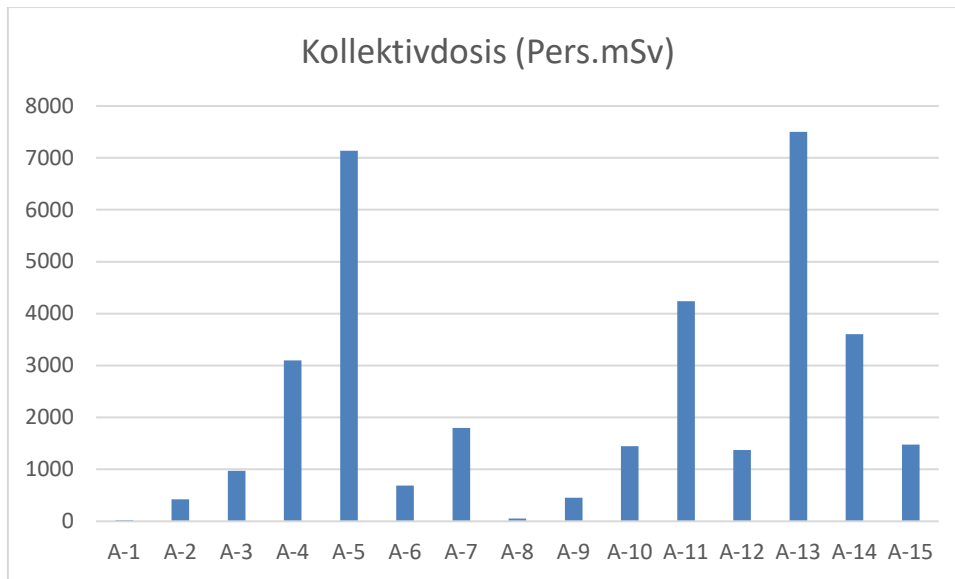


Abb. 2.3 Bisher angefallenen Kollektivdosen in allen Stilllegungsphasen in KKW der Gruppe A

Auch die stillgelegte Anlage A-13 zeigt eine im Vergleich zu den anderen Anlagen in der dieser Gruppe relativ hohe Kollektivdosis, die mit dem recht hohen Arbeitsaufwand im Zeitrahmen von 18 Jahren konsistent ist. Offensichtlich wurde mit viel Personalaufwand zügig auf den Stilllegungsabschluss hingearbeitet. Die Anlagen A-14 und A-15, die in einer ähnlichen Leistungsklasse zu verorten sind, werden voraussichtlich am Ende auf eine klar geringere Kollektivdosis (und weniger Personalaufwand) kommen. Dabei ist zu bedenken, dass der Abbau von A-14 und A-15 rund ein Jahrzehnt später begann als der von A-13, so dass möglicherweise Lerneffekte in der Durchführung zum Tragen kommen.

Aus den jährlichen Ableitungen lässt sich keine sinnvolle Vergleichsgröße ableiten, so dass diese für den anlagenübergreifenden Vergleich nicht miteinbezogen werden. Beispielhaft werden die Ableitungen radioaktiver Gase (ohne Tritium) für die Anlagen A-13, A-14 und A-15 in den ersten sieben Stilllegungsjahren gemeinsam in Abb. 2.4 dargestellt. Die gleichmäßigen Verläufe machen deutlich, dass Abbaumaßnahmen nur wenig Auswirkung auf die Ableitungen haben, selbst wenn Systeme infolge der Demontage geöffnet werden. Dies zeigt, dass Radionuklide innerhalb der Anlage effektiv zurückgehalten und gefiltert werden.

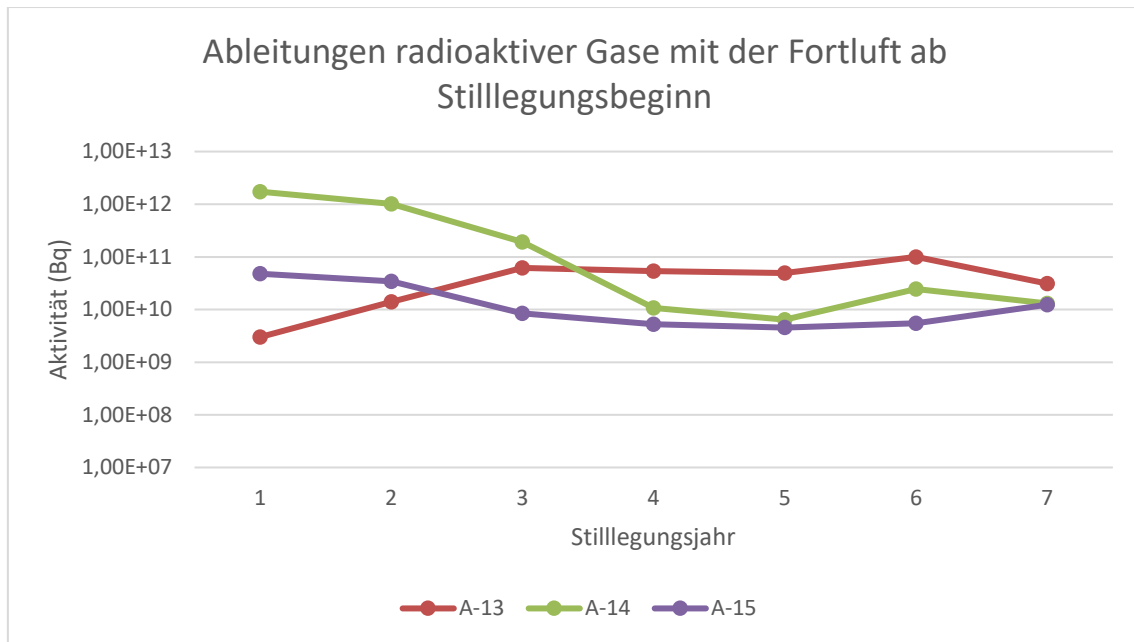


Abb. 2.4 Vergleich der Ableitungen mit der Fortluft aus den Anlagen A-13, A-14 und A-15 in den ersten sieben Stilllegungsjahren

Das Aufkommen von Reststoffen und radioaktiven Stilllegungsabfällen ist vor allem von der Größe und Leistung der Anlage aber auch vom Reaktortyp abhängig. Um eine möglichst vergleichbare Größe zu schaffen, wird der Quotient aus angefallenen radioaktiven Abfällen und der Gesamtmasse der Anlage gebildet. Da große Teile des abgebauten Materials freigegeben werden, haben Freigabewerte einen Einfluss auf diesen Quotienten. Er ist deshalb für den hier angestellten Vergleich eine geeignete Größe, jedoch kein sinnvoller Maßstab zum Vergleich mit ausländischen Anlagen, insbesondere außerhalb der Europäischen Union.

Tab. 2.5 Auflistung der radioaktiven Abfallmassen und Gesamtmassen der Anlagen der Gruppe A

Anlage	Radioaktive Abfallmasse/abgebaute Masse, bei Planungsdaten: (Radioaktive Abfallmasse/Gesamtmasse der Anlage)
A-1	325 Mg/35.000 Mg = 0,93 %
A-2	1.765 Mg/88.250 Mg = 2 %
A-3	(2.000 Mg/59.000 Mg = 3,4 %)
A-4	1.405 Mg/36.000 Mg = 3,9 % ohne Maschinenhaus
A-5	317,7 Mg/9.197 Mg = 3,5 % bisher (2917 Mg/58340 Mg = 5 %)
A-6	(4.148 Mg/38.618 Mg = 10,7 % inkl. Sekundärmassen)
A-7	(1.080 Mg/42.000 Mg = 2,6 % aus Kontrollbereich)
A-8	Nicht im Abbau; 6.000 m ³ für Konrad veranschlagt
A-9	(1.688 Mg/279.000 Mg = 0,6 % aus Kontrollbereich)
A-10	(10.000 Mg/340.000 Mg = 2,9 %) 47.600 Mg bisher abgebaut
A-11	(16.500 Mg/1.800.000 Mg = 0,9 %) 1.833 Mg bisher endgelagert
A-12	2.591 m ³ /k.l. m ³ bisher (2.300 m ³ /k.l. m ³)
A-13	1.000 Mg/20.300 Mg = 4,9 % (4.590 Mg/255.000 Mg = 1,8 %)
A-14	(2.984 Mg/101.353 Mg = 2,9 %)
A-15	(2.550 Mg/275.000 Mg = 0,9 %)

Da beim Abbau in der Regel zunächst die aktivierten und kontaminierten Teile entfernt werden und zum Schluss die Gebäude abgerissen werden, ist bei im Abbau befindlichen Anlagen mit dem Fortschritt ein sinkender Quotient (radioaktive Abfallmasse/abgebaute Masse) zu erwarten. Legt man die (konstante) Gesamtmasse zugrunde, steigt der Quotient mit dem Stilllegungsfortschritt und ändert sich zum Stilllegungsende hin nur noch wenig. Daher ist die abgebaute Masse kein geeignetes Kriterium für den Stilllegungsfortschritt. Für einen sinnvollen Vergleich sind an dieser Stelle deshalb die Planungswerte und nur bei vollständig abgebauten Anlagen die Ist-Werte miteinander zu vergleichen. Man erkennt, dass bei den meisten Anlagen der Anteil an radioaktivem Abfall im Bereich 2 bis 4 % liegt. A-6 weicht mit 10,7 % davon ab. Dabei ist zu beachten, dass es sich um einen anderen Reaktortyp handelt (gasgekühlt), dass kontaminiertes Erdreich zu entsorgen ist und dass zur Fixierung von Kontamination größere Massen an zu entsorgendem Sekundärabfall eingebracht wurden.

Insgesamt ist der Anteil zu entsorgender Massen bei größeren Anlagen geringer als bei kleineren Anlagen. Das gleiche gilt auch für Anlagen mit sehr kurzer Leistungsbetriebsphase und damit einhergehender geringer Kontamination und Aktivierung. Alle Werte

sind insgesamt konsistent und plausibel. Hinsichtlich der Vergleichbarkeit des hier aufgeführten Quotienten mit internationalen Anlagen sei auf Kap. 3 verwiesen.

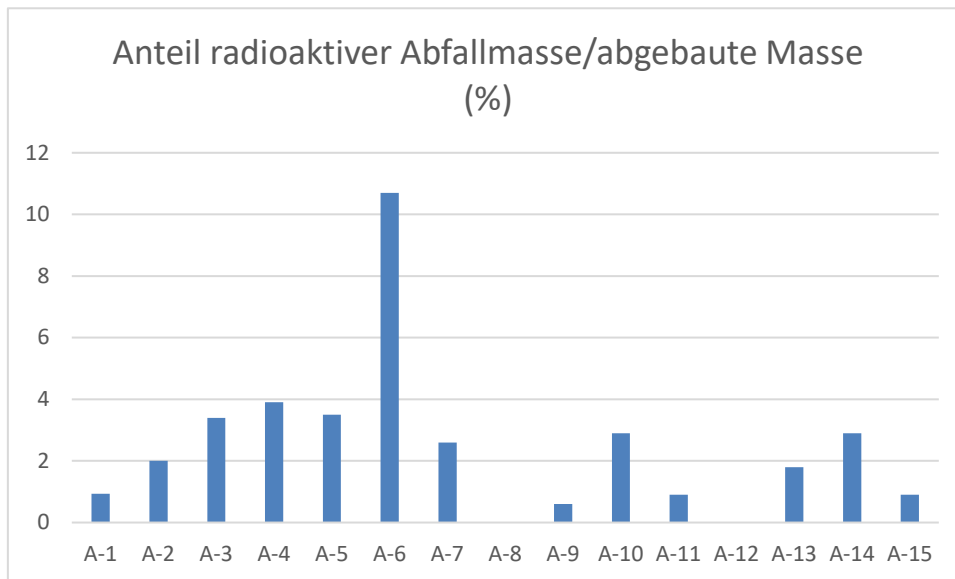


Abb. 2.5 Anteil radioaktiver Abfallmassen an der insgesamt abgebauten Masse für alle A-Anlagen

Größtenteils handelt es sich um Planungswerte (siehe Tab. 2.5).

Von den A-Anlagen wurden bereits drei bis zur sog. „grünen Wiese“ abgebaut und die Stilllegungsabfälle im Wesentlichen in zentrale Zwischenlager verbracht. Drei weitere Anlagen sind dem Stilllegungsabschluss sehr nahegekommen und diese werden den Abbau voraussichtlich bis 2025 beenden. In allen fortgeschrittenen Stilllegungsprojekten zeigt sich, dass insbesondere die letzte Phase der Stilllegung, welche die Dekontamination und Freigabe der Gebäude umfasst, im Vergleich zu vorangehenden Phasen länger dauert. Es ist zudem eher die Regel als die Ausnahme, dass prognostizierte Daten für den Stilllegungsabschluss nach hinten verschoben werden müssen, zumeist bedingt durch Verzögerungen bei den Dekontaminationsarbeiten. Dies zeigt sich am Beispiel der Anlagen A-7, A-10, A-11, A-14 und A-15, die die Gemeinsamkeit haben, dass Dekontaminationsarbeiten länger andauern als geplant. Die verlängerten Dekontaminations- und Freisetztätigkeiten gehen auf unerwartete Funde von Kontaminationen zurück, die bei der Charakterisierung in vorangegangenen Abbauschritten noch nicht zugänglich waren und daher nicht detektiert werden konnten, bzw. in größere Tiefe vorgedrungen sind als erwartet.

2.2 Auswertung der Stilllegungsbilanzen der Kernkraftwerke mit endgültiger Abschaltung 2011

Im Juni 2011 beschloss der Deutsche Bundestag das „13. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes“, das die Beendigung der Kernenergienutzung und Beschleunigung der Energiewende regelt. Infolgedessen erlosch die Betriebsgenehmigung für acht Kernkraftwerke in Deutschland zum 6. August 2011. Die davon betroffenen Anlagen sind in Tab. 2.6 zusammengefasst und werden für den Verlauf dieses Berichts als Kernkraftwerke der Gruppe B bezeichnet. Die Bilanzierungen der Stilllegung aller Einzelanlagen befinden sich in Anhang B.

Für das voraussichtliche Ende des konventionellen Abbruchs liegen derzeit keine Informationen vor, so dass auf diese Spalte hier (im Unterschied zu den A-Anlagen) verzichtet wird.

Tab. 2.6 Übersicht der Kernkraftwerke der Gruppe B

Anlage	Außerbetriebnahme	Stilllegung Antragsdatum	Stilllegung Startdatum	Vorauss. Stilllegung Enddatum
KWB-A	06.02.2011	06.08.2012	30.03.2017	
GKN I	01.03.2011	24.04.2013	03.02.2017	2032
KKI 1	06.08.2011	04.05.2012	17.01.2017	2037
KKU	06.08.2011	04.05.2012	05.02.2018	2033
KWB-B	06.08.2011	06.08.2012	01.06.2017	
KKB	06.08.2011	01.11.2012	21.12.2018	
KKP 1	06.08.2011	24.04.2013	07.04.2017	
KKK	06.08.2011	24.08.2015		

Die Anlagen der Gruppe B verloren am 6. August 2011 gleichzeitig die Berechtigung zum Leistungsbetrieb. Mit zwei Ausnahmen wurden alle Anlagen faktisch im März 2011 letztmalig abgeschaltet (zwei Anlagen waren bereits im Stillstandsbetrieb). Die Voraussetzungen für das Genehmigungsverfahren zur Erteilung einer 1. Stilllegungs- und Abbaugenehmigung (SAG) sind für alle B-Anlagen damit identisch. Die verschiedenen Betreiberinnen gingen mit der unvorhergesehenen vorzeitigen Abschaltung unterschiedlich um und reichten ihre Anträge zur SAG zwischen einem und vier Jahren nach dem Verlust der Berechtigung zum Leistungsbetrieb ein. Entsprechend gibt es auch Unterschiede beim Beginn der Stilllegung in den B-Anlagen. Bis dato liegt für eine der acht B-Anlagen noch keine SAG vor. Die bisherige Abbaupzeit (Stand: Anfang 2024) variiert bei den B-Anlagen zwischen null und rund sieben Jahren.

In den Anlagen mit dem größten Abbaufortschritt hat bereits die zweite (und letzte) Abbauphase begonnen, und einige Großkomponenten wurden dort bereits entfernt oder mit deren Abbau wurde begonnen. Dennoch ist es zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht sinnvoll möglich, die bis dato angefallenen Ist-Daten mit den Planungsdaten so zu vergleichen, dass belastbare Aussagen ableitbar wären, da keine Zwischenwerte aus den Planungsdaten hervorgehen. Bislang wurden in keinem Fall bekannte Planungswerte der Personendosis, der Abfälle, Ableitungen oder – soweit bekannt – des Personalaufwandes überschritten. Hinweise auf Verzögerungen im Abbau ab Erteilung der 1. SAG sind bislang ebenfalls nicht zu erkennen.

In Tab. 2.7 sind die voraussichtlichen Massen radioaktiver Abfälle im Verhältnis zur jeweiligen Gesamtmasse (siehe hierzu auch Abb. 2.6) und zur Kontrollbereichsmasse mit oder ohne Gebäudestrukturen der B-Anlagen aufgeführt, soweit und in der Form wie sie der GRS vorliegen.

Tab. 2.7 Auflistung der radioaktiven Abfallmassen und Gesamtmassen der Anlagen der Gruppe B

Anlage	Geschätzte radioaktive Abfallmasse/abgebaute Masse im Kontrollbereich mit oder ohne Gebäudestrukturen	Geschätzte radioaktive Abfallmasse/Gesamtmasse oder Kontrollbereichsmasse
B-1	4.200 Mg/193.000 Mg = 2,1 %	4.200 Mg/675.000 Mg = 0,6 %
B-2	3.400 Mg/24.000 Mg = 14,2 %	3.400 Mg/424.000 Mg = 0,8 %
B-3	2.800 Mg/128.000 Mg = 2,2 %	2.800 Mg/331.000 Mg = 0,8 %
B-4		8.000 Mg/541.000 Mg = 1,5 %
B-5	4.300 Mg/222.500 Mg = 1,9 %	4.300 Mg/397.400 Mg = 1,1 %
B-6	< 6.000 Mg/26.062 Mg = 23 %	< 6.000 Mg/300.000 Mg = < 2 %
B-7	3.225 Mg/31.500 Mg = 10,2 %	3.225 Mg/170.000 Mg = 1,9 %
B-8	3.225 Mg/31.500 Mg = 10,2 %	3.225 Mg/170.000 Mg = 1,9 %

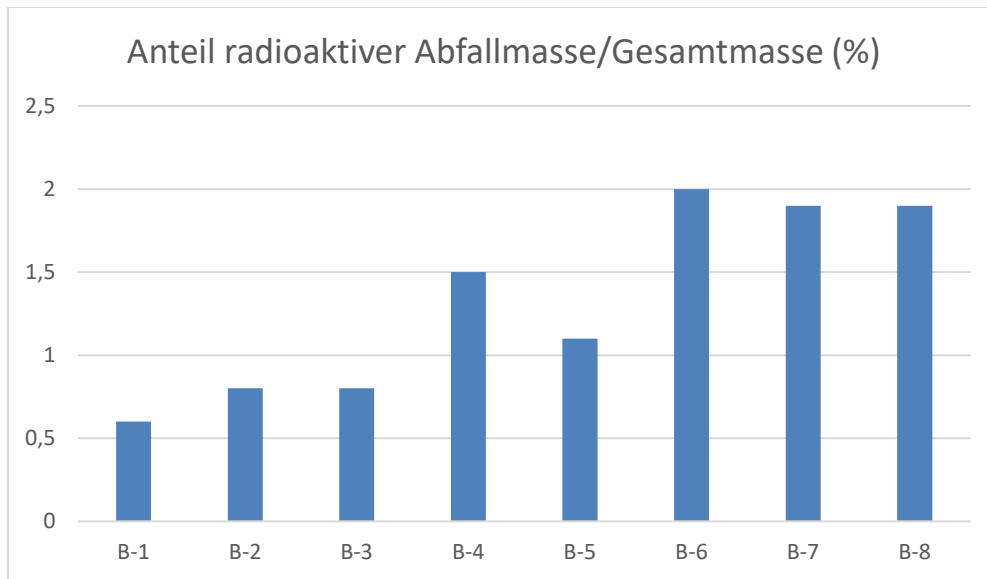


Abb. 2.6 Anteil radioaktiver Abfallmassen an der Gesamtmasse für alle B-Anlagen (Planungswerte)

2.3 Auswertung der Stilllegungsbilanzen der Kernkraftwerke mit endgültiger Abschaltung ab 2015

Die Kernkraftwerke der Gruppe C umfassen Anlagen, welche ab 2015 endgültig abgeschaltet wurden. In Tab. 2.8 sind alle Kernkraftwerke der Gruppe C im Klartext aufgelistet. Die Einzelkapitel in Anhang C enthalten Anlagen-Pseudonyme nach dem Schema C-X.

Kernkraftwerke der Gruppe C wurden zwischen 2015 und 2023 endgültig abgeschaltet und beinhalten eine Reihe von DWR, darunter einige vom Typ „Vor-Konvoi“ und „Konvoi“, sowie SWR vom Typ SWR 72. Ein Vorteil im Hinblick auf die Stilllegung der Anlagen in dieser Gruppe ist, dass sich in einigen Fällen weitere Reaktorblöcke auf demselben Anlagengelände befinden, die bereits einige Jahre zuvor mit der Stilllegung begonnen haben. Hierdurch können bereits gemachte Erfahrungen berücksichtigt werden. In Gruppe C sind zudem ausschließlich kommerziell betriebene Anlagen enthalten.

Die Bilanzierungen der Stilllegung aller Einzelanlagen sowie die zugehörigen Auswertungen befinden sich in Anhang C.

Tab. 2.8 Übersicht der Kernkraftwerke der Gruppe C

Anlage	Außerbetriebnahme	Stilllegung Antragsdatum	Stilllegung Startdatum	Vorauss. Stilllegung Enddatum	Vorauss. Abbau Enddatum
KRB-II-B	31.12.2017	11.12.2014	16.04.2018	2039	
KRB-II-C	31.12.2021	31.07.2019	27.03.2019		
KKG	27.06.2015	28.03.2014	30.01.2020		
KKP 2	31.12.2019	18.07.2016	26.05.2021	2030	2031
KWG	31.12.2021	26.10.2017			
KBR	31.12.2021	01.12.2017			
GKN II	31.12.2022	18.07.2016	04.04.2023		
KKE	31.12.2022	22.12.2016			
KKI 2	31.12.2022	01.07.2019			

Die Anlagen der Gruppe C befanden sich zum Zeitpunkt der Berichtserstellung entweder noch im Nachbetrieb nach der endgültigen Abschaltung oder in den ersten Jahren der Stilllegung. Es handelt sich hierbei um die Kernkraftwerke, die nach 2011 noch eine Berechtigung zum Leistungsbetrieb besaßen und ab 2015 abgeschaltet wurden. Die Stilllegungsplanungen dieser Anlagen sind dadurch gekennzeichnet, dass im Gegensatz zu früheren Anlagen, mit dem Abbau von Reaktordruckbehälter(RDB)-Einbauten und Primärkreiskomponenten wie Dampferzeuger, Druckhalter, Hauptkühlmittelpumpen etc. begonnen wird und in einem zweiten Schritt mit dem Abbau von RDB und biologischem Schild sowie gering kontaminierter Komponenten fortgefahren wird (Abbau von innen nach außen).

Bei C-Anlagen, die bereits mit der Stilllegung begonnen haben, zeigt sich ein Rückgang der Personendosen im Vergleich zu älteren, insbesondere länger betriebenen Anlagen der Gruppe A. Dazu haben vor allem die stetigen Verbesserungsmaßnahmen im Strahlenschutz- und Instandhaltungsbereich sowie bei der Betriebsführung beigetragen /ART 16/. Insbesondere ist hier auf die technische Auslegung der drei zuletzt in Betrieb gegangenen Kernkraftwerke mit DWR hinzuweisen. Der konsequente Verzicht auf kobalthaltige Werkstoffe in nahezu allen Komponenten des Primärsystems hat zu einer erheblichen Verringerung des Gehalts an Co-60 in den Korrosionsprodukten des Kühlwassers geführt und damit die Dosisleistung an den entsprechenden Komponenten gegenüber älteren DWR-Anlagen deutlich reduziert. Dies schlägt sich in den niedrigen kumulierten Personendosen für die DWR der 4. KWU/Siemens-Generation nieder, insbe-

sondere während des jährlichen Anlagenstillstandes und ist deshalb auch bei ihrer kommenden Stilllegung zu erwarten.

Da sich die Mehrzahl der C-Anlagen noch nicht oder erst seit kurzem in Stilllegung befindet, ist lediglich ein Vergleich von Planungsdaten möglich. Die Tab. 2.9 zeigt einen Vergleich der geplanten Massen radioaktiver Abfälle im Verhältnis zur Kontrollbereichsmasse sowie der Gesamtmasse der Anlagen (siehe auch Abb. 2.7).

Tab. 2.9 Vergleich der Abbaumassen und radioaktiven Abfälle im Kontrollbereich der C-Anlagen

Anlage	Geschätzte radioaktive Abfallmasse/abgebaute Masse im Kontrollbereich ohne Gebäudestrukturen	Geschätzte radioaktive Abfallmasse/Gesamtmasse im Kontrollbereich
C-1	3.500 Mg/32000 Mg = 10,1 %	3.500 Mg/331.500 Mg = 1,1 %
C-2	ca. 5.850 Mg/45.000 Mg = 13 %	ca. 5.850 Mg/365.500 Mg = 1,6 %
C-3	4.150 Mg/12.300 Mg = 33,8 %	4.150 Mg/214.500 Mg = 1,9 %
C-4	ca. 5.850 Mg/45.000 Mg = 13 %	ca. 5.850 Mg/365.500 Mg = 1,6 %
C-5	4.500 Mg/19.500 Mg = 23,1%	4.500 Mg/270.000 Mg = 1,7 %
C-6	4.500 Mg/19.500 Mg = 23,1 %	4.500 Mg/270.000 Mg = 1,7 %
C-7	4.500 Mg/19.500 Mg = 23,1 %	4.500 Mg/294.500 Mg = 1,5 %
C-8	4.250 Mg/18.000 Mg = 26,6 %	4.250 Mg/320.000 Mg = 1,3 %
C-9	4.400 Mg/25.250 Mg = 17,4 %	4.400 Mg/275.900 Mg = 1,6 %

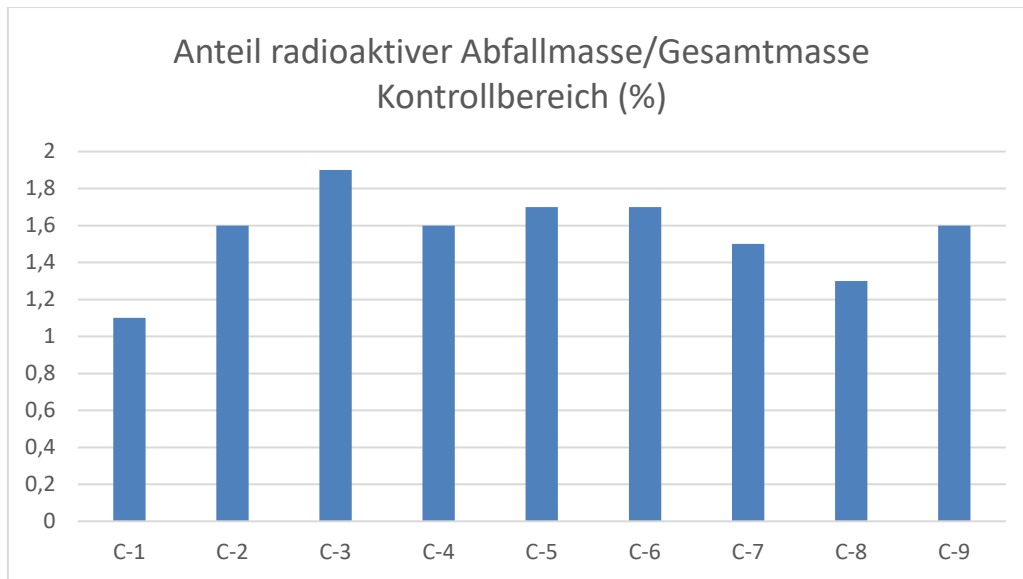


Abb. 2.7 Anteil radioaktiver Abfallmassen an der Gesamtmasse für alle C-Anlagen (Planungswerte)

Bezogen auf die Gesamtmasse ergibt sich ein durchschnittlicher Anteil von ca. 1,55 % an radioaktivem Abfall. Hierbei liegen die Werte in einem schmalen Bereich von 1,1 bis 1,9 %. Die Massen der radioaktiven Abfälle bewegen sich ebenfalls in einem schmalen Bereich von 3.500 bis 5850 Mg. Die höchste Masse wird hierbei von einer SWR-Anlage erreicht, was durch die zusätzlichen Komponenten des Wasser-Dampf-Kreislaufs im Kontrollbereich und deren Größe plausibel erscheint. Die Variabilität der relativen Anteile bezogen auf die Masse des Kontrollbereichs ergibt sich durch die verhältnismäßig großen Unterschiede der abgebauten Kontrollbereichsmassen von 12.300 bis 45.000 Mg (bzw. 32.000 Mg, betrachtet man nur DWR-Anlagen).

3 Zusammenfassende Gesamtauswertung und Ausblick

3.1 Stilllegungsstrategien und zeitlicher Kontext

Die Historie der Stilllegung von Kernkraftwerken in Deutschland nahm ihre Anfänge bereits in den 1970er Jahren, als die ersten Prototypreaktoren ihren Leistungsbetrieb einstellten und in die Planung der Stilllegung gingen. Der eigentliche Abbau begann in allen Fällen erst Mitte der 1980er Jahre. Da noch keine Erfahrungen mit dem Abbau von Kernkraftwerken vorlagen, wurde dieser in vielen Fällen auf unterschiedliche Weise verzögert. Bis 2017 gab es die Option des sicheren Einschlusses der Anlage für einige Jahre oder Jahrzehnte. Neben dieser gesetzlich vorgesehenen Option wurden bzw. werden Anlagen aber auch – nach vorausgegangenen Umbauarbeiten – kerntechnisch nachgenutzt, etwa als Technologiezentrum für den Abbau oder als Zwischenlager für radioaktive Abfälle.

Bereits lange vor der Änderung des Atomgesetzes im Jahr 2017, die den sicheren Einschluss als Stilllegungsstrategie für Kernkraftwerke, deren Betreiberinnen Einzahlende nach § 2 (1) EntsorgFondsG sind, ausschließt, wurde der sichere Einschluss von den Betreiberinnen der Kernkraftwerke nicht mehr als Strategie für die Stilllegung neu abgeschalteter Anlagen gewählt. Zuletzt wurde der sichere Einschluss Anfang der 1990er Jahre gewählt. Im Gegenteil wurde die Strategie inzwischen bis auf eine Ausnahme geändert, und die Anlagen werden nun abgebaut. Die oben erwähnten Nachnutzungen dauern an. Als wichtiger Grund für den Strategiewechsel wird in mehreren Fällen die tatsächliche (ERAM) oder mittelfristig erwartbare Verfügbarkeit (Endlager Schacht Konrad, siehe z. B. Anhang A.3 oder A.6) von Entsorgungsmöglichkeiten für radioaktive Abfälle aus dem Abbau angeführt. Obwohl das ERAM nur einige Jahre nach der Wiedervereinigung zur Verfügung stand und sich die Inbetriebnahme von Schacht Konrad inzwischen bis zum Jahr 2027 nicht mehr realisieren lässt /BGE 24/, wurde weiter am direkten Abbau festgehalten. Zur Vermeidung von Verzögerungen, die durch nicht gegebene Entsorgungspfade entstehen könnten, wird etwa seit dem Jahrtausendwechsel auf dem jeweiligen Anlagengelände ein Zwischenlager für Abbauprodukte errichtet und genutzt. Dadurch wird eine weitestgehende Entkopplung des Abbaus von externen Entsorgungskapazitäten angestrebt. Das bedeutet aber auch, dass mit dem Abschluss der Stilllegung der Anlage und ihrer vollständigen Entfernung nicht auch das komplette Anlagengelände freigegeben werden kann und ein Lager am Standort verbleibt. Eigentümerin der verpackten Abfälle und der Standortzwischenlager ist bzw. wird die BGZ, d. h.

die Verantwortung für die Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle der Energieversorgungsunternehmen liegt zentral in der Hand der BGZ und nicht mehr bei den früheren Betreiberinnen der Kernkraftwerke.

Der Großteil der Reststoffe beim Abbau resultiert aus Gebäudestrukturen, die nach dem Abbruch als Bauschutt (siehe StrlSchV Anl. 4, Tab. 1, Spalte 6) oder zur Deponierung (siehe StrlSchV Anl. 4, Tab. 1, Spalten 8 oder 10) freigegeben werden können. Seit einigen Jahren zeigt sich die Tendenz, dass viele Deponien die Annahme dieser freigegebenen Abfälle verweigern. Bis zum Einbau in eine Deponie müssen diese Massen an Betonbruch also gepuffert oder in andere Deponien, welche die Annahme nicht verweigern, verbracht werden. In der Folge erhöhen sich Aufwand und Kosten für (den Transport und) die Entsorgung dieser konventionellen Abfälle. Darüber, ob dieser Umstand aber auch zu Abbauverzögerungen führt, liegen der GRS aktuell keine eindeutigen Erkenntnisse vor. Es zeigen sich aber Tendenzen, dass eine hohe Auslastung ausgewiesener Pufferlagerflächen zusätzliche Herausforderungen in der Logistik, Prüfung und Ablaufplanung erzeugt. So sind z. B. Kontaminationen bereits freigemessener Gebinde auszuschließen, Reststoffe müssen in geeignete Gebinde ein- und wieder ausgelagert und regelmäßigen Prüfungen unterzogen werden.

3.2 Dauer von Stilllegung und Abbau

Die Anzahl der Stilllegungsphasen, welche mit entsprechenden Stilllegungsgenehmigungen verknüpft sind, variiert über die einzelnen Projekte zwischen einer und zehn. Grundsätzlich ist hierbei ein Trend hin zu einer geringeren Zahl erkennbar. Der Aufwand, Anträge zu erstellen und mit Gutachten zu hinterlegen sinkt dadurch. Andererseits erhöht sich der Aufwand im Aufsichtsverfahren. Ob durch die Reduzierung von Genehmigungen Zeit eingespart werden kann, wird sich erst zeigen, wenn jüngere Stilllegungsprojekte (Gruppe C) fortgeschritten sein werden.

Nimmt man Sonderfälle wie besonders kurz betriebene Anlagen oder Phasen des sicheren Einschlusses aus, zeigen die fortgeschrittenen Stilllegungsprojekte (Gruppe A), dass die Abbaudauer zumeist im Bereich von 20 Jahren und darüber liegt. Die Planungsdaten der Betreiberinnen von jüngeren Abbauprojekten zeigen, dass das Ziel eine kürzere Abbaudauer ist und eher 10 bis 15 Jahre angestrebt werden. Ist eine Betreiberin für den Abbau von zwei oder mehr Reaktorblöcken am gleichen Standort verantwortlich, kann es aus logistischen und personellen Gründen auch sinnvoll sein, die Blöcke mit zeitlichem Versatz abzubauen und eine längere Stilllegungsdauer (wenn auch nicht unbe-

dingt Abbaudauer) nachfolgender Blöcke in Kauf zu nehmen. Diese Vorgehensweise wird auch praktiziert, geht jedoch deutlich weniger weit als die „Magnox-Strategie“ in Großbritannien (siehe Kap. 4.2).

3.3 Personeller Aufwand der Stilllegung

Angaben zum Arbeitsaufwand für die Stilllegung liegen der GRS ausschließlich in Form kumulierter Personenjahre und ohne Planungsdaten vor. Die Angabe in Personenjahren führt zu statistischen Verzerrungen, da ein Personenjahr gezählt wird, sobald eine Person auch nur einen Tag im Kalenderjahr in der Anlage gearbeitet hat. Da sich dieser systematische Fehler aber über alle Anlagen erstreckt, wird unterstellt, dass dies die Vergleichbarkeit zwischen den Anlagen nur wenig einschränkt. Bei der Mehrheit der A-Anlagen mit einem Reaktorblock und längerer Betriebshistorie liegt der Arbeitsaufwand (voraussichtlich) zwischen 5.000 und 10.000 Pers.Jahren. Durch technischen Fortschritt mit höherem Automatisierungsgrad und die Berücksichtigung bisheriger Erfahrungen darf erwartet werden, dass in jüngeren Stilllegungsprojekten die Personenjahre reduziert werden können.

Auch Veränderungen im Atom-, Strahlenschutz- oder Abfallrecht können Einfluss auf den Arbeitsaufwand nehmen, z. B. durch niedriger angesetzte Freigabewerte oder eine Senkung der jährlich zulässigen Exposition. In den letzten Jahren deutet sich allerdings an /VDI 23/, dass eher Verschärfungen im konventionellen Abfallrecht stärker zur Erhöhung des Arbeitsaufwands führen als atomrechtsspezifische Verschärfungen. Das Bewusstsein für chemische Gefahrstoffe wie Asbest oder PCB hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen, während das Thema Radioaktivität schon sehr lange im Fokus von Sicherheitsbetrachtungen beim Abbau der Anlagen liegt. Belastbare Aussagen zum Einfluss der Veränderungen sind auf Basis der ausgewerteten Bilanzen in beiden Fällen jedoch nicht möglich. Es wird auf die Kap. 3.5 und Kap. 3.6 verwiesen, die sich in Teilen ebenfalls mit der Freigabe befassen.

3.4 Exposition des Personals

Für die meisten Kernkraftwerke liegen Planungsdaten für die erwartete Kollektivdosis für einzelne oder alle Stilllegungsphasen vor. Ein Vergleich von Planungsdaten mit tatsächlichen Daten zur Kollektivdosis ergibt nur bei fortgeschrittenen Projekten Sinn, da keine Daten zu geplanten Zwischenschritten vorliegen, wie es noch bei vielen A-Anlagen mit

einer größeren Anzahl an Stilllegungsschritten der Fall war. Es zeigt sich eine große Streuung der Dosiswerte zwischen unterhalb von 0,1 bis 7,5 Pers.Sv. Dieses Bild spiegelt die große Bandbreite der Kernkraftwerke und Prototypreaktoren mit ihren sehr unterschiedlichen Betriebshistorien wider. Nimmt man die nur maximal drei Jahre betriebenen Anlagen heraus, betragen die Kollektivdosen typischerweise zwischen 2 und 5 Pers.Sv und liegen damit mit einer Ausnahme (bisher) unter den ursprünglichen Annahmen. Es ist keine eindeutige Korrelation zwischen den Verläufen der Kollektivdosis und der eingesetzten Personalstärke erkennbar, die Tendenz zu einem Zusammenhang ist aber sichtbar. Unterschiede zwischen DWR und SWR spiegeln sich nicht in der Dosis wider. Im Fall von in Deutschland wenig verbreiteten Reaktortypen (z. B. schwerwasser- oder grafitmoderiert) dagegen schon, und diese zeigen höhere Werte (siehe z. B. Anhang A.6). Dies kann einerseits auf ein anderes Neutronen- und daraus folgend Radionuklidspektrum im Kernbereich zurückgeführt werden, andererseits auf wenig oder keine Erfahrung bei der Stilllegung dieser Reaktortypen.

3.5 Reststoffe, radioaktive Abfälle und Freigabe

Der weitaus größte Anteil an Reststoffen aus der Stilllegung von Kernkraftwerken ist den Gebäudestrukturen zuzurechnen, welche nur teilweise aus dem Kontrollbereich stammen. Radioaktive Abfälle hingegen entstehen überwiegend beim Abbau des Kontrollbereichs. Wie viel der Reststoffe als radioaktiver Abfall entsorgt werden muss, ist stark abhängig davon, wie hoch der Anteil der Reststoffe ist, der nach Strahlenschutzverordnung freigegeben werden kann. Die in der Strahlenschutzverordnung enthaltenen Tabellen mit nuklidspezifischen Freigabewerten wurden über die Jahrzehnte mehrfach an den Stand der Wissenschaft angepasst, d. h. individuell je nach Radionuklid gesenkt oder erhöht. Damit unterliegt auch der freigebbare Massenanteil diesen Veränderungen. Vergleicht man die in den Tabellen in den jeweiligen Auswertungs-Kapiteln der Anlagen der Gruppen A, B und C aufgeführten Werte für den Anteil radioaktiver Massen (siehe Kap. 2.1, 2.2 und 2.3), so ist nicht erkennbar, dass der Anteil durch ein verändertes Strahlenschutzrecht gewachsen wäre. Wesentlich größeren Einfluss haben die Anlagenhistorie und der Anlagentyp. So haben gasgekühlte oder schwerwassermoderierte Reaktoren ein anderes Nuklidspektrum als die in Deutschland verbreiteten Leichtwasserreaktoren, so dass andere Freigabewerte entsprechend anzuwenden sind. Der Anteil der als radioaktiver Abfall zu entsorgenden Massen bewegt sich kaum verändert im niedrigen einstelligen Prozentbereich. Tendenziell sind die prognostizierten Anteile für die jüngeren Kernkraftwerke leicht niedriger als bei älteren Anlagen. Dies ist wahrscheinlich

auf die Verwendung stellitefreier oder -armer Materialien zurückzuführen, welche zu geringeren Co-60-Kontaminationen führt. Einige Großkomponenten der älteren Anlagen befinden sich aktuell noch in Abklinglagerung. Durch diese Maßnahme kann voraussichtlich der Anteil an freigebbarem Material noch erhöht und der Abfallanteil verringert werden.

Das Prinzip der Freigabe radioaktiver Stoffe wird bis auf wenige Ausnahmen weltweit angewandt. Die wenigsten Länder verfügen allerdings über derart detaillierte Tabellen mit nuklid- und entsorgungspfadspezifischen Freigabewerten. Auch wenn es das 10 μSv -Kriterium praktisch überall gibt und es von der EU vorgeschrieben ist (Richtlinie 2013/59/Euratom), führt es zu unterschiedlichen Auslegungen oder es werden Ausnahmen definiert, wie auch die Beispiele aus anderen europäischen Ländern in Kap. 4 zeigen. In Frankreich werden sehr geringfügig kontaminierte Abfälle auf speziellen oberflächennahen Deponien endgelagert und nicht freigegeben, da das Freigabeverfahren dort nicht angewendet wird /ESK 22/. Insgesamt sind die in Deutschland erreichten Anteile an radioaktivem Abfall nicht mit den Werten aus anderen Ländern vergleichbar. Beispielsweise wird für die Stilllegung der belgischen Kernkraftwerke Tihange und Doel /ENG 20/ mit 99 % konventionellem Abfall, 1 % Kategorie-A-Abfall und 0,02 % Kategorie-B-Abfall (jeweils nach Masse) gerechnet, wobei nur letztere in einem tiefeingeologischen Endlager entsorgt werden sollen und A-Abfälle oberflächennah deponiert werden.

3.6 Trends und Einflussfaktoren in der Stilllegung

Die in Kap. 2 nach Anlagengruppen ausgewerteten Messgrößen (Dosis, Abfälle, Personalaufwand, etc.) verdeutlichen auch den technischen Fortschritt im Verlauf von über vier Jahrzehnten Stilllegungshistorie in Deutschland. Verbesserungen im Strahlenschutz, ein höherer Automatisierungsgrad und die strahlenschutzoptimierten Reaktordesigns (z. B. durch Senkung des Kobaltanteils) haben die Personendosis senken können. Der Personalaufwand auf der Ebene des manuellen Abbaus sinkt ebenfalls, wobei zugleich neue Anforderungen an das Personal gestellt werden und somit zunehmend andere Qualifikationen gefragt sind. Die Verfügbarkeit entsprechender Fachkräfte hat dadurch ebenfalls Einfluss auf den Stilllegungsfortgang. Abgesehen vom allgemeinen Trend lässt sich der Einfluss des technischen Fortschritts nicht genauer quantifizieren. Das in Kap. 4.1 skizzierte Beispiel der Stilllegung des Kernkraftwerks Bohunice, welches baugleich mit der Anlage KGR in Greifswald ist, zeigt aber, dass durch den Einsatz neuer technischer Möglichkeiten (3D, BIM-Modelle), die Stilllegung heute schneller und effizienter

enter durchgeführt werden kann als in der Vergangenheit. Der Einsatz neuer Technologien führte zur Optimierung der Schnitte bei der Komponentenzerlegung und damit zur Minimierung des Abfallvolumens.

Das Optimierungsgebot im Strahlenschutzrecht erfordert auch die Anwendung dosisminimierender Abbautechniken und folgt allein dadurch dem technischen Fortschritt. Auf verschiedenen Abstraktionsebenen wurde und wird das kerntechnische Regelwerk aber auch an neue Entwicklungen angepasst, beispielsweise an Bestandteile des RS-Handbuchs /BAS 24/. Eine markante rechtliche Veränderung der letzten Zeit ist die Schaffung eines Strahlenschutzgesetzes und die neue Strahlenschutzverordnung 2017/2018. Darin wurde auch die Freigabe überarbeitet. Unter Anwendung der neuen Strahlenschutzverordnung wird heute ein Großteil der Reststoffe aus dem KKW-Abbau spezifisch freigegeben, der zuvor der uneingeschränkten Freigabe zugeordnet wurde. Diese Stoffe werden überwiegend als Bauschutt oder Gebäude zur Wieder- und Weiterverwendung freigegeben. Weitere, kleinere Anteile werden zum Abriss oder zur Beseitigung auf Deponien freigegeben. Nach aktuellem Recht erfolgt die Freigabe endgültig erst durch den Nachweis der Einhaltung des 10 µSv-Kriteriums. Von der Einhaltung kann ausgegangen werden, wenn die Freigabewerte eingehalten werden. Durch die Weigerung vieler Deponiebetreiber, spezifisch freizugebende Reststoffe anzunehmen, wird der formale Freigabeprozess ausgebremst. Ob diese und andere rechtliche Veränderungen, in Verbindung mit sonstigen Umständen, den Stilllegungsabschluss signifikant beeinflussen, kann nicht eindeutig angegeben werden und ist Gegenstand aktueller Forschung (z. B. im GRS-Vorhaben 4722S72520 „Einfluss von Abbaustrategie, Abbauverfahren und Messtechnik auf die Abfallmengen aus der Freigabe“). Die Prozesse in den KKW-Betrieben müssen in jedem Fall daran angepasst werden. In der Sache hat sich das Recht hinsichtlich Freigabe allerdings kaum verändert, sondern es wurde eine Ermächtigungsgrundlage für die Strahlenschutzverordnung geschaffen. Im Wesentlichen fanden in diesem Zuge eine Neudefinition und Schärfung von Begrifflichkeiten statt.

Dies lässt den Schluss zu, dass weniger die Änderungen an der Verordnung, sondern vielmehr die begleitenden gesellschaftliche Faktoren entscheidenden Einfluss haben. Im Beispiel der Annahmeverweigerung von freigemessenen Reststoffen zur Deponierung liegt die Ursache der Weigerung nicht an einem erhöhten radiologischen Risiko für die Bevölkerung, sondern wahrscheinlich an der Wahrnehmung desselben. Ob eine Veränderung der Nomenklatur dieses Empfinden beeinflusst, sei dahingestellt. Die Freigabewerte nach Strahlenschutzverordnung sind nach internationalen Standards (ICRP) auf Basis des 10 µSv-Kriteriums so berechnet, dass kein relevantes Risiko besteht. Wie das

hier skizzierte Beispiel aufzeigt, sind soziale und gesellschaftliche Einflussfaktoren auf den Stilllegungsabschluss besonders schwer zu fassen. Sie gehen mit technischen und rechtlichen Veränderungen einher, können von regionalen Gegebenheiten abhängen und lassen sich schwer abgrenzen oder verallgemeinern. Deshalb sind Aussagen bzw. Schlussfolgerungen zum Einfluss dieser Faktoren im Allgemeinen nicht zu treffen.

Die Mehrzahl der Betreiberinnen von Kernkraftwerken, die im Jahr 2011 und danach endgültig abgeschaltet wurden, beantragten die Stilllegung mit anfangs in der Anlage befindlichen Brennelementen. Zum einen sollte die nach der Abschaltung erforderliche Dauer der Nasslagerung von einigen Jahren bereits für Stilllegungstätigkeiten genutzt werden können und zum anderen war erwartet worden, dass aufgrund der Vielzahl an Beladungskampagnen nicht genügend Lagerbehälter zur Aufnahme der Brennelemente verfügbar sein würden /IMI 20/ (GRS-590). Die Stilllegungsgenehmigungen wurden, vorbehaltlich der Rückwirkungsfreiheit auf die kerntechnischen Schutzziele, entsprechend erteilt. In der Folge konnte die Nachbetriebszeit, also die Zeitspanne zwischen endgültiger Abschaltung und Erteilung einer ersten SAG, durchaus verkürzt werden. Tatsächlich gab es diese Vorgehensweise vereinzelt auch schon in der Vergangenheit und Abbauarbeiten wurden bei der Anlage A-10 mit in der Anlage befindlichen Brennelementen in den 1990er Jahren durchgeführt. Bei den jüngeren Stilllegungsprojekten fanden faktisch Abbauarbeiten mit Brennelementen in den Anlagen B-2 und B-3 sowie in C-3 und C-9 statt. Das heißt, die Mehrheit der Anlagen, bei denen die Stilllegungsgenehmigung Abbaumaßnahmen mit Brennelementen vorsah, hat diese Option nicht genutzt bzw. nicht nutzen müssen. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass in erster Linie vorbereitende Stilllegungsmaßnahmen unter Anwesenheit der Brennelemente stattfanden, so dass die Rückwirkungsfreiheit ohne planerische Verzögerungen sichergestellt werden konnte.

Damit die Nicht-Verfügbarkeit eines Endlagers für Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung den Stilllegungsprozess nicht ausbremst, erhöhen derzeit einige Anlagen die Kapazität ihrer Standort-Zwischenlager. Dies hat zum Ziel, dass der Abbau von der Entsorgung entkoppelt werden kann und das planerische Risiko für die Betreiberinnen sinkt. So wird in /BMU 24/ berichtet: „Am Standort Philippsburg wurde die Zwischenlagerkapazität um 15.000 Kubikmeter (m^3), in Biblis um 8.000 m^3 und in Unterweser um 5.000 m^3 erhöht; diese zusätzlichen Zwischenlager wurden 2018 (Biblis) und 2020 (Philippsburg und Unterweser) in Betrieb genommen. Zudem wurden die Zwischenlagerkapazitäten in Neckarwestheim um 12.000 m^3 (2022) und in Grafenrheinfeld um 6.000 m^3 (2021) durch Errichtung neuer Zwischenlager erhöht. In Brunsbüttel sollen sie um 13.000 m^3 , in Krümmel um 7.000 m^3 erhöht werden. Darüber hinaus sind an den Stand-

orten Grohnde (Gesamtaktivität maximal $2 \cdot 10^{17}$ Becquerel (Bq)) und Emsland (Gesamtaktivität $3 \cdot 10^{17}$ Bq) weitere Zwischenlagerkapazitäten beantragt worden.“ Je nach individuellen Gegebenheiten in den verschiedenen Anlagen, können die Möglichkeiten der Erweiterung begrenzt sein. Eine Auflistung der existierenden Zwischenlager findet sich außerdem im Bericht zur 7. Überprüfungskonferenz des „Gemeinsamen Übereinkommens“ in Tabelle L.7 /BUM 20/. Abgesehen von Zwischenlagern, d. h. separaten Gebäuden auf dem Anlagengelände, sind auch Pufferflächen in und außerhalb der Anlage für den Stilllegungsfortschritt relevant. Hierüber liegen allerdings keine Auflistungen vor. Da Pufferlagerflächen im Rahmen des Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren zur Stilllegung ausgewiesen und genutzt werden und sich je nach Bedarf im gegebenen Rahmen der Stilllegungsgenehmigung ändern können, kann eine reine Liste immer nur eine Momentaufnahme darstellen. Das Zusammentragen dieser Informationen und eine Bewertung des Einflusses von Zwischenlager- und Pufferkapazitäten auf die Stilllegung bedürfen weiterer Forschung.

3.7 Ausblick

Aufgrund des Abbaufortschritts, der in den letzten Jahren dokumentiert werden konnte, sind zeitnah Stilllegungsabschlüsse zu erwarten. Mit einem Abschluss in 2025/2026 ist vor allem bei den Anlagen A-7, A-12, A-14 und A-15 zu rechnen. In diesen Fällen ist der Abschluss nicht von externen Zwischen- oder Endlagerkapazitäten abhängig, da vor Ort Zwischenlagerkapazitäten bereitstehen. In der letzten Abbauphase werden hier größere Mengen Reststoffe aus den Gebäuden anfallen. Hier wird sich zeigen, wie mit den freigegebenen Reststoffen weiter verfahren wird, bzw. ob Annahmeverweigerungen von Mülldeponien zu (zusätzlichen) Verzögerungen führen werden.

Bei A-5 und A-13 wurden Abbautätigkeiten vor langem eingestellt, da Gebäudeteile noch genutzt werden. Da sich dieser Zustand absehbar nicht ändern wird, ist weiterhin nicht mit einem baldigen Stilllegungsabschluss, im Sinne einer vollständigen Entlassung aus dem Atom- und Strahlenschutzrecht, zu rechnen. Aus technischer Sicht kann der Abbau hier aber als abgeschlossen angesehen werden.

Für die Anlagen aus der Gruppe B liegen nur in Einzelfällen Prognosen zum Stilllegungsende vor. Demnach ist frühestens in acht bis zehn Jahren von einem Stilllegungsabschluss in den ersten Anlagen auszugehen. Bisher deuten sich keine Verzögerungen seit Stilllegungsbeginn an. Wie aber die Erfahrung mit den A-Anlagen zeigt, treten Verzögerungen nicht selten in der Phase der Gebäude-Restdekontamination auf, die noch

in der Zukunft liegt. Die Abbaudauern von C-Anlagen werden von ihren Betreiberinnen in einigen Fällen sehr optimistisch auf nur zehn Jahre geschätzt. Ob dieser Zeitplan eingehalten werden kann, erscheint erneut mit Blick auf die Erfahrungen, zweifelhaft, selbst wenn von modernsten Abbautechniken und insgesamt geringer kontaminierten Anlagen profitiert werden kann.

Die Arbeiten können zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht abschließend sein, da stetig neue Erkenntnisse aus laufenden Projekten zu berücksichtigen sind. Eine Fortsetzung der Forschungsarbeit ist aus Sicht der GRS sinnvoll.

4 Erkenntnisse aus der Teilnahme am internationalen Erfahrungsaustausch

Der Themenkomplex „Abschluss der Stilllegung“ wird aktuell auch in internationalen Projekten betrachtet. So hat die IAEA die Arbeitsgruppe COMDEC („Completion of Decommissioning“) initiiert, die im Jahr 2018 die Arbeit aufgenommen hat.

Zielsetzung des COMDEC-Projektes ist es, einen systematischen Überblick über die weltweiten Erfahrungen zu folgenden Fragen zu geben:

- Definition des Endzustandes der Stilllegung, einschließlich quantitativer und qualitativer Zielsetzungen
- Durchführung von Säuberungsmaßnahmen (clean-up activities), die zum Erreichen des Endzustandes erforderlich sind
- Demonstration des Erfüllungsstandes hinsichtlich des Endzustandes
- Definition und Einführung weiterführender Maßnahmen und Kontrollen nach der Stilllegung, wenn erforderlich

Darüber hinaus zielt das Projekt ab auf

- die Ermittlung solider praktischer Erfahrungen auf der Grundlage der von den IAEA-Mitgliedsstaaten gesammelten Erfahrungen,
- die Durchführung praktischer Beratungen für die Beendigung der Stilllegung,
- die Veranschaulichung der Entscheidungsfindungen, die Durchführung von Maßnahmen und die entsprechenden Aufsichtsmaßnahmen,
- die Erhöhung der Fähigkeiten in den IAEA-Mitgliedsstaaten, die Verbesserung der Kommunikation und des Informationsaustausches sowie der Weitergabe von Erfahrungen zwischen den IAEA-Mitgliedsstaaten.

Das Projektziel ist es, die IAEA-Mitgliedsstaaten bei ihren Aktivitäten hinsichtlich der Beendigung des Stilllegungsprozesses, der Standortfreigabe sowie der Entlassung aus der behördlichen Kontrolle nach Freigabe zu unterstützen. Der Projektbericht soll auch Informationen für die bevorstehende Revision des IAEA Safety Guide WS-G-5.1 „Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices“ liefern.

Das Projekt verfügt über die folgenden drei Arbeitsgruppen, die alle Aspekte zur Beendigung des Stilllegungsverfahrens erfassen:

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

Die aktuelle Struktur des COMDEC-Berichts und die Zuordnung der Arbeiten der einzelnen Gruppen ist in Abb. 4.1 dargestellt.

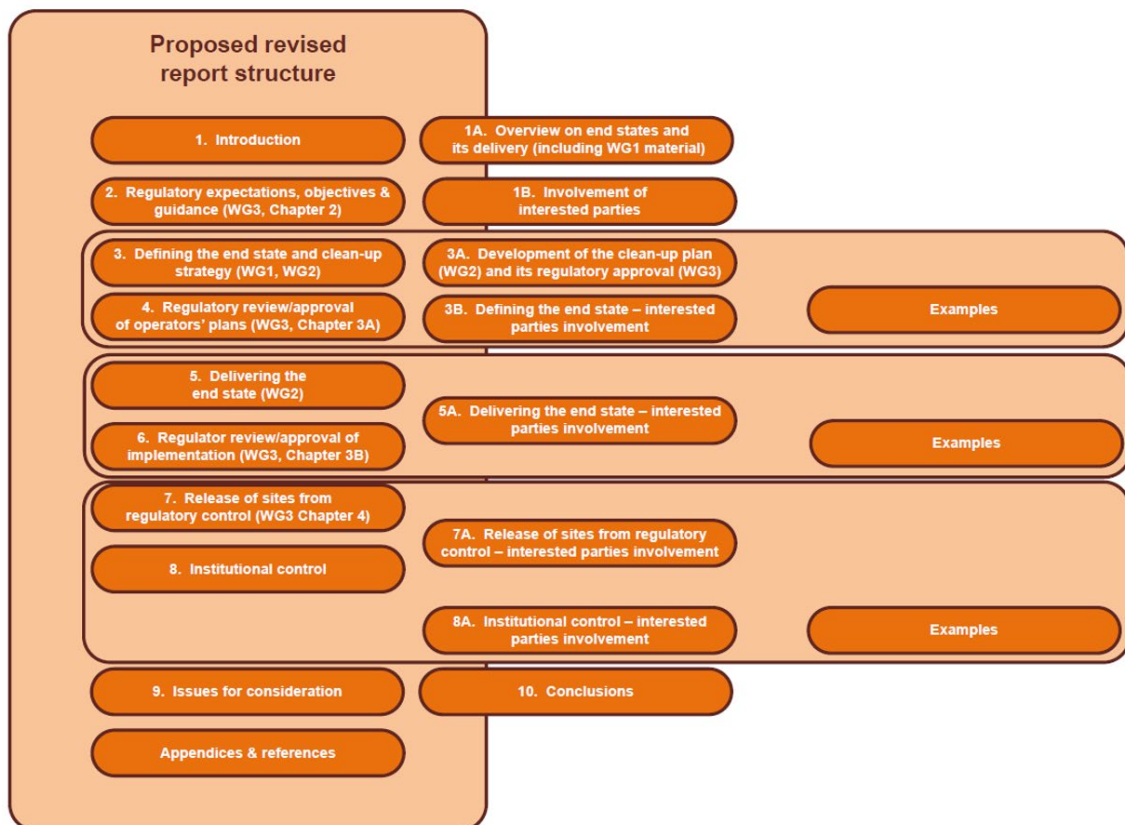


Abb. 4.1 Aufbau des COMDEC-Berichtes und Zuordnung von Arbeiten /IAE 23/

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde in der WG 2 zur „Herbeiführung des Endzustandes“ (delivery of the end state) mitgearbeitet und hierbei insbesondere ein Kapitel zur radiologischen Anlagen- und Geländecharakterisierung mit verfasst (derzeit Kap. 5.6 des COMDEC-Berichts der dargestellten Struktur). Eine Säule des Berichts

bilden Praxisbeispiele, jeweils zugeordnet zu den Aspekten „Bestimmung des Endzustands“, „Herbeiführung des Endzustands“ und „Regulatorisches“. Hierzu wurde ein Beitrag zur abschließenden Charakterisierung des Kernkraftwerks MZFR erstellt.

Das COMDEC-Projekt zielt insgesamt stark auf die Überwindung regulatorischer und organisatorischer Hürden bei der Entlassung aus der Überwachung durch das jeweilige Atom- und Strahlenschutzrecht ab. Hierbei spielt die radiologische Charakterisierung, bzw. Freimessung und Freigabe von Räumen, Raumteilen und Gebäuden sowie Geländeflächen, oder – in Ländern ohne Freigabeverfahren – die Deklassifizierung nach Zonen (radioaktiv → nicht radioaktiv), eine sehr große Rolle. In vielen Ländern fehlt ein Regelwerk, welches zulässige Aktivitäten nach Nuklid und Entsorgungsweg zur Vereinfachung der Freigabe auflistet, wie es die deutsche Strahlenschutzverordnung bietet. Vielmehr wird das 10 µSv-Kriterium mit Einzelfallentscheidungen verbreitet angewandt. Zudem sind teilweise deutlich höhere Dosiskriterien in Gebrauch (z. B. in Spanien), welche sich auf die Standort- bzw. Geländefreigabe beziehen. Die unterschiedlichen gesetzlichen Randbedingungen in verschiedenen Ländern zu berücksichtigen, stellte sich als Herausforderung bei der Berichtserstellung dar.

Eine Bilanzierung des gesamten Stilllegungsprozesses und die Erforschung von Abweichungen von Planungsdaten, wie in diesem Vorhaben, ist nicht zentraler Bestandteil des COMDEC-Projektes, diese wird jedoch in einzelnen Praxisbeispielen angeschnitten

Der COMDEC-Bericht wird voraussichtlich Ende 2024 durch die IAEA veröffentlicht.

Im Folgenden werden einige für das Vorhaben und den Vergleich mit der Situation in Deutschland relevante Beiträge aus Plenarvorträgen bzw. Anlagenbesichtigungen zusammenfassend dargestellt und die mögliche Übertragbarkeit auf hiesige Stilllegungsprojekte erörtert.

4.1 Stilllegungsabschluss Kernkraftwerk Bohunice V1, Slowakei

Das Kernkraftwerk Bohunice V1 in der Slowakei ist vom Typ WWER-440-230 und damit baugleich zu den Reaktoren des deutschen Kernkraftwerks Greifswald (KGR). Die zwei Reaktoren wurden 2006 und 2008 im Zuge des EU-Beitritts des Landes endgültig abgeschaltet, da dies Voraussetzung dafür war. Die Abbaumaßnahmen werden zu einem großen Teil von Geldern der EU, der europäischen Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (EBRD), finanziert. Stilllegungsaktivitäten finden seit 2011 statt und der Abbau hin

zur sog. „braunen Wiese“, d. h. die industrielle Nachnutzung mit Einschränkungen, soll 2027 abgeschlossen sein. In der Slowakei gibt es neben dem auch in Deutschland etablierten 10 μSv -Kriterium für die Freigabe ein weiteres mit 50 μSv pro Jahr für sog. „optimierte Szenarien“, in denen der Aufwand zum Erreichen der 10 μSv -Grenze unverhältnismäßig erscheint. Das Resultat wäre dann eine eingeschränkte Freigabe zur Nachnutzung, wie sie für V1 angestrebt wird. Der Abbau ist Ende 2023 bereits weit fortgeschritten. Die metallischen Komponenten sind alle entfernt und zerlegt worden. Das Turbinenhaus, welches ein rein konventionelles Gebäude war, wurde als Kontrollbereich eingerichtet und enthält jetzt eine Freimessanlage. Die Entfernung kontaminierten bzw. aktivierten Betons im Reaktorschacht war Ende November 2023 für Reaktor 1 bereits abgeschlossen und für Reaktor 2 weit fortgeschritten (geplante Fertigstellung Anfang 2024). Bei der Anlagenbesichtigung im Zuge des 7. COMDEC-Treffens war eine Begehung der zweiten Reaktorgrube möglich. Zurzeit sind noch sehr lokale Kontaminationen bis hin zu 400 Bq/kg vorhanden. Es wird untersucht, inwieweit es sinnvoll und machbar ist, bleibende Kontamination an Ort und Stelle zu belassen und die Baugruben zu verfüllen. Aktuell ist die Planung, Strukturen ab -1 m mit nicht kontaminiertem Bauschutt zu verfüllen. Im Zeitraum 2024 bis 2027 sind die restliche Gebäudedekontamination, der Gebäudeabriss, die Gelände-Wiederherstellung, die Abschlussuntersuchung sowie die Standortentlassung vorgesehen. Eine kleine Fläche von ca. 1000 m² wurde bereits aus dem Geltungsbereich des slowakischen Atomrechts entlassen.

Abfälle aus der Stilllegung werden vor Ort konditioniert und verpackt. Die dafür benötigten Behälter werden ebenfalls vor Ort hergestellt. Dazu werden Betonbehälter mit einer Gussform und einer Anmischanlage gegossen und über ca. zwei Wochen ausgehärtet, ehe sie zur Aufnahme von Abfällen bereit sind. Der Beton ist durch Beimischung von Glasfasern besonders hart und undurchlässig. Gasblasen wird durch Rütteln der Gussform während des Gießens vorgebeugt. Das Verfahren ist von einem französischen Dienstleister lizenziert. Nach Befüllung werden die Abfallbehälter im zentralen Zwischenlager Mochovce gelagert, bis ein geeignetes Endlager bereitsteht.

Bohunice V1 ist vom selben Reaktortyp wie das KGR in Deutschland, so dass ein Vergleich der Stilllegungen möglich ist. Die Reaktoren von V1 wurden 16 bzw. 18 Jahre später endgültig abgeschaltet als das KGR. Dennoch soll die Stilllegung im Jahr 2027, und damit ein Jahr früher als beim KGR, abgeschlossen sein. Dabei ist zu beachten, dass V1 nur aus zwei Reaktoren besteht, das KGR hingegen aus fünf Blöcken, welche radioaktiv kontaminiert/aktiviert sind. Am Standort in Bohunice befindet sich noch ein moderneres Kernkraftwerk mit zwei Reaktoren, welches sich aktuell im Leistungsbetrieb

befindet. Fachkundiges Personal und die kerntechnische Infrastruktur sind vor Ort also weiterhin gegeben. Der für die Stilllegung zuständige Betreiber Javys (bzw. dessen Vorgängerorganisation) betreibt ein 3D-Modell der gesamten Anlage mit Gebäudeinformationsmanagement (BIM) und pflegt und erweitert dieses, dem technischen Fortschritt und dem Abbaufortschritt entsprechend, stetig weiter. Die Abbauplanung ist damit nicht nur leichter durchführbar, sondern auch transparent gegenüber Behörden, Geldgebern und der Öffentlichkeit darstellbar. Diese Transparenz ist bei V1 sinnvoll und geboten, da große Teile der Stilllegungskosten durch die EU, bzw. die EBRD getragen werden und ein gewisser Erfüllungsdruck besteht. Vorteile des 3D-Modells ergeben sich auch für die Entsorgungslogistik, da die Schnitte der Komponenten so geplant werden können, dass die resultierenden Fragmente optimal in die Abfallbehälter passen. Viele der im Ganzen ausgebauten Großkomponenten (Dampfzeuger, Reaktordruckgefäße) aus dem KGR liegen demgegenüber im Zwischenlager Nord (ZLN) zur Abklinglagerung und werden erst noch zerlegt. Trotz der zeitlichen Entkopplung von Ausbau und Zerlegung konnte man offenbar keine Geschwindigkeitsvorteile erlangen.

Das Maschinenhaus im KGR (1 bis 4) ist doppelt so lang wie das in V1. Es wird bereits seit langem für konventionelle industrielle Zwecke genutzt (u. a. Kranbau). Dagegen wurde in V1 dort ein Kontrollbereich eingerichtet und eine Freimessanlage aufgebaut, die zur Freimessung von Abbauprodukten genutzt wird.

Zum Personaleinsatz in V1 liegen der GRS keine Informationen vor. Gemessen an der Anlagengröße erfolgt der Abbau des KGR mit wenig Personal.

4.2 Stilllegungsabschluss „Magnox“-Anlagen, Großbritannien

In Großbritannien befindet sich eine größere Anzahl grafitmoderierter, luftgekühlter Kernkraftwerke ähnlicher oder identischer Bauart, die dem Unternehmen Magnox gehören und deren Stilllegung in Verantwortung des Unternehmens steht (hier im Weiteren als Magnox-Anlagen bezeichnet). Wie auch in anderen Ländern mit grafitmoderierten Reaktoren, ist das Problem der sicheren Handhabung von Grafit und vor allem dessen Entsorgung, noch nicht vollständig gelöst. Auch deswegen setzt die britische Stilllegungsstrategie auf einen verzögerten Abbau. Der sichere Einschluss wird dort als „Care and Maintenance“ bezeichnet, um zu betonen, dass die Anlage weiter gewartet und instandgehalten wird, während sie sicher eingeschlossen ist (Zustand „cold and dark“). Zur Herstellung dieses Zustandes, der bis zu 100 Jahre andauern soll, werden durchaus bereits Abbaumaßnahmen durchgeführt. In Trawsfynydd in Wales etwa wird die Dach-

konstruktion entfernt und ein neues, niedrigeres Dach errichtet. Die dadurch geringere Gebäudehöhe (1/3 der Ursprungshöhe) soll zu einer größeren Akzeptanz in der Bevölkerung führen, da sich die Reaktoren so besser ins Landschaftsbild einfügen. Außerdem werden Abfälle und Schrotte aus der Betriebszeit entfernt. Dabei handelt es sich neben Kernbrennstoffen auch um Kontamination in offenen Becken, die im trockenen Zustand dekontaminiert oder verschlossen werden müssen.

Magnox sieht für die Anlagen in dessen Zuständigkeitsbereich ein gemeinsames Konzept für den Abbau vor. Um nicht Experten für alle möglichen Bereiche an allen Standorten vorhalten zu müssen, wird das spezialisierte Fachpersonal von Anlage zu Anlage gesendet und kann vom Wissens- und Erfahrungsaufbau mit jeder Station profitieren. So gibt es beispielsweise Spezialteams zur Dekontamination oder für Kerneinbauten. Dadurch sollen Kosten eingespart und gleichzeitig das Wissensmanagement im Unternehmen verbessert werden. Nachteil dieses Ansatzes (in Kombination mit dem sicheren Einschluss) ist die deutlich längere Gesamtdauer der Stilllegung bis zur Entlassung aus dem kerntechnischen Geltungsbereich. Wie der Abb. 4.2 entnommen werden kann, wird die Stilllegung erst in den 20er Jahren des 22. Jahrhunderts planmäßig abgeschlossen sein.

Die Firma Magnox Ltd. ist inzwischen gemeinsam mit Dounreay in die staatliche NRS (Nuclear Restoration Services /NRS 24/) übergegangen. Auch diese Bündelung dürfte die Kosten der Stilllegung in Großbritannien insgesamt etwas senken.

Der sichere Einschluss ist in Deutschland für Kernkraftwerke keine zulässige Stilllegungsoption für aktuelle Stilllegungsprojekte mehr. Der Flottenansatz durch Spezialteams, die von einer zur anderen (baugleichen) Anlage gehen, ist dagegen auch hierzu eine Option, die zumindest innerhalb der vier großen deutschen Kernkraftwerks-Betreiberunternehmen bekanntermaßen auch verfolgt wird.

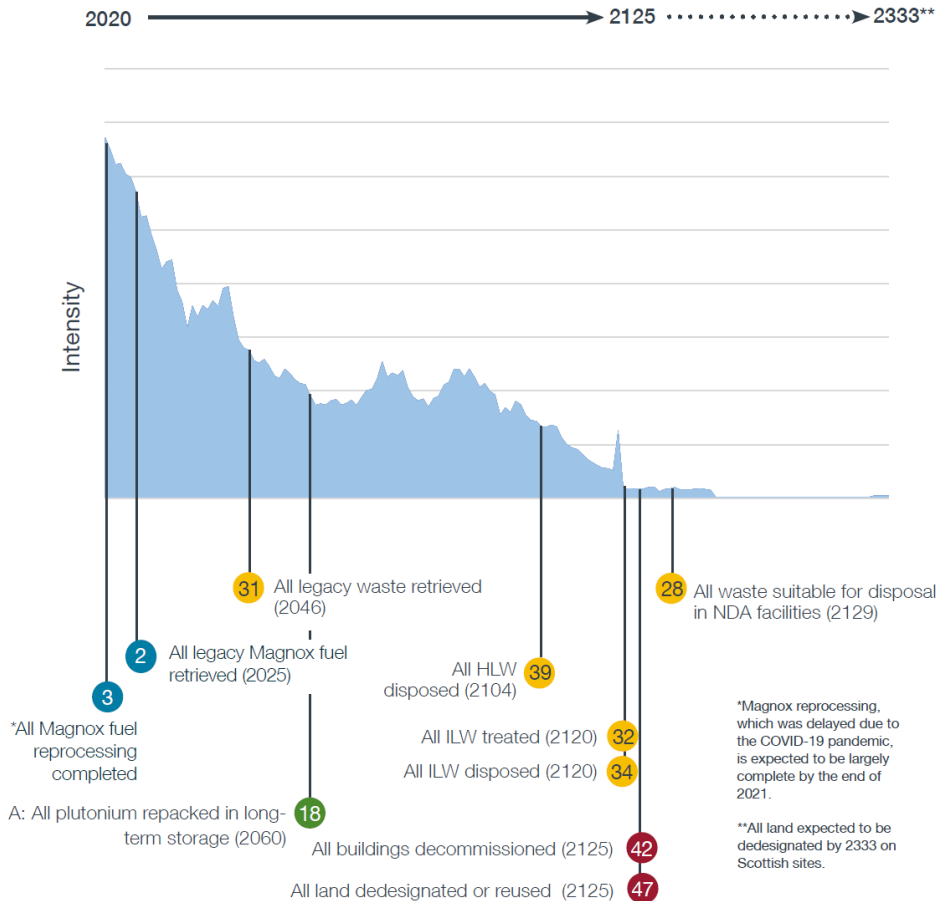


Abb. 4.2 NRS/Magnox-Stilllegungsaktivität im Vereinigten Königreich /NDA 21/

4.3 Stilllegungsabschluss Jose Cabrera, Spanien

Das Kernkraftwerk Jose Cabrera war Spaniens erstes Kernkraftwerk und mit einer elektrischen Leistung von 160 MW von 1968 bis 2006 im Leistungsbetrieb. Am Standort wurde danach ein Zwischenlager zur trockenen Lagerung der Brennelemente errichtet. Die Stilllegungsgenehmigung bei gleichzeitiger Übertragung dieser an Enresa wurde 2010 erteilt. Von da an wurde die Anlage abgebaut. Im Jahr 2022 wurde der endgültige Sanierungsplan mit standortspezifischen Freigabewerten genehmigt. Die Stilllegung ist sehr weit fortgeschritten und endet voraussichtlich 2024. Anschließend soll das Gelände industriell weitergenutzt werden. Das bedeutet, dass spezielle Freigabewerte für eine eingeschränkte Freigabe zur industriellen Nutzung eingehalten werden müssen, die höher sind als diejenigen für eine uneingeschränkte Freigabe. Gemäß den Plänen der Betreiberin sollen auch „deklassifizierte“ Gebäudeteile im Erdreich verbleiben. Der individuell mittels der Software RESRAD und MARSSIM berechnete und genehmigte Frei-

gabewert für dieses Szenario beträgt 100 μSv pro Jahr. Eine solche eingeschränkte Freigabe ist in Spanien unter folgenden Voraussetzungen möglich:

- Wenn zusätzliche Reduzierungen der Restaktivität für eine uneingeschränkte Freigabe mehr schaden als nützen würden oder wenn die Restaktivität bei einer beschränkten Freigabe bereits dem ALARA-Prinzip genügt.
- Geeignete fortgeltende Pflichten und Verwendungsbeschränkungen sind vorgesehen, um sicherzustellen, dass die effektive Dosis für eine repräsentative Person der kritischen Gruppe (Mitarbeitende nachfolgend tätiger Industrieunternehmen) 0,1 mSv/Jahr nicht überschreitet.
- Ein effektiver Dosisgrenzwert von 1 mSv/Jahr für die repräsentative Einzelperson der kritischen Gruppe darf nicht überschritten werden, wenn die institutionellen Kontrollen oder festgelegten Beschränkungen versagen.

In Deutschland existiert eine eingeschränkte Freigabe in dieser Form nicht, sondern ausschließlich für Gebäude zum Abriss und anschließender Deponierung des Abbruchmaterials.

Literaturverzeichnis

- /ART 16/ GRS gGmbH: Artmann, A., Schneider, S. et al., Generische Studie zum Zusammenhang zwischen Kontamination von Primärkreislaufmedien und beruflicher Strahlenexposition bei Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor, Köln, Januar 2016.
- /BAS 24/ Bekanntmachungen des BMUV und des vormals zuständigen BMI RS-Handbuch (01/24), https://www.base.bund.de/DE/base/gesetzeregelungen/rsh/3/3_node.html, letzter Abruf: 20. Februar 2024.
- /BFS 02/ Bundesamt für Strahlenschutz: Rehs, B. & Spoden, E., Übersicht über Stilllegungsprojekte in Deutschland, Teil I: Kernkraftwerke und Prototypreaktoren (Statusbericht). Fachbereich KT (Kerntechnische Sicherheit), KT-IB-88/2002.
- /BFS 09/ Bundesamt für Strahlenschutz: Übersicht über Stilllegungsprojekte in Deutschland, Teil I: Leistungs- und Prototypreaktoren, Stand: Juni 2009.
- /BGE 24/ Bundesgesellschaft für Endlagerung: Fertigstellung des Endlagers Konrad verzögert sich, Pressemitteilung Nr. 07/23 – Endlager Konrad <https://www.bge.de/de/konrad/meldungen-und-pressemitteilungen/archiv/meldung/news/2023/6/752-endlager-konrad-1/>, letzter Abruf: 27. Februar 2024.
- /BMU 20/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: Bericht der Bundesregierung für die siebte Überprüfungskonferenz im Mai 2021 zur Erfüllung des Gemeinsamen Übereinkommens über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle, August 2020.

- /BMU 24/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: Zwischenlager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung; <https://www.bmuv.de/themen/nukleare-sicherheit/zwischenlagerung/zwischenlager-fuer-radioaktive-abfaelle-mit-vernachlaessigbarer-waermeentwicklung>, letzter Abruf: 7. März 2024.
- /DBT 23/ Deutscher Bundestag: Unterrichtung durch die Bundesregierung, Bericht nach § 7 des Transparenzgesetzes – Rückbau von Kernkraftwerken, 23. November 2023.
- /ENG 20/ Engie SA: Vortrag im Rahmen der ICOND 2020, Aachen, November 2020.
- /ESK 22/ Entsorgungskommission: Vergleich der Massenströme bei der Stilllegung von Kernkraftwerken in Deutschland und Frankreich, 99. ESK-Sitzung vom 15. Juni 2022.
- /FZK 98/ Vortrag zu Stilllegungsproblemen im FZK, Tagung des AK Stilllegung, ZK 25. – 26. März 1998.
- /GRS 18/ GRS gGmbH: Statusbericht zur Stilllegung von Leistungs- und Prototypreaktoren in der Bundesrepublik, Stand: Juni 2018.
- /IAE 23/ Internationale Atomenergie-Organisation: Draft Report of the International Project on Completion of Decommissioning (COMDEC), Version: November 2023.
- /IAE 24/ Internationale Atomenergie-Organisation: Pris-Datenbank, <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=DE>, letzter Aufruf: 20. März 2024
- /IMI 20/ GRS gGmbH: Imielski P., et al., Erforschung der technischen Maßnahmen zur Stilllegung von Leistungsreaktoren mit Brennelementen und Defektstäben in der Anlage, Berlin, Köln, Juni 2020.

- /IST 12/ ISTec GmbH: Gründler, D., Haider, C., Reststoff- und Abfallströme bei der Stilllegung kerntechnischer Anlagen in Deutschland, Köln, März 2012.
- /IST 15/ ISTec GmbH: Gründler, D., Haider, C., Boetsch, W., Reststoff- und Abfallströme bei der Stilllegung kerntechnischer Anlagen in Deutschland, Köln, September 2015.
- /NDA 21/ NDA: 2021, Strategy - Effective from March 2021, Cleaning up the UK's earliest nuclear sites, caring for people and the environment, Nuclear Decommissioning Authority, SG/2021/48, March 2021.
- /NRS 24/ Nuclear Restoration Services: Internetauftritt, <https://www.gov.uk/government/organisations/nuclear-restoration-services>, letzter Abruf: 9. Januar 2024.
- /STAN XX/ Antrags- und Genehmigungsdokumente, Inhalte der Stan-Datenbank (chiffriert), -verschiedene Anlagen-, Angabe der Berichtsnummer (XX) an den jeweiligen Textstellen, 2021 – 2024.
- /WIK 21-24/ GRS gGmbH: GRS-Stilllegungswiki, stilllegungswiki.grs.de, Abruf: 2021 – 2024.
- /VDI 23/ VDI Wissensforum: Rückbau kerntechnischer Anlagen, 4. – 6. Juli 2023.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Vergangene und prognostizierte Betriebsverläufe deutscher KKW /DBT 23/	2
Abb. 2.1	Darstellung der (prognostizierten) Dauer aller Stilllegungsphasen (blau) und der reinen Abbautätigkeiten (rot).....	12
Abb. 2.2	Grafische Darstellung des Arbeitsaufwands für die Stilllegung pro Reaktorblock.....	13
Abb. 2.3	Bisher angefallenen Kollektivdosen in allen Stilllegungsphasen in KKW der Gruppe A	15
Abb. 2.4	Vergleich der Ableitungen mit der Fortluft aus den Anlagen A-13, A-14 und A-15 in den ersten sieben Stilllegungsjahren	16
Abb. 2.5	Anteil radioaktiver Abfallmassen an der insgesamt abgebauten Masse für alle A-Anlagen	18
Abb. 2.6	Anteil radioaktiver Abfallmassen an der Gesamtmasse für alle B-Anlagen (Planungswerte)	21
Abb. 2.7	Anteil radioaktiver Abfallmassen an der Gesamtmasse für alle C-Anlagen (Planungswerte).....	24
Abb. 4.1	Aufbau des COMDEC-Berichtes und Zuordnung von Arbeiten /IAE 23/	36
Abb. 4.2	NRS/Magnox-Stilllegungsaktivität im Vereinigten Königreich /NDA 21/	41

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1	Übersicht der deutschen Kernkraftwerke und wichtige Kenndaten mit Prognosen in Klammern	5
Tab. 2.1	Übersicht der Kernkraftwerke der Gruppe A, Prognosen in Klammern.....	10
Tab. 2.2	Übersicht Stilllegungsdauer A-Anlagen.....	11
Tab. 2.3	(Bisheriger) Arbeitsaufwand für die Stilllegung, Summe für Eigen- und Fremdpersonal.....	12
Tab. 2.4	Akkumulierte Kollektivdosen und Planungswerte in der Stilllegungsphase.....	14
Tab. 2.5	Auflistung der radioaktiven Abfallmassen und Gesamtmassen der Anlagen der Gruppe A	17
Tab. 2.6	Übersicht der Kernkraftwerke der Gruppe B	19
Tab. 2.7	Auflistung der radioaktiven Abfallmassen und Gesamtmassen der Anlagen der Gruppe B	20
Tab. 2.8	Übersicht der Kernkraftwerke der Gruppe C	22
Tab. 2.9	Vergleich der Abbaumassen und radioaktiven Abfälle im Kontrollbereich der C-Anlagen	23

Abkürzungsverzeichnis

AG	Abbaugenehmigung
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ANS	Autorité de sûreté nucléaire
AR	Augmented Reality
AtG	Atomgesetz
BASE	Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung
BE	Brennelement
BGZ	Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH
BHB	Betriebshandbuch
BIM	Building Information Management (Gebäudeinformationsmanagement)
C&M	Care & Maintenance
COMDEC	International Project on Completion of Decommissioning
CWG	Coordinating Working Group
DE	Dampferzeuger
DWR	Druckwasserreaktor
EDF	Électricité de France
EntsorgFondsG	Entsorgungsfondsgesetz
EBRD	Europäische Bank für Wiederaufbau und Entwicklung
EU	Europäische Union
F&E	Forschung und Entwicklung
FSD	Full System Decontamination
GW	Gigawatt
HD	Hochdruck
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ISOE	Information System on Occupational Exposure
JAVYS	Jadrová a vyraovacia spoločnosť
KB	Kontrollbereich
KI	Künstliche Intelligenz
k. I.	keine Information
KKW	Kernkraftwerk(e)
KWU	Kraftwerk Union
MW	Megawatt
ND	Niederdruck
NDA	Nuclear Decommissioning Authority

ODL	Ortsdosisleistung
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PRIS	Power Reactor Information System
RAW	radioactive waste (Radioaktive Abfälle)
RDB	Reaktordruckbehälter
RS	Reaktorsicherheit
SAG	Stilllegungs- und Abbaugenehmigung
SG	Stilllegungsgenehmigung
SHB	Sicherheitsbehälter
SWR	Siedewasserreaktor
TLB	Transport- und Lagerbehälter
VR	Virtuelle Realität

A Anhang A: Stilllegungsbilanzen der A-Anlagen (endgültige Abschaltung vor 2011)

A.1 Anlage A-1

A.1.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Anlage A-1 wurde in den 1960er Jahren gebaut und noch in der Inbetriebnahmephase in den 1970ern nach rund 2000 Betriebsstunden (entspricht fünf Volllasttagen) endgültig abgeschaltet. Die elektrische Leistung war im zweistelligen MW-Bereich und damit vergleichsweise gering. Kurz nach der endgültigen Abschaltung wurde beschlossen, die Anlage in ein nicht-nukleares Forschungs- und Entwicklungsprogramm im Rahmen einer 1. Stilllegungsgenehmigung aufzunehmen, welches über 15 Jahre lief und substanzielle Abbauarbeiten ausschloss. Mit dem Abbau der Versuchseinrichtungen wurde Anfang der 1990er Jahre begonnen und innerhalb von ca. vier Jahren abgeschlossen. Der konventionelle Gebäudeabbruch beanspruchte ein weiteres halbes Jahr.

Die Phase des tatsächlichen nuklearen Abbaus von A-1 dauerte mit ca. fünf Jahren auffallend kurz und kann bisweilen mit dem Zeitaufwand beim Abbau von größeren Forschungsreaktoren (z. B. TRIGA) verglichen werden.

Auswertung

Das zur Zeit der Abbauplanung avisierte Projektende nach ca. fünf Jahren entspricht der tatsächlichen Abbaudauer. Vor dieser Phase des Abbaus war die Anlage zunächst im Nachbetrieb und wurde anschließend zu nicht-nuklearen Forschungszwecken genutzt, so dass von einer über 20-jährigen Abklingzeit vor Abbaubeginn profitiert werden konnte. Die Zeit von der Erteilung der 1. SAG bis zur Entlassung aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes betrug rund 15 Jahre. Insgesamt ist der zeitliche Verlauf für die Stilllegung von Kernkraftwerken untypisch und mithin nicht repräsentativ, so dass eher keine Schlüsse für die Stilllegung jüngerer Kernkraftwerke gezogen werden können.

A.1.2 Arbeits- und Personalaufwand

Zum Arbeits- und Personalaufwand für Anlage A-1 liegen der GRS keine Daten vor. Die Stilllegungsarbeiten wurden überwiegend durch das Eigenpersonal durchgeführt.

A.1.3 Kollektivdosis

Im Laufe der Abbautätigkeiten kam es zur Exposition des Eigenpersonals (siehe Abb. A.1). Die höchsten Kollektivdosen wurden in einem Jahr etwa in der zeitlichen Mitte des Abbaus generiert.

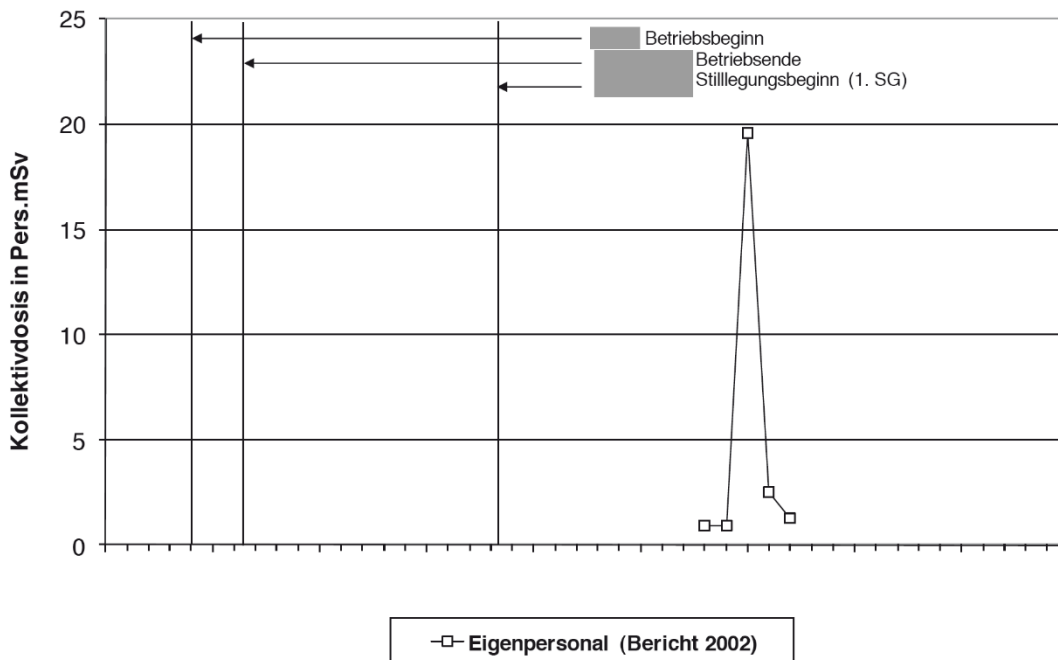


Abb. A.1 Exposition des Eigenpersonals während des Abbaus von A-1 im Kontext relevanter Zeitpunkte

Die X-Achse markiert die Jahreszahl /BFS 02/.

Die Zahlenwerte liegen der GRS nicht vor. Eine Abschätzung der gesamten Kollektivdosis anhand der in der Grafik verzeichneten Punkte ergibt eine Gesamt-Kollektivdosis für den Abbau von A-1 von weniger als 25,5 mSv.

Auswertung

Die geringe Kollektivdosis des Eigenpersonals von unter 25,5 mSv lässt sich mit der kurzen Betriebszeit von umgerechnet fünf Volllasttagen, in Kombination mit einer über 20-jährigen Abklingzeit erklären. Messungen von Aktivitäten und Ortsdosisleistungen, die der GRS vorliegen, unterstützen diese These. Insgesamt hatte die Anlage schon während der Phase der Experimente eine Gesamtaktivität von nur 10 GBq, die sich auf den RDB und die Kontrollbereichsräume verteilten. Innerhalb des RDB betrug in 0,5 m Abstand die Ortsdosisleistung 50 bis 70 $\mu\text{Sv/h}$. Daten über die zu Beginn des Abbaus

erwartete Kollektivdosis liegen der GRS nicht vor. Da der Zeitrahmen eingehalten wurde und auch das Abfallaufkommen wie erwartet ist (siehe Abschnitt A.1.5), wird allerdings mit keiner großen Diskrepanz gerechnet.

A.1.4 Ableitungen

Die Reinigung und Abgabe radioaktiver Wässer erfolgten mit Hilfe der Anlagen eines benachbarten Kernkraftwerks. Über Abgaben radioaktiver Stoffe mit der Abluft und mit dem Abwasser liegen der GRS keine Informationen vor.

A.1.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Insgesamt waren 35.000 Mg Material abzubauen. Als radioaktiver Abfall verblieben 325 Mg (125 Mg Stahl und 140 Mg Beton- und Bauschutt sowie 60 Mg sonstige Materialien). Die radioaktiven Abfälle wurden dem nahegelegenen Forschungszentrum zur weiteren Behandlung überstellt. Für die Transport- und Lagervorbereitung wurde ein Konditionierungsgebäude errichtet. Das Endlagervolumen beträgt ca. 250 m³. Für die Behandlung von radioaktiven flüssigen Reststoffen werden die entsprechenden Anlagen des benachbarten Kernkraftwerks mitbenutzt. Eine Übersicht über die Reststoff- und Abfallmassen aus A-1 ist in Tab. A.1 aufgeführt.

Tab. A.1 Reststoff- und Abfallmassen beim Abbau von A-1 /BFS 02/

Metalle aus dem Kontrollbereich	[Mg]	1.800
Metalle aus Bereichen außerhalb Kontrollbereich	[Mg]	499
Beton aus den Kontrollbereichen	[Mg]	22.830
Sonstige Betonmassen	[Mg]	4.640
Radioaktive Abfälle in Bezug auf o. g. Abfallmassen		
Stahl	[Mg]	125
Beton und Bauschutt	[Mg]	140
Sonstige Materialien	[Mg]	60

Auswertung

Gemäß /IST 12/ wurde mit einer Masse von 1.815 Mg bei einer Aktivität von 1,02E10 Bq gerechnet. Davon wurden 175 Mg Stahl zur Rezyklierung und 120 Mg Beton als radioaktiver Abfall erwartet. Während tatsächlich weniger Stahl entsorgt werden musste, fiel etwas mehr Beton an als erwartet. Insgesamt ist die Diskrepanz zwischen Soll und Ist

gering, was auch für die Gesamtmasse an Abfällen gilt, welche wegen der geringen Kontamination und langen Abklingzeit anfielen.

A.1.6 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG und fortgeltende Pflichten

Das Stilllegungsprojekt A-1 wurde mit der öffentlichen Pflanzung eines Baumes nach Erreichen der „Grünen Wiese“ abgeschlossen, nachdem drei Monate zuvor die Entlassung aus der atomrechtlichen Aufsicht erfolgt war. Die Betreiberin hat gewisse fortgeltende Pflichten zu erfüllen. Diese beziehen sich insbesondere auf die Aufbewahrung der Stilllegungsdokumentation. Der Standort von A-1 befindet sich in einem anderen Bundesland als der Sitz der Betreiberin. Dies hat zur Folge, dass die Dokumentation in einem anderen Bundesland aufbewahrt wird.

Folgende fortgeltende Pflichten werden in der letzten Abbaugenehmigung formuliert:

- „Die Sicherheitsdokumentation ist auch nach der Standortfreigabe in erforderlichem Umfang aufzubewahren, für die Aufsichtsbehörde zur Verfügung zu halten und ggf. auszuwerten.
- Die Ausgliederung der Teile der Dokumentation, die später im FZK verwahrt werden sollen, ist in Abstimmung mit der Aufsichtsbehörde vorzunehmen.
- Der Abtransport der ausgegliederten Teile der Dokumentation vor der endgültigen Standortfreigabe bedarf der Zustimmung der Aufsichtsbehörde.
- Die Vernichtung von Unterlagen der Sicherheitsdokumentation nach Ablauf der im Technischen Bericht [...] genannten Aufbewahrungsfristen bedarf der Zustimmung der Aufsichtsbehörde.
- Nach Standortfreigabe sind Abweichungen von gebilligten Regelungen zur Verwahrung der Dokumentation der Aufsichtsbehörde rechtzeitig vorher anzuzeigen.
- Nach Standortfreigabe ist ein Wechsel verantwortlicher Personen der Aufsichtsbehörde rechtzeitig vorher anzuzeigen.“

A.2 Anlage A-2

A.2.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Die Anlage A-2 wurde bis Anfang der 1970er Jahre erbaut und ging Mitte der 1970er Jahre in Betrieb. Nach rund einem Jahr wurde die Anlage aus wirtschaftlichen Gründen nach umgerechnet ca. 18 Vollasttagen endgültig abgeschaltet und in den Sicheren Einschluss überführt. Dafür wurden folgenden Arbeiten durchgeführt:

- Entsorgung der Brennelemente und Betriebsmedien
- Demontage von nicht kontaminierten Systemen und Anlagenteilen außerhalb des Sicherheitsbehälters
- Demontage von durch Betriebsmedien kontaminierten Systemen und Anlagenteilen außerhalb des Sicherheitsbehälters
- Demontage der Lüftungs- und Abwasseranlagen sowie Montage neuer, für den „Sicheren Einschluss“ benötigter Einrichtungen

Anfang der 1980er Jahre wurde ein Genehmigungsverfahren zum Abbau eingeleitet. Etwa sechs Jahre später begann der Abbau an nicht-radioaktiven Teilen, ein Jahr später auch an aktivierten und kontaminierten Teilen der Anlage. Der Moderatorbehälter wurde fernbedient von oben nach unten zerlegt. Der nukleare Abbau dauerte insgesamt rund neun Jahre, gefolgt vom konventionellen Gebäudeabriss. Abschließend wurde der Zustand der „Grünen Wiese“ wiederhergestellt. Die Gesamtkosten des Abbaus beliefen sich auf ca. 268 Mio. DM, die aus öffentlichen Mitteln stammten. Hinzu kamen weitere jeweils 30 Mio. DM zur Herstellung des Sicheren Einschlusses und für Endlagerkosten. Der gesamte Ablauf der Abbauphasen ist in Abb. A.2 dargestellt /GRS 09/.

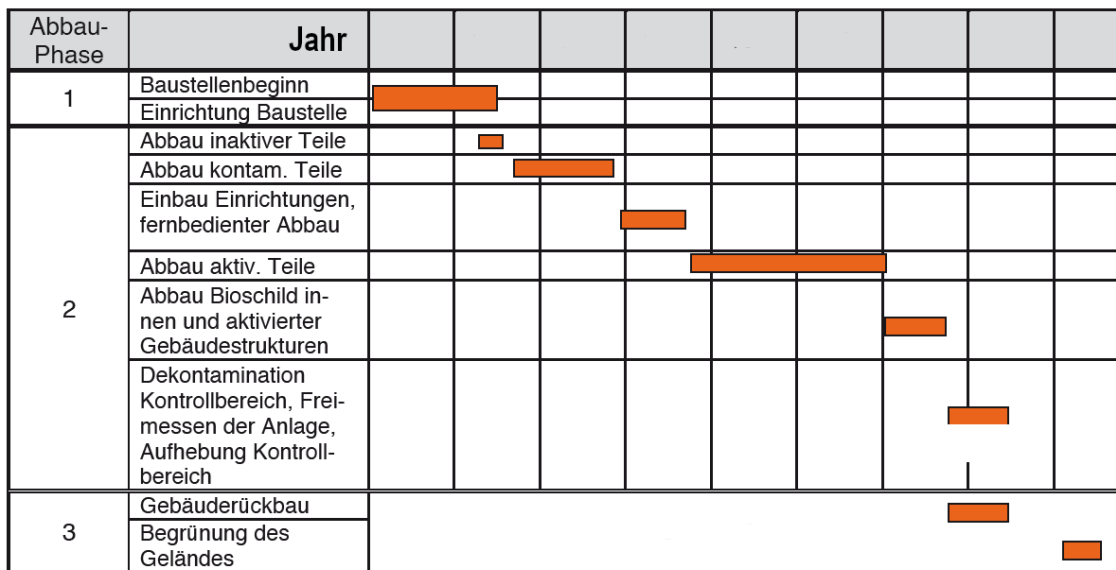


Abb. A.2 Ablauf des Abbaus von A-2 /GRS 09/

Auswertung

Der benötigte Zeitraum für den Abbau der Anlage A-2 liegt mit rund neun Jahren im Bereich des erwartbaren für einen Prototypreaktor mit kurzer Betriebszeit. Durch den vorangegangenen Sicheren Einschluss von einigen Jahren konnten Radionuklide mit kurzen Halbwertszeiten abklingen. Für einen signifikanten Einfluss hätte es aber einer längeren Abklingdauer von mehreren Co-60-Halbwertszeiten (ca. 5,3 Jahre) bedurft. Für die damalige Zeit untypisch ist die Abwicklung des Abbaus im Rahmen einer einzigen Abbaugenehmigung (Genehmigung für den Sicheren Einschluss separat), die für das Projekt zu einer großen Planungssicherheit hinsichtlich der Terminplanung führte. Dadurch, dass sich der Reaktor zu Stilllegungsbeginn in einem unerwarteten Zustand befand, kam es zu Verzögerungen von vier Monaten.

A.2.2 Arbeits- und Personalaufwand

Während der Stilllegung von A-2 waren 60 bis 130 Personen vor Ort. Der zeitliche Verlauf des Personalaufwands zeigt eine Reduktion des Personals in der Phase des fernbedienten Abbaus, während derer die Personendosen wiederum am höchsten sind.

Zum Arbeitsaufwand während des Abbaus liegen Angaben für die verschiedenen Abbauphasen in der üblichen Einheit „Personenmonate“ vor /STAN 4068/. Eine Verteilung auf Tätigkeiten wird in Abb. A.3 in Diagrammform dargestellt.

Für die Demontagephase 2/1 (manueller Abbau inaktiver Anlagenteile) wird ein Gesamtaufwand von 316 Pers.Monaten angegeben. Phase 2/2 (Manueller Abbau kontaminierter Anlagenteile) beanspruchte 2663 Pers.Monate. Beim fernbedienten Abbau des Reaktors und des thermischen Schilts (Phase 2/3) wurden 3074 Pers.Monate beansprucht. Hierbei kam es zu einem 4-monatigen Terminverzug, da der Reaktor anders vorgefunden wurde als erwartet. Der Abbau aktivierter Gebäudestrukturen (Phase 2/4) benötigte 715 Pers.Monate. In der letzten Phase zur Dekontamination und Freimessung der Gesamtanlage wurden 811 Pers.Monate aufgewendet. Der konventionelle Abbruch benötigte weitere 136 Pers.Monate, wobei die Anlage hierbei bereits aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen war.

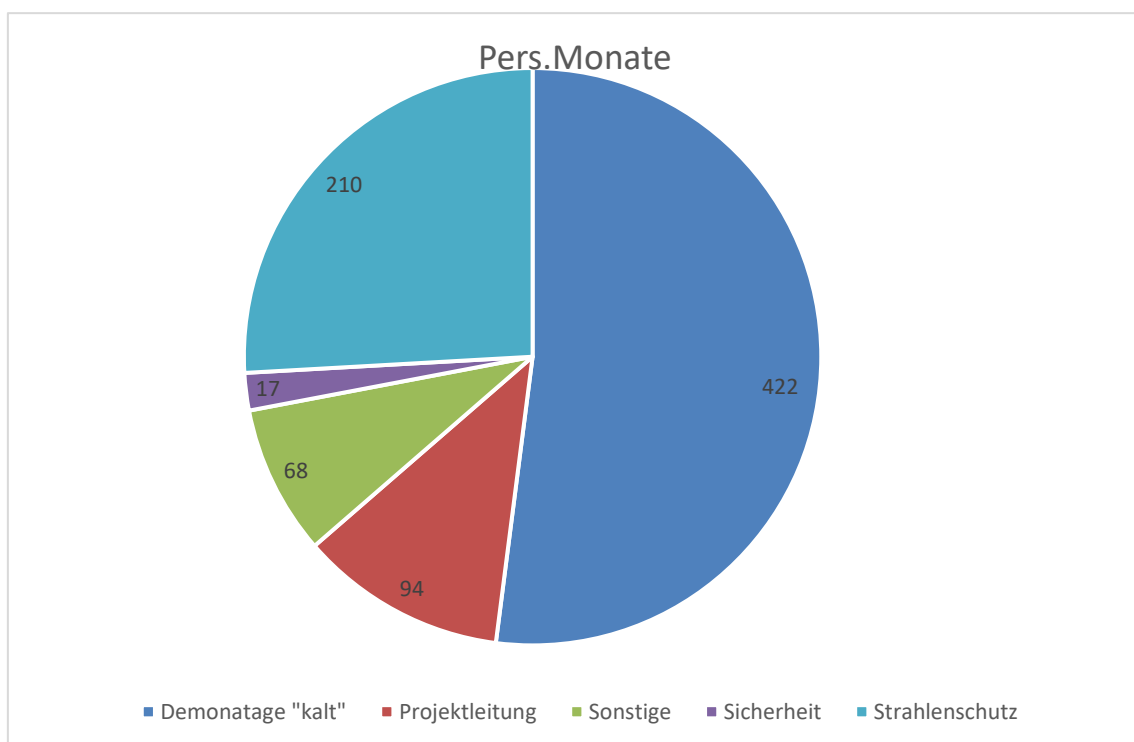


Abb. A.3 Zusammensetzung des A-2-Personals in der Abbauphase 2/5 in Pers.Monaten

Auswertung

Die Informationen zum Einsatz des Personals sind unklar hinsichtlich des Anteils von Eigen- und Fremdpersonal. Bekannt ist, dass eine Fremdfirma als Generalunternehmer für den Abbau tätig wurde. Die Schwankungen der Personalstärke mit den Abbauphasen und damit verbundenen Tätigkeiten deuten auf einen wesentlichen Anteil an Fremdpersonal hin. Der Arbeitsaufwand (Pers.h) sowie der Personalaufwand ist in der Gesamtschau unauffällig und schlüssig.

Tab. A.2 Berufliche Exposition bei der Stilllegung von A-2 /GRS 09/

Personen vor Ort	60 bis 130
Kollektivdosis	0,42 Pers.Sv
Max. Individualdosis	2,9 mSv/Monat
Bodycounter-Messungen	Ca. 6.600
Strahlenschutzbelehrungen	2.100

A.2.3 Kollektivdosis

Die Exposition des an der Stilllegung beteiligten Personals betrug im Durchschnitt weniger als 1 mSv pro Person und Jahr. Die Kollektivdosis für den gesamten Abbau betrug 0,421 Pers.Sv. Der Abbau wurde in den folgenden sieben Schritten vollzogen:

1. Einrichtung der Baustelle
2. Abbau inaktiv
3. Abbau kontaminiert
4. Vorbereitung der fernbedienten Demontage
5. Fernbediente Demontage
6. Abbau des Aktivierten Betons
7. Dekontamination und Freimessung

Die Dosis in den ersten vier sowie der letzten zwei Schritte des Abbaus liegen unterhalb von 0,01 Pers.Sv. Die längste und dosisintensivste Phase war die der fernbedienten Demontage (siehe Tab. A.3).

Auswertung

Die erhaltene Kollektivdosis für das Personal während des Abbaus ist gemessen an Maßstäben der 1980er und frühen 1990er Jahre mit ca. 421 Pers.mSv niedrig. Die höchste gemessene monatliche Personendosis betrug ca. 3 mSv. In /STAN 4068/ wird ein Anteil fernbedienter Demontage von rund 87 % aufgeführt. Der hohe Anteil war begründet durch den Umgang mit stark kontaminierten Geräten in den Interventionsräumen sowie Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten innerhalb des Zerlegehauses in stark

kontaminierten Bereichen bzw. Bereichen mit hoher Ortsdosisleistung aufgrund noch vorhandener Reaktorkomponenten.

Tab. A.3 Aufteilung der Kollektivdosen auf die einzelnen Abbauphasen nach /STAN 4068/

Demontage- phase	Zeitraum	Titel	Gruppenäquiva- lentdosis/μSv
1		Baustelleneinrichtung	222
2/1		Demontage inaktiver Teile	1.253
2/2	88 – 90	Demontage kontaminierter Teile	41.240
2/3	90 – 93	Fernbedienter Abbau Reaktor inkl. Zerlegung therm. Schild	365.434
2/4	4 – 11/93	Abbau der aktivierten Gebäudestrukturen	11.852
2/5	93 – 94	Dekontamination und Freimessen	824
3		Rückbau der Gebäude	0
Summe			420.825

A.2.4 Ableitungen

Der Grenzwert für die Tritiumableitungen betrug 5,5E09 Bq/Jahr /GRS 09/. Dieser wurde bis zu maximal 90 % ausgeschöpft. Die Ursache hierfür war bei den erst zum Demontagezeitpunkt aufgefundenen Schwerwasserresten im betreffenden Anlagenteil zu suchen. Im Mittel lagen die Monatswerte in den Jahren 1988 bis 1989 (Demontage kontaminierter Anlagenteile) bei 270 MBq, nach 1989 bei maximal 100 MBq und durchschnittlich bei weniger als 10 % des monatlichen Grenzwertes.

Zur Vermeidung von Korrosion besaß A-2 zum Zeitpunkt des „sicheren Einschlusses“ eine automatische Lufttrocknungsanlage, deren Kondenswasser gemäß atom- und wasserrechtlichen Genehmigungen an das benachbarte Kernkraftwerk zur Entsorgung abgegeben wurde.

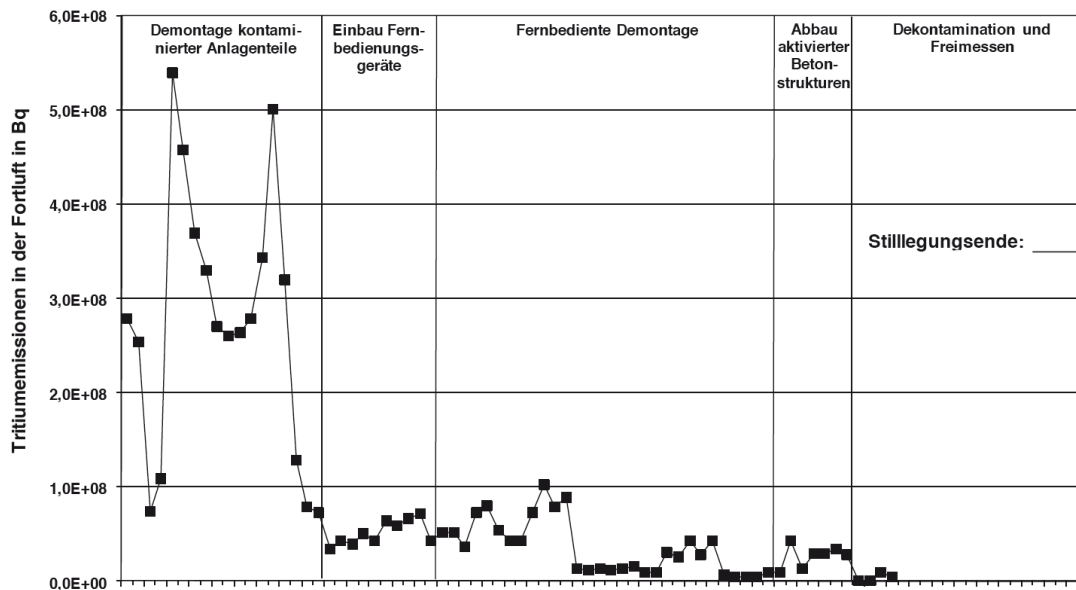


Abb. A.4 Tritiumemissionen im Verlauf der Stilllegung in A-2 /GRS 09/

Auch die im Verlauf der Stilllegung anfallenden Betriebsabwässer (hauptsächlich Dusch- und Waschwässer) wurden auf der Basis atom- und wasserrechtlicher Genehmigungen mit Tankwagen zur Abwasseraufbereitungsanlage des benachbarten Kernkraftwerks transportiert, aufbereitet und im Rahmen von dessen Betriebsgenehmigung entsorgt. Der Beitrag an Aktivität von A-2 galt dabei als vernachlässigbar.

Auswertung

Die Ableitungen während der Abbauphase von A-2 lagen stets unterhalb der maximal zulässigen Werte. Allerdings wurde der zulässige Wert zwischenzeitlich zu bis zu 90 % ausgeschöpft, während der Ausschöpfungsgrad ansonsten unter 10 % lag. Der auffällige Wert lässt sich mit dem Auffinden von kontaminiertem Schwerwasser erklären. Auf das Stilllegungstempo hatte der Befund geringen Einfluss (ca. vier Monate Verzögerung).

A.2.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Es wurden ca. 88.250 Mg Reststoffe und Abfall beseitigt, davon waren nur ca. 2 % als radioaktiv deklariert. Im Ergebnis einer radiologischen Charakterisierung wurde Anfang der 1980er Jahre ein Gesamtinventar von $7,4E+13$ Bq festgestellt, das sich zum größten Teil (99 %) in den aktivierten Komponenten des Reaktors befand. Der Nuklidvektor setzte sich dabei aus 80 % Fe-55 sowie je 10 % Co-60 und Ni-63 zusammen /IST 12/.

Kontaminationen beliefen sich innerhalb der medienführenden Systeme zu diesem Zeitpunkt nur auf eine Aktivität von etwas mehr als 1.000 Bq.

Der Antrag auf Erteilung einer Genehmigung für die Stilllegung von A-2 umfasste für die Freigabe höhere Freigabewerte als die später genehmigten. Der genehmigte (und beantragte) flächenbezogene Freigabewert lag bei 0,37 Bq/cm². Der genehmigte massenbezogene Freigabewert lag bei dem 10⁻⁵-fachen der Werte aus Anlage IV, Tabelle IV der damals gültigen Strahlenschutzverordnung, wobei der 10-fach Wert beantragt worden war. Die Genehmigung ließ dabei eine Einzelfallbetrachtung unter Einhaltung des 10 µSv-Konzepts zu. Die Genehmigung schreibt die Berücksichtigung aller Radionuklide vor, wobei insbesondere eine Betrachtung von H-3, Mn-54, Fe-55, Co-58, Co-60, Ni-59, Ni-63, Nb-94, Cs-134, Ba-133, Eu-152 und Eu-154 namentlich gefordert wird. Bei der Messung der Oberflächenkontamination wurde durch die atomrechtliche Aufsicht die Nicht-Berücksichtigung von Sondernukliden für solche Fällen, in denen diese weniger als 10 % zur Energiedosis beitragen, zugelassen /IST 12/.

Insgesamt 142 Abfallgebinde konnten in das ERAM abgegeben werden /GRS 18/. Alle weiteren Abfälle lagern beim HDB des KIT.

Auswertung

Man kann feststellen, dass gegenüber der ursprünglichen Planung nur ca. dreiviertel der errechneten radioaktiven Abfallmassen angefallen sind (siehe Tab. A.4). Gemäß /IST 12/ überstieg (unabhängig davon) die Gesamtmasse anfallender Reststoffe die Planungswerte um ca. 23.000 Mg. Im zentralen Zwischenlager lagerte am 31. Dezember 2000 ein Abfallgebindevolumen von 1.469,76 m³ aus der Stilllegung von A-2. Alle Baugruben wurden mit dem granulierten Beton verfüllt. Die Straßenbeläge wurden aufgenommen und der westliche und südliche Zaunabschnitt entfernt. Ca. 20.000 m³ des insgesamt ca. 33.000 m³ rezyklierten Betons verblieben in den Baugruben auf dem Gelände. Neben den restlichen 13.000 m³ zur Waldwegebefestigung abgegebenen Betonmassen wurden alle beim Abbruch angefallenen Materialien, darunter ca. 2.800 Mg Stahl und 3.000 Mg Straßenbelag, abtransportiert und zu 100 % dem Rohstoffkreislauf wieder zugeführt.

Tab. A.4 Geschätztes und tatsächliches Abfallaufkommen A-2 /STAN 4068/

	Fass- inhalt	Geschätzt Masse [Mg]	Tatsächlich Masse [Mg]
Barytbeton, radioaktive Reststoffe	400 l	645	532
Normalbeton, radioaktive Reststoffe	400 l	561	229
Normalbeton, freigemessen	200 l	104	226
Stahl, eingeschränkte Wiederverwertung	200 l	210	146
Sonstige radioaktive Abfälle	200/180 l	37	20

Durch die in der Abbaugenehmigung niedriger festgelegten Freigabewerte zur uneingeschränkten Freigabe, wurde mehr Material „zur Beseitigung freigegeben“ und weniger „uneingeschränkt freigegeben“ als ursprünglich geplant.

A.2.6 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG

Für die Entlassung des gesamten Standorts (Gebäude und Gelände) aus dem Regelungsbereich des Atomgesetzes wurden sechs Teilfreigaben ausgesprochen. Am Ende des Rückbaus verblieben einige nicht-radioaktive Bauteile, die in der vorliegenden Literatur nicht näher benannt wurden, im Boden.

Mitte der 1990er Jahre wurde mit der Pflanzung eines Baumes das Erreichen der „Grünen Wiese“ am Standort von A-2 in einem Festakt gefeiert. Die Demontage war bereits ein Jahr zuvor durch die Bestätigung der atomrechtlichen Aufsicht, dass der Standort frei von radioaktiven Stoffen ist und damit auch aus dem Regelungsbereich des Atomgesetzes entlassen wurde, abgeschlossen. Die Gesamtdauer der Demontage belief sich damit auf ca. neun Jahre. Der konventionelle Abriss der freigegebenen Gebäude und die Rekultivierung des Geländes hatten im selben Jahr stattgefunden.

Fortgeltende Pflichten wurden nicht formuliert oder sind der GRS nicht bekannt.

A.3 Anlage A-3

A.3.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Die Anlage A-3 wurde als Demonstrationskraftwerk im Rahmen des deutschen Atomprogramms errichtet. Nach kurzer Bauzeit ging die Anlage Ende der 1960er Jahre in den Leistungsbetrieb. Dieser dauerte rund ein Jahrzehnt an. Wegen Schäden an der Dampf- anlage wurde A-3 abgeschaltet. Eine Ertüchtigung wäre technisch möglich und wirtschaftlich gewesen, die Betreiberin wollte jedoch das (kaufmännische) Risiko nicht eingehen, dass der Weiterbetrieb nicht genehmigt werden könnte. Deshalb wurde zunächst noch erwogen, die Anlage vollständig nicht-nuklear weiter zu betreiben (nach Austausch der Wärmequelle). Nachdem dies wieder verworfen worden war, wurde der sichere Einschluss beantragt und gut zwei Jahre später (Mitte der 1980er Jahre) genehmigt und umgesetzt. Als die baldige Verfügbarkeit eines Endlagers für Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Schacht Konrad) in Aussicht stand, wurde Ende der 2000er Jahre der Abbau beantragt, welcher Mitte der 2010er Jahre begann. Mit Beginn des Abbaus war A-3 somit bereits rund 40 Jahre außer Betrieb, so dass von der entsprechenden Abklingzeit profitiert werden konnte und kann. Es traten im Leistungsbetrieb 25 und in der Zeit der Stilllegung zehn meldepflichtige Ereignisse auf. Bei jeweils zwei Ereignissen im Leistungsbetrieb und in der Stilllegung kam es zu Kontaminationen innerhalb der Anlage und bei einem dieser Fälle in der frühen Betriebsphase zur Freisetzung radioaktiver Stoffe.

Die Wahl des Sicheren Einschlusses zuvor wurde von der Betreiberin folgendermaßen begründet:

- Fehlen eines Endlagers für die radioaktiven Abfälle zu Zeiten des Beginns der Stilllegungsarbeiten
- Finanzielle Gründe
- Kompensationsmöglichkeit der Betreiberin für den Arbeitsplatz-Wegfall der Belegschaft

Für den gesamten Abbau sind zwei Phasen und damit verknüpfte Abbaugenehmigungen vorgesehen. Die 2. Abbaugenehmigung wurde zwei Jahre nach Erteilung der 1. Abbaugenehmigung beantragt. Eine dritte Phase umfasst den konventionellen Abriss. Im

ersten Teilprojekt fand bzw. findet der Abbau von kontaminierten und nicht kontaminierten Systemen statt (einschließlich Dampfumformer). Im zeitlich versetzt aber parallel ablaufenden Teilprojekt 2 werden zunächst die aktivierten Systeme und später die Restsysteme und Gebäude dekontaminiert und abgebaut. Die Abbaureihenfolge entspricht damit dem Muster „von außen nach innen“.

Aufgrund der langen Abklingzeit hat sich zum Abbaubeginn das radiologisch relevante Inventar reduziert. Während Anfang der 1980er Jahre die Einbauten des RDB rund 2×10^{16} Bq und der Behälter selbst ca. $1,4 \times 10^{14}$ Bq Aktivität enthielten, betrugen 2013 die entsprechenden Aktivitäten noch $1,2 \times 10^{15}$ Bq respektive $1,5 \times 10^{12}$ Bq. Die Gesamtaktivität in der Anlage A-3 betrug 2013 noch etwa $1,5 \times 10^{15}$ Bq. Die Änderung der Gesamtaktivität ist auch auf eine zwischenzeitlich durchgeführte Systemdekontamination in Teilen der nuklearen Hilfssysteme /STAN 3047/ zurückzuführen.

Auswertung

Die Wahl des Sicheren Einschlusses nach einem ungeplanten Betriebsende als erste Stilllegungsstrategie ist im historischen Kontext eine durchaus übliche Vorgehensweise. Ein direkter Abbau wäre zur gegebenen Zeit allerdings auch schon möglich gewesen. Durch den späten Abbaubeginn rund 40 Jahre nach der endgültigen Abschaltung der Anlage, gepaart mit der geplanten Pufferlagerung von Abfällen in der Anlage, ist mit einem weiten Zeithorizont für den Abschluss der Stilllegung zu rechnen, da bis dato der Zeitraum für die Verfügbarkeit eines Endlagers unklar ist. Von der endgültigen Abschaltung bis zum Stilllegungsende werden nach GRS-Schätzung 60 Jahre und mehr liegen. Da sich am Standort von A-3 auch andere Kraftwerke derselben Betreiberin befinden, die ggfs. zumindest teilweise parallel stillgelegt werden müssen, hat der späte Abbau hinsichtlich der Belastung der Umgebung (Lärm, Verkehr, etc.) eventuell auch Vorteile, weil diese dadurch in einem insgesamt kürzeren Zeitraum vorkommen.

A.3.2 Arbeits- und Personalaufwand

Bereits seit der Anfangsphase des Sicheren Einschlusses ist in A-3 ausschließlich Fremdpersonal tätig. Während der Aufräumarbeiten im Sicheren Einschluss um den Jahrtausendwechsel waren 200 bis 400 Personen beschäftigt, ansonsten waren es etwa 150 bis 200 Personen. Mit dem Beginn der Abbauarbeiten stieg die Personenzahl wieder an und liegt nun erneut um die 400. Die Abb. A.5 zeigt den Verlauf allein für die Stilllegungsphase.

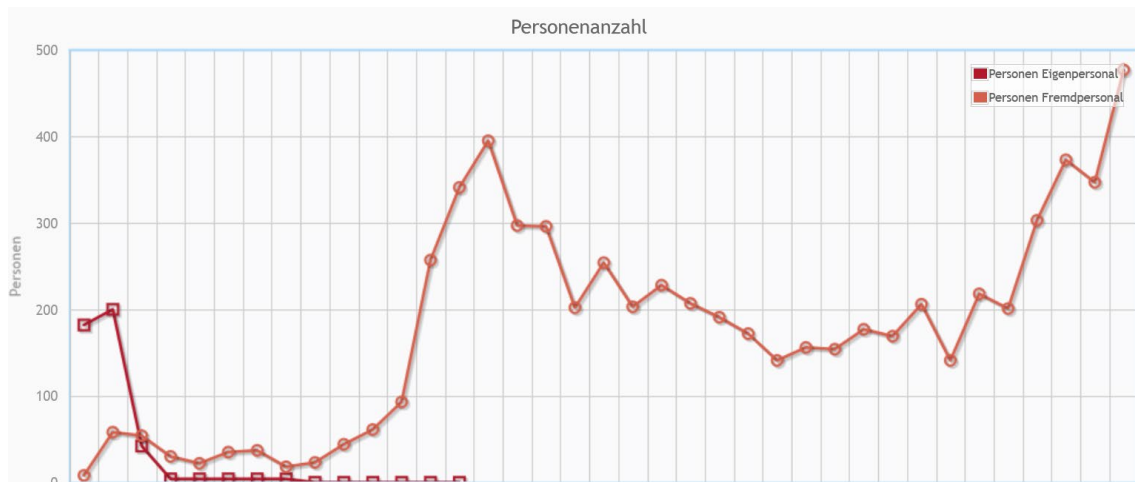


Abb. A.5 Entwicklung des Personaleinsatzes in A-3 während der Stilllegung
/WIK 23/

Auswertung

Über den Arbeitsaufwand (in Pers.h) liegen keine Informationen vor. Ebenso wenig liegen der GRS Informationen zu Planungsdaten für den Personaleinsatz vor.

Integriert man die Personenzahl während der Zeit seit Erhalt der 1. Stilllegungsgenehmigung bis zum letzten Stand, ergibt sich ein Personalaufwand von bisher rund 7000 Pers.Jahren, welche weitestgehend vom Fremdpersonal und der Phase des Sicheren Einschlusses geprägt sind.

A.3.3 Kollektivdosis

Bereits nach Ende des Leistungsbetriebs sank in A-3 die jährliche Kollektivdosis erheblich ab und liegt schon vor Beginn des Sicheren Einschlusses auf sehr niedrigem Niveau. In Folge des Sicheren Einschlusses und der damit verbundenen langen Abklingdauer, ist die Kollektivdosis bei Aufräumarbeiten in den 1990er Jahren und seit Abbaubeginn nur in geringem Maße angestiegen. Von Teilen der nuklearen Hilfssysteme wurde um die Jahrtausendwende eine Systemdekontamination durchgeführt, was während der Durchführung zu einer Erhöhung der Kollektivdosis und danach zu einer weiteren Minderung der Ortsdosisleistung und Kollektivdosis führte. Der zeitliche Verlauf der Jahreskollektivdosis für A-3 ist in Abb. A.5 für alle Betriebsphasen und in Abb. A.6 für die Stilllegung dargestellt. Zuletzt war die Kollektivdosis in Folge entsprechender Abbautätigkeiten wieder etwas höher.

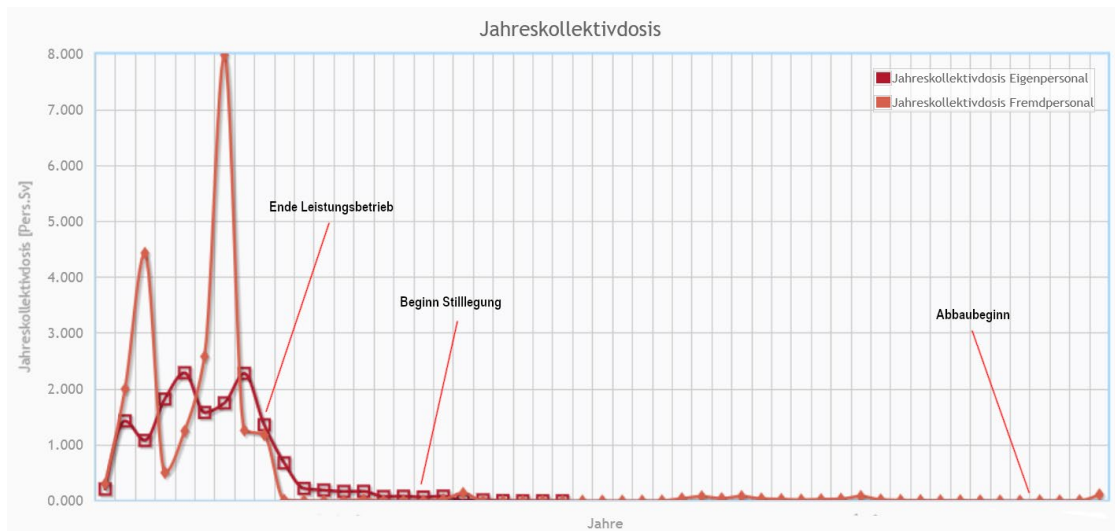


Abb. A.6 Entwicklung der Personendosen in allen Betriebsphasen von A-3 /WIK 21/

Auswertung

Die Jahreskollektivdosen des Personals waren im Sicheren Einschluss konstant niedrig und unauffällig. Die Phase der Herstellung des Sicheren Einschlusses ist durch eine leichte Erhöhung erkennbar, genauso wie die Phase der Aufräumarbeiten und der Durchführung der Teil-Systemdekontamination. Zu Abbaubeginn unterschieden sich die Kollektivdosen kaum von denen in der Phase des Sicheren Einschlusses, und diese steigen erst seit kurzem, vermutlich aufgrund entsprechender dosisintensiver Abbautätigkeiten. Der Verlauf ist insgesamt wie zu erwarten.

Bis zum letzten verfügbaren Datenstand wurden 0,97 Pers.Sv Kollektivdosis seit Erhalt der 1. Stilllegungsgenehmigung akkumuliert, wovon ca. 85 % vom Fremdpersonal aufgenommen wurden.

Der Anstieg der Kollektivdosis in den letzten dargestellten Jahren ist voraussichtlich auf den Abbau des Dampfumformers zurückzuführen, welcher sich in Bereichen erhöhter Ortsdosisleistungen befindet. Ein Anstieg ist insofern zu erwarten.

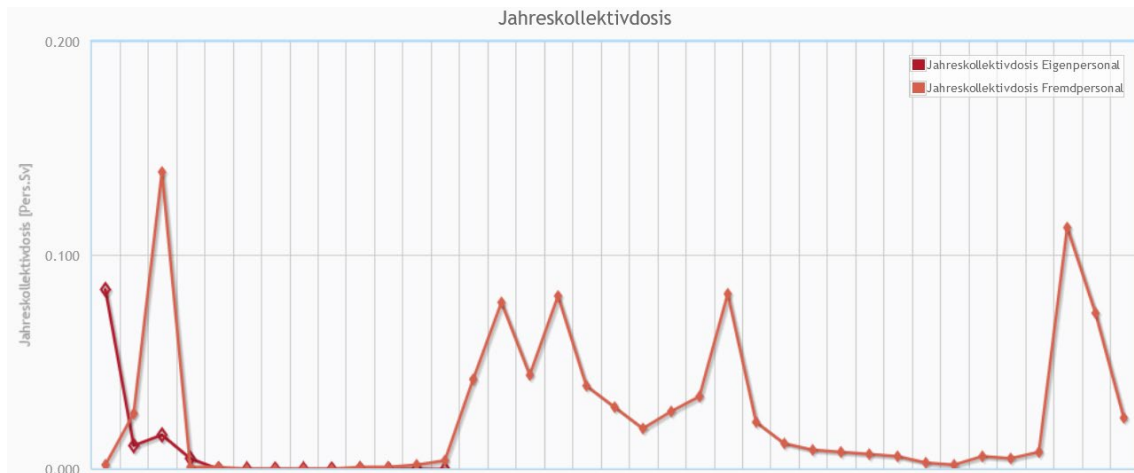


Abb. A.7 Entwicklung der Personendosen in der Stilllegung von A-3 /WIK 23/

A.3.4 Ableitungen

Die Aktivitätsabgaben aus dem Sicheren Einschluss liegen für Aerosole durchschnittlich bei 40 bis 60 Bq/a, stiegen um den Jahrtausendwechsel auf Werte zwischen 3.490 Bq/a und 43.700 Bq/a an, um in den Folgejahren (mit einer Ausnahme) unterhalb der Erkennungsgrenze zu liegen.

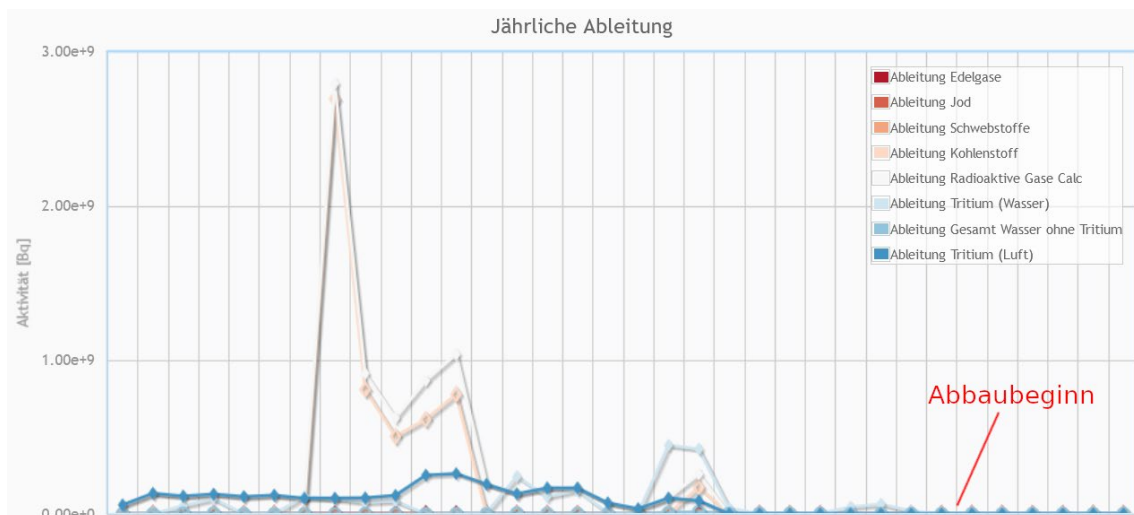


Abb. A.8 Jährliche Ableitungen aus der Anlage A-3 seit Beendigung des Leistungsbetriebs /WIK 22/

Auswertung

Der Verlauf der Aktivitätsabgaben mit der Fortluft und mit dem Abwasser zeigt während der verschiedenen Phasen der Stilllegung wenige Auffälligkeiten. Die Tritium-Abgabe ist in der Phase des Umbaus des Fortluftkamins deutlich erhöht (der letzte Peak).

A.3.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Für die gesamte Stilllegung wird mit einer Gesamtmasse von 59.000 Mg abzubauenden Materials mit ca. $1,5 \times 10^{15}$ Bq gerechnet. Hiervon können voraussichtlich über 57.000 Mg freigegeben werden. Mögliche Freigabeziele sind die uneingeschränkte Freigabe, die Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie oder zur Rezyklierung. Reststoffe und Abfälle werden intern in Abstellräumen oder extern zwischengelagert.

Zum Ende des Sicheren Einschlusses gab es bereits einen Bestand an 725 Gebinden bzw. ca. 150 Mg an Rest- und Abfallstoffen. Zur Endlagerung sind 2651 m³ konditionierte Abfälle für das Endlager Schacht Konrad vorgesehen.

Mitte der 1990er Jahre wurde die Abgabe konditionierter Betriebsabfälle aus A-3 an das ERAM geplant und beantragt. Zu einer Einlagerung kam es trotz Genehmigung nicht, weil das ERAM wenig später geschlossen wurde /IST 15/.

Auswertung

Die Anlage A-3 befindet sich noch am Anfang der Abbauphase, so dass bislang überwiegend Reststoffe und Abfälle aus dem Betrieb und von Aufräumarbeiten in der Zeit des Sicheren Einschlusses entstanden sind. Die genannten Planungswerte für das erwartete Abfallaufkommen sind – im Verhältnis zur Größe und Leistung von A-3 – niedrig.

A.3.6 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG

Als derzeitiges Stilllegungsziel werden der vollständige Abbau und die Entlassung aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes angegeben. Der Abbau wurde unter der Prämisse der baldigen Verfügbarkeit des Endlagers Schacht Konrad beantragt. Übergangsweise sollen innerhalb des Gebäudes Stilllegungsabfälle zwischengelagert werden. Eine Restfreiräumung des Reaktorgebäudes von A-3 kann deshalb voraussichtlich erst dann erfolgen, wenn das Endlager tatsächlich verfügbar ist.

A.4 Anlage A-4

A.4.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Das Kernkraftwerk A-4 war ein Prototyp eines SWR im unteren Leistungsbereich. Es ging nach nur zwei Jahren Bauzeit Anfang der 1960er Jahre in Betrieb. Dem Prototyp-charakter entsprechend wurden zur Betriebszeit auch Experimente durchgeführt, welche teilweise Umbauten erforderten. Dadurch war die Verfügbarkeit der Anlage zwischenzeitlich reduziert. Abgesehen davon wurde die Anlage auf Volllast gefahren. In der Phase des Leistungsbetriebs traten keine meldepflichtigen Ereignisse auf, die Auswirkungen auf den späteren Rückbau hatten. Insgesamt traten 34 Ereignisse auf, davon zwei in der Zeit der Stilllegung. A-4 wurde Mitte der 1980er Jahre planmäßig abgeschaltet und kurz darauf wurde die 1. Stilllegungs- und Abbaugenehmigung (SAG) beantragt, welche etwa drei Jahre später genehmigt wurde und den direkten Abbau vorsah. Rund 22 Jahre später war das Stilllegungsziel „Grüne Wiese“ erreicht. Der Abbau der Anlage kostete etwa 150 Mio. €.

Die Abbauarbeiten wurden in insgesamt vier Phasen und vier damit einhergehenden Stilllegungsgenehmigungen durchgeführt. In den ersten Phasen wurde auch eine chemische Systemdekontamination durchgeführt. Während die ersten drei Genehmigungen in Abständen von zwei bis drei Jahren erteilt wurden, erfolgte die Erteilung der letzten Abbaugenehmigung zur Jahrtausendwende und damit mit größerem Abstand. Diese sah den Abbau aller restlichen noch vorhandenen Anlagenteile, den Umgang mit Reststoffen und die Freigabe vor und war für die letzten ca. zehn Jahre Abbaubetrieb relevant. Insgesamt betrachtet sah die Abfolge der Stilllegungsschritte eine Vorgehensweise „von außen nach innen“ vor. Aktivierte Anlagenteile wurden erst in der dritten Phase abgebaut. Die Maßnahmen in den einzelnen Stilllegungsphasen sind auch in Tab. A.5 dargestellt.

Der konventionelle Gebäudeabriss nach AtG-Entlassung benötigte vier Monate. Alle unterhalb von -4 m liegenden äußeren Baustrukturen des Reaktor Gebäudes sowie Pfahlgründungen sind im Boden verblieben. Bereits vor der Entlassung aus dem AtG-Geltungsbereich wurden allerdings schon äußere Gebäudeteile des Reaktor Gebäudes entfernt.

Tab. A.5 Phasenweiser Ablauf der Stilllegung von A-4

[illegible]

Auswertung

A-4 war für einen Prototypreaktor relativ lange im Leistungsbetrieb, so dass es zu einer stärkeren Aktivierung in den Kernkomponenten und zu signifikanten Kontaminationen des Kühlkreislaufes kommen konnte. Insofern ist A-4 mit Reaktoren auch größerer Leistung durchaus vergleichbar, was den Aufwand beim Strahlenschutz im Rahmen der Abbautätigkeiten angeht. Die gesamte Abbaudauer von über 20 Jahren bei gleichzeitig relativ hohem Personaleinsatz ist dennoch lang, wenngleich neuere Anlagen noch keinen Stilllegungsabschluss erreichen konnten, mit denen ein Vergleich möglich wäre. Betreiberprognosen der großen Betreiberinnen gehen allerdings regelmäßig von Stilllegungs-Projektdauern von weniger als 20 Jahren aus, wobei die betreffenden Kernkraftwerke ein Vielfaches an Leistung und Größe aufweisen. Allerdings hatte für A-4 nicht nur der

Betrieb, sondern auch die Stilllegung einen gewissen Prototypcharakter, da es sich um eines der ersten Stilllegungsprojekte in Deutschland handelte. Zu Beginn des Abbaus von A-4 ging die Betreiberin von einer Abbaudauer von 10 bis 15 Jahren aus. Trenn- und Zerlegeverfahren wurden teilweise erstmals in der nuklearen Stilllegung eingesetzt und mussten ggfs. zunächst qualifiziert werden. Auch die genehmigungstechnische Vorgehensweise war noch weitgehend unbekannt und damit herausfordernd. Erstmals wurde in einer deutschen Anlage eine komplette chemische Systemdekontamination durchgeführt. Die Neuartigkeit verschiedener Stilllegungsmaßnahmen führten damit insgesamt zu einer verlängerten Abbaudauer. Klar einzugrenzende Ereignisse, die den Abschluss der Stilllegung verzögert hätten, sind insgesamt aber nicht erkennbar.

A.4.2 Arbeits- und Personalaufwand

Der Personalaufwand in A-4 über die Betriebs- und Stilllegungsphase stellt sich wie in Abb. A.9 gezeigt dar. In der Phase des Leistungsbetriebs variiert die Personenzahl, insbesondere die des Fremdpersonals, anders als bei Anlagen ohne Prototypcharakter, nicht zyklisch mit etwaigen Jahresrevisionen, sondern unregelmäßig zwischen 100 und 200 Personen. Mit dem Ende des Leistungsbetriebs wurden Eigen- und Fremdpersonal abgebaut. Nach Erteilung der 1. SAG verblieb das Eigenpersonal auf reduziertem Niveau, während das Fremdpersonal aufgestockt und stärker eingesetzt wurde als in der Leistungsbetriebsphase. Zum Ende der Stilllegung wurde das gesamte Personal sukzessive abgebaut.

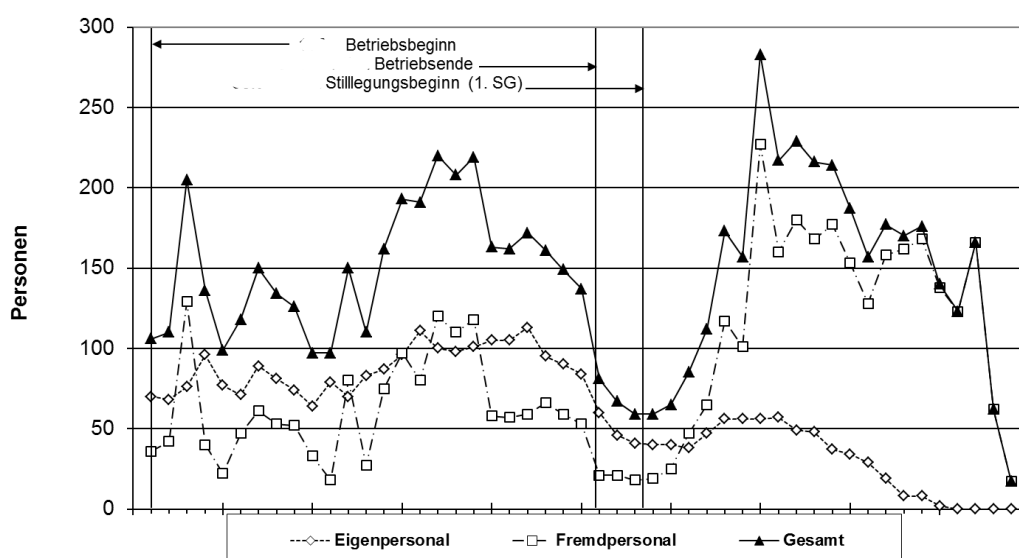


Abb. A.9 Personalaufwand in A-4 während der Betriebs- und Stilllegungsphase
/GRS 18/

Hochgerechnet über die Stilllegungsjahre wurden 3244 Pers.Jahre gearbeitet. Über den präziseren Arbeitsaufwand in Personenstunden liegen der GRS dagegen keine Informationen vor.

Auswertung

Beim Personalaufwand zeigen sich für die Leistungsbetriebsphase Spitzen, die voraussichtlich auf Experimente in der Prototypanlage zurückzuführen und insofern auch zu erwarten sind. Während des Abbaus verändern sich die Arbeitsschwerpunkte ohnehin und damit auch der Personaleinsatz. Der Einsatz von 100 bis über 250 Personen während der Stilllegung ist nicht ungewöhnlich, aber, gemessen an der Größe und Leistung von A-4, relativ hoch, vergleicht man etwa mit Anlage A-2.

Planungsdaten für den Personaleinsatz liegen der GRS derzeit nicht vor.

A.4.3 Kollektivdosis

Die Entwicklung der Kollektivdosis in der Anlage A-4 ist in Abb. A.10 dargestellt. Man erkennt, dass etwa fünf Jahre nach Beginn die Abbauarbeiten an höher kontaminierten und aktivierten Anlagenteilen durchgeführt worden sind.

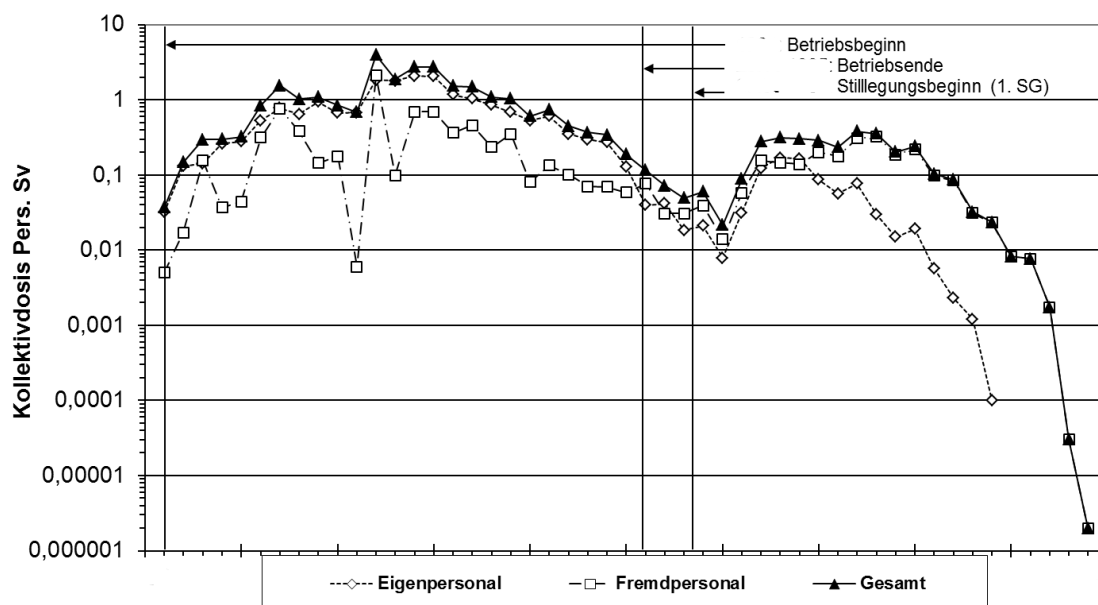


Abb. A.10 Entwicklung der Kollektivdosis für das Personal in A-4 /GRS 18/

Bei sieben Personen waren während der Rückbauarbeiten Inkorporationsdosen festzustellen. Der Wertebereich der effektiven Dosen aus Inkorporationen lag zwischen 0,8 und 2,2 mSv /GRS 18/.

Die Exposition des Eigenpersonals hat in der Stilllegung gegenüber dem Betrieb der Anlage erwartungsgemäß deutlich abgenommen. Für das Fremdpersonal, welches während der Stilllegung weitaus häufiger zum Einsatz kommt als das Eigenpersonal (u. a. wegen altersbedingtem Rückgang), zeigte sich erwartungsgemäß ein gegenläufiges Verhalten.

Mit dem Stilllegungsfortschritt sinkt die Kollektivdosis zum Ende hin ab. Über die gesamte Stilllegung wurden rund 3,1 Pers.Sv an Gesamtdosis akkumuliert, davon mehr als 2/3 vom Fremdpersonal.

Auswertung

Der Verlauf der Kollektivdosis über die Stilllegungsdauer zeigt keine Auffälligkeiten und ist typisch für die Stilllegung von Kernkraftwerken. Die kumulierte Personendosis von über 3 Pers.Sv. erscheint, besonders gemessen an der geringen Größe und Leistung der Anlage A-4, recht hoch. Ein Planungswert für A-4 liegt den Autoren nicht vor, jedoch liegt dieser bei anderen Anlagen vergleichbarer Größe oft bei < 1 Pers.Sv. Warum dieser Wert so viel höher ist, kann nicht mit einzelnen Ereignissen während der Stilllegung erklärt werden. Ein Beitrag zur Kollektivdosis ergibt sich aber durch längere Abbaudauer als die ursprünglich geplante. Zudem ist A-4 eines der ersten Stilllegungsprojekte in Deutschland überhaupt gewesen, und es fehlte an entsprechenden Erfahrungen. Viele Verfahren wurden in dieser Anlage zum ersten Mal überhaupt im nuklearen Bereich eingesetzt. Möglicherweise hat auch dies zu einer längeren Expositionsdauer des Personals, aber auch zu einem etwas stärkeren Personaleinsatz insgesamt geführt. Beides erhöht die Kollektivdosis.

A.4.4 Ableitungen

Im Verlauf der Stilllegung entwickelten sich die Ableitungen der Aerosole mit der Fortluft wie in Abb. A.11 gezeigt. Durch die sukzessive Entfernung radioaktiven Materials aus der Anlage, werden im Mittel auch weniger Aerosole abgegeben. Wie für den Abbau typisch, ist dieser Effekt überlagert durch lokale Maxima, die einzelnen Maßnahmen zugeordnet werden können, wie in Abb. A.11 dargestellt.

Die abgegebenen Aktivitäten sind zu jeder Zeit deutlich unterhalb der Genehmigungswerte.

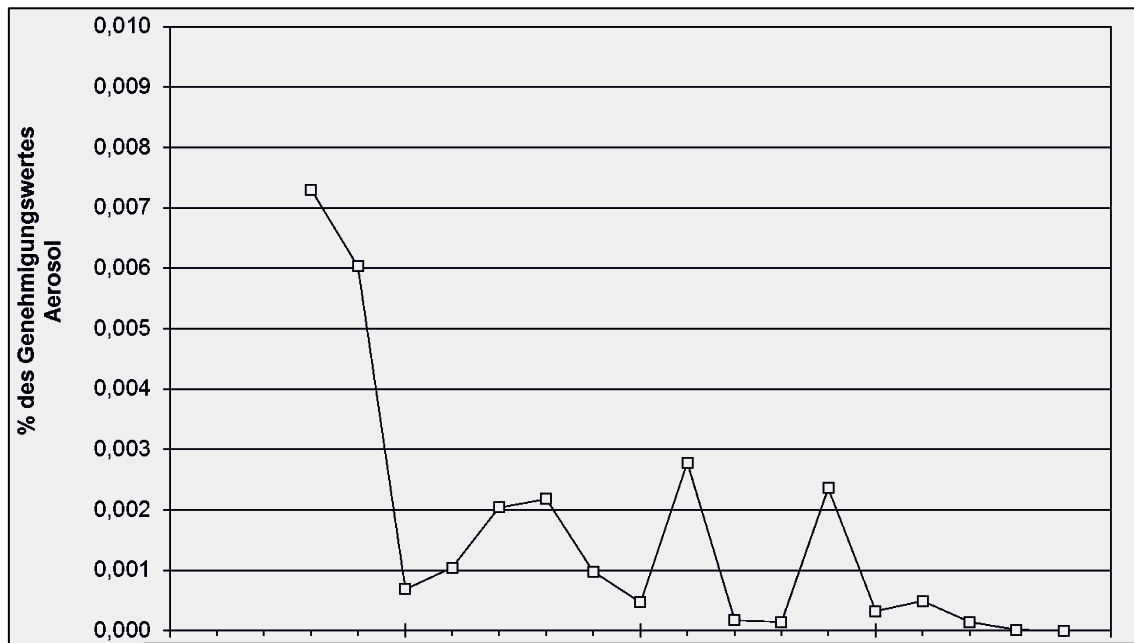


Abb. A.11 Aerosolabgabe in A-4 während der Stilllegung, relativ zum Genehmigungswert /GRS 18/

Ableitungen mit dem Abwasser wurden rund vier Jahre vor dem Gebäudeabriss gänzlich eingestellt. Bis dahin wurden die Genehmigungswerte für Tritium sowie für Spalt- und Aktivierungsprodukte im niedrigen einstelligen Prozentbereich ausgeschöpft, wie in den Abb. A.13 und Abb. A.14 zu erkennen. Die Spitze bei der Tritiumabgabe korreliert deutlich mit der Demontage der RDB-Einbauten.

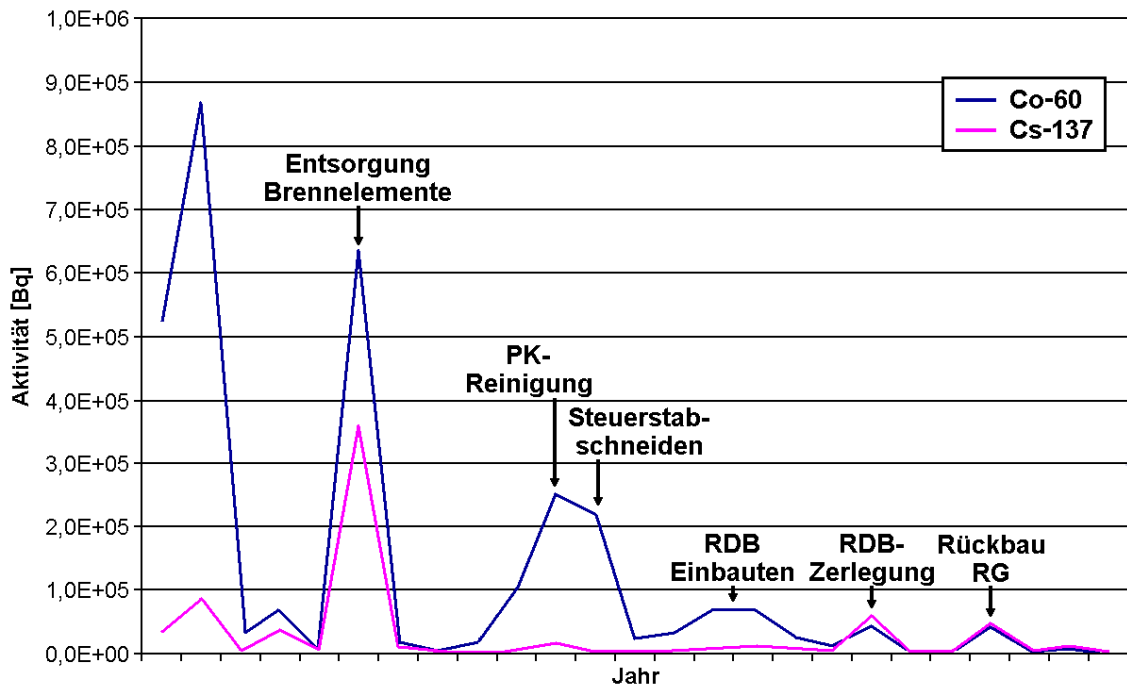


Abb. A.12 Fortluftemissionen der Nuklide Co-60 und Cs-137 der Anlage A-4 ab dem Ende des Leistungsbetriebs /GRS 18/

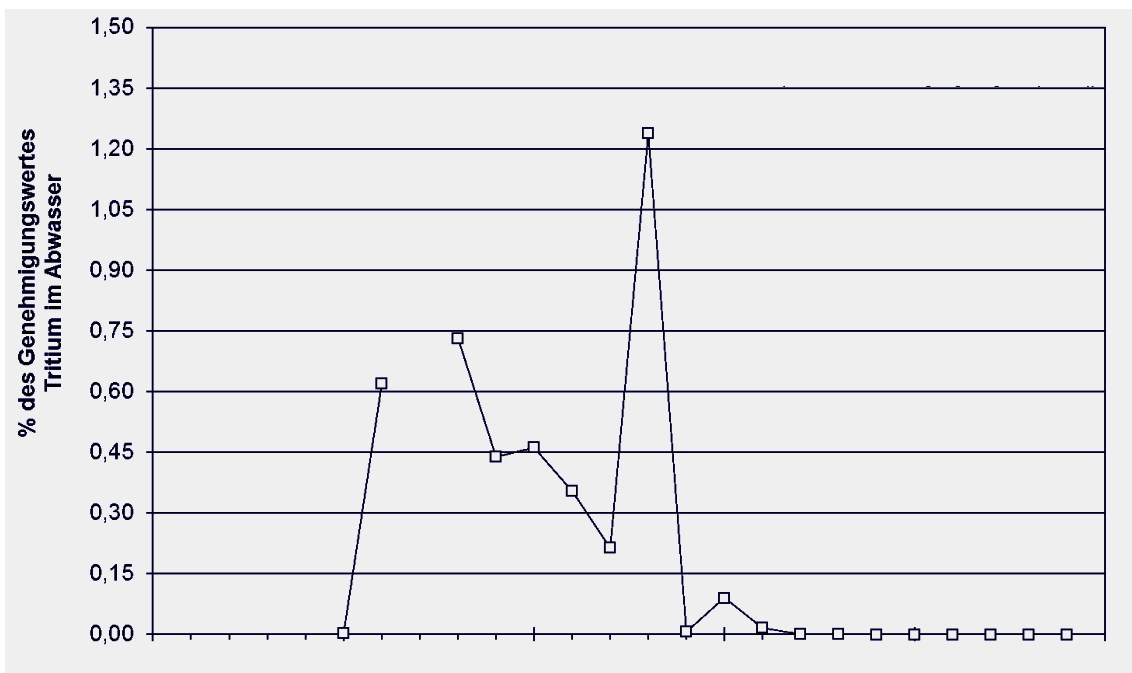


Abb. A.13 Tritiumabgabe mit dem Abwasser in A-4; Ausschöpfung des Genehmigungswerts /GRS 18/

Auswertung

Die Ableitungen mit der Fortluft sowie mit dem Abwasser liegen über die gesamte Stilllegungsphase auf sehr niedrigem Niveau und schöpfen die genehmigten Werte nicht annähernd aus. Neben einem insgesamt fallenden Trend mit dem Stilllegungsfortschritt sind lokale Maxima, teilweise spezifisch für bestimmte Radionuklide, erkennbar. Sie deuten auf gleichzeitig stattgefundene Abbautätigkeiten an höher aktivierten bzw. kontaminierten Komponenten hin. Die Verläufe sind insgesamt unauffällig.

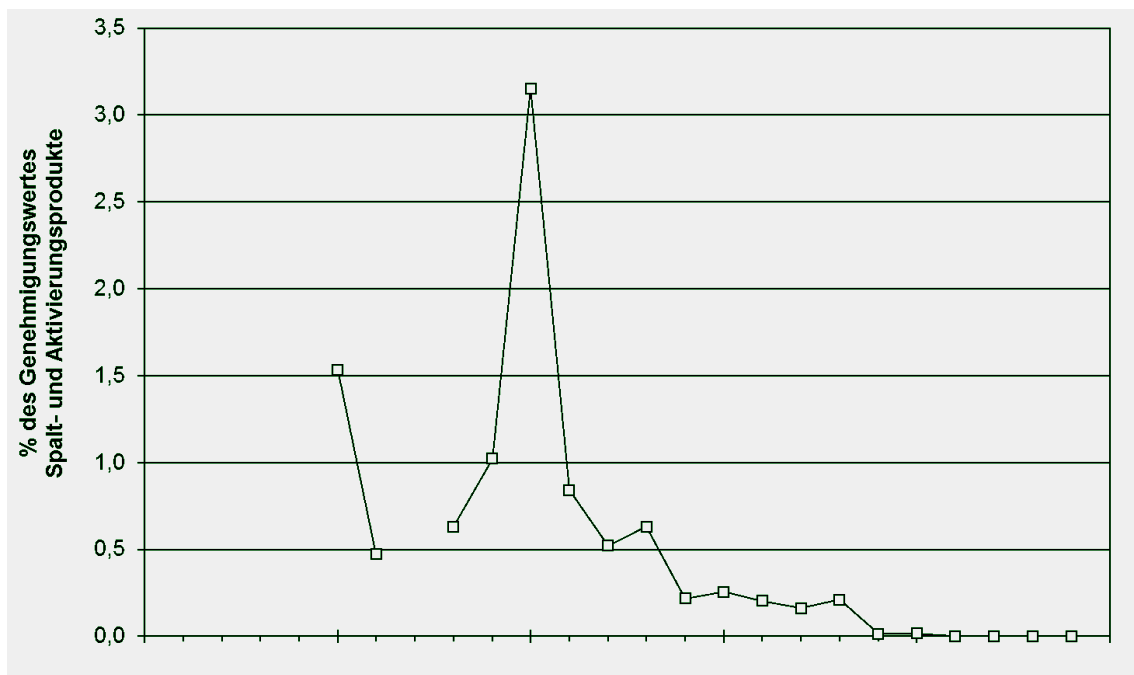


Abb. A.14 Ableitungen von Spalt- und Aktivierungsprodukten aus A-4, relativ zum Genehmigungswert /GRS 18/

A.4.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Ohne das Maschinenhaus betrug die Gesamtmasse der Anlage etwa 36.000 Mg, gut 20.000 Mg aus dem Kontrollbereich. Hiervon konnten 17.000 Mg Beton und Bauschutt, sowie 830 Mg Stahl nach § 29 der damals gültigen Strahlenschutzverordnung freigegeben werden. Als Zwischenlager dienten bzw. dienen die zentralen Lager der Landesammelstelle und von EWN sowie Kapazitäten in der Anlage A-5. Die Anlage A-4 betrieb während der Stilllegung am Standort außerdem ein eigenes Zwischenlager mit einer Kapazität von 108 m³. An radioaktiven Abfällen, die endgelagert werden müssen, fielen rund 770 Mg Beton und Bauschutt sowie fast 500 Mg Stahl an. Diese wurden bzw. werden für das Endlager Schacht Konrad konditioniert. Betriebliche Abfälle wurden teilweise

zur Wiederaufarbeitung gebracht (Kernbrennstoff) oder in die heute geschlossenen Endlager Morsleben und Asse II entsorgt (Filter, Harze, etc.).

Eine Übersicht über die Massenbilanz radioaktiver Abfälle und Reststoffe liefert Tab. A.6.

Tab. A.6 Massenbilanz radioaktiver Abfälle und Reststoffe in A-4 /GRS 18/

Wiederverwertung		Entsorgungsziel: Endlager/Zwischenlager (Rohabfälle/konditionierte Abfälle)		Freigabe	
Abfallart	abzugebende Massen [Mg]	Abfallart	abzugebende Massen [Mg]	Abfallart	abzugebende Massen [Mg]
Metalle/Schmelzschrott	381,8	Mischabfall nicht brennbar	106,1	Metalle	830,3
Material zur Dekontamination	270,0	Mischabfall brennbar	375,5	Mischabfall brennbar	23,8
		RDB-Einbauten/Coreschrott	90,5	Bauschutt	17.069,3
		Elektrokabel (Hülle)	10,9		
		Baumassen	505,1		
		Altöl, Lösemittel	1,3		
		Getrocknete Konzentrate	9,0		
		Harze	12,1		
		Abrasivmittel	6,8		
		Bioschild	267,7		
		Metalle	19,2		
Sonstige Stoffe	1,6	Sonstige Stoffe	1,2	Sonstige Stoffe	147,6
Abzugebende Massen	653,4		1.405,4	← Ausgebaute Massen und radioaktive Abfälle aus Verbrauchsmaterial und Hilfsmittel	18.071,0
Ausgebaute Massen	381,8		1.181,1		18.071,0

Auswertung

Zu Beginn der letzten Abbauphase wurde von einem Gesamtvolumen radioaktiver Abfälle von 900 m³ ausgegangen /GRS 17/. Dem gegenüber steht ein für das Endlager Schacht Konrad konditioniertes Volumen von 1.385 m³, was einem Faktor 1,54 entspricht. Die Diskrepanz entsteht wahrscheinlich durch die Konditionierung selbst und durch die Verwendung von Behältern und Umverpackungen. Gemäß /IST 12/ wurde in der Gesamtbilanz mehr an Material freigegeben als geplant und weniger radioaktiver Abfall produziert, wie in Abb. A.15 zu erkennen ist.

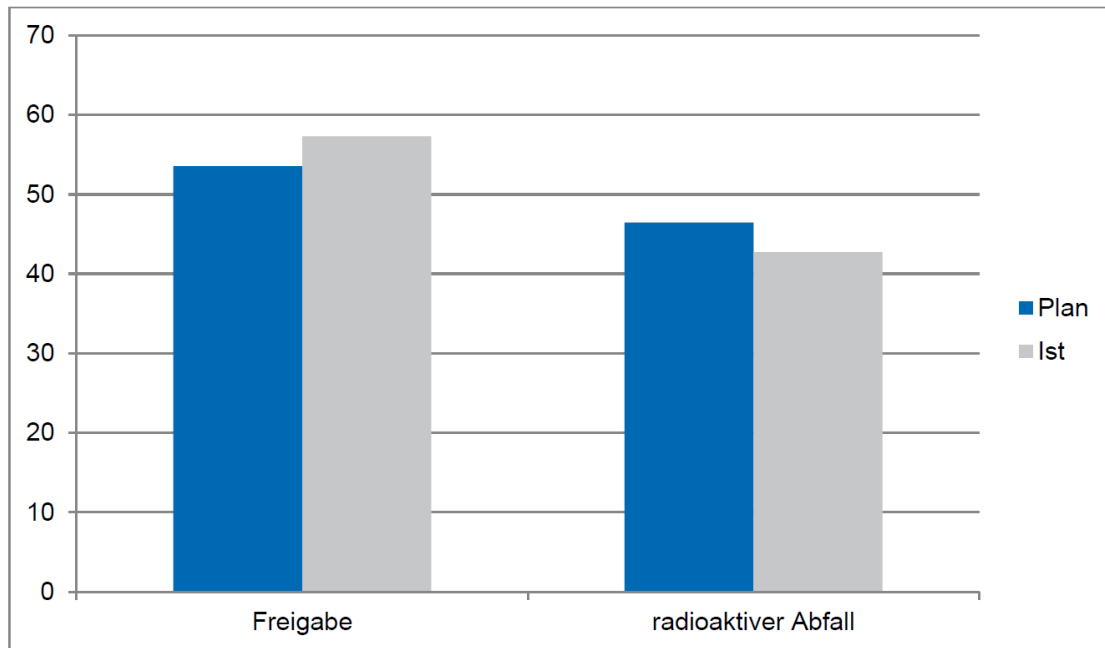


Abb. A.15 Plan und Ist der relativen Verteilung der Reststoff- bzw. Abfallmassen auf Entsorgungspfade für A-4 /IST 12/

Insgesamt wurde nach /IST 12/ das Gesamtvolumen an zu entsorgenden Reststoffen etwas unterschätzt, gleichzeitig konnte mehr Material freigegeben werden als ursprünglich angenommen. Bei den Massen zeigt sich eine weitgehende Übereinstimmung.

A.4.6 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG und fortgeltende Pflichten

Die Gebäude der Anlage A-4 wurden aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen und die sog. „grüne Wiese“ wiederhergestellt. Einige Betonstrukturen unterhalb von -4 m sind im Boden verblieben. Die meisten Reststoffe wurden im Landesabfalllager eingelagert.

Folgende fortgeltende Pflichten wurden festgelegt:

Aufbewahrungs- und Dokumentationspflichten

- Die Unterlagen sind im Archiv des Kernkraftwerkes A-9 gemäß den Grundsätzen zur Dokumentation technischer Unterlagen durch Antragsteller bzw. Genehmigungsinhaber bei Errichtung, Betrieb und Stilllegung von Kernkraftwerken aufzubewahren.
- Die Unterlagen sind der zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen.

Auflagen

- Die Übertragung der atomrechtlichen Pflichten auf einen anderen Rechtsträger sowie ein Wechsel der beim jeweiligen Rechtsträger verantwortlichen Personen ist der zuständigen Behörde rechtzeitig schriftlich mitzuteilen.
- Vor einer Auflösung der A-4 GmbH sind die fortgeltenden atomrechtlichen Pflichten durch die Gesellschafter zu übernehmen. Die Übernahme bedarf vorab der Zustimmung der zuständigen Behörde.

A.5 Anlage A-5

A.5.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Bei A-5 handelt es sich um einen SWR der ersten Generation im elektrischen Leistungsbereich von etwa 250 MW. Nach etwa 4-jähriger Bauzeit wurde die Anlage Mitte der 1960er Jahre erstmals kritisch. Der Leistungsbetrieb endete rund zehn Jahre später aufgrund eines Ereignisses mit Kühlmittelfreisetzung ins Gebäudeinnere. Die Anlage wurde entsprechend gut sieben Jahren Vollastbetrieb betrieben /IST 15/. Durch mehrere Brennelementdefekte kam es zur Ablagerung von Cs-137 auf inneren Oberflächen. Insgesamt traten 26 Ereignisse auf, eines davon in der Stilllegung. Einige Jahre nach der endgültigen Abschaltung wurde die Stilllegung beantragt und Anfang der 1980er Jahre genehmigt. Darin ist der direkte Abbau vorgesehen. Das Abbauprojekt A-5 wurde ab Ende der 1980er Jahre bis Mitte der 1990er Jahre von der EU als Pilotprojekt gefördert. Zahlreiche Verfahren des Zerlegens und der Dekontamination wurden erstmalig am Standort entwickelt und erprobt. Der Kenntniszugewinn durch die gewonnenen Erfahrungen wurde in vielfältiger Weise auch bei der Stilllegung anderer kerntechnischer Anlagen im In- und Ausland nutzbringend angewandt. Der Abbau von A-5 erfolgte in drei Phasen (mithin drei Genehmigungen), wobei die Abbaureihenfolge „von außen nach innen“ und von schwach kontaminiert zu hoch kontaminiert bzw. aktiviert gewählt wurde. Die Abbautätigkeiten wurden nach rund 30 Jahren abgeschlossen, wobei Teile der 1. SAG weiterhin relevant sind. Dies gilt insbesondere für die Genehmigung des Umgangs mit radioaktiven Stoffen. A-5 wurde im Laufe der letzten Abbauphase um ein Technologiezentrum erweitert, welches Teile des Kernkraftwerks A-5 beinhaltet. Dieses soll hauptsächlich zur Abfallkonditionierung bzw. Freimessung von Reststoffen aus dem Abbau anderer Kernkraftwerke am Standort dienen. Der Umbau im Rahmen einer Än-

derungsgenehmigung nach § 7 AtG wurde Mitte der 2010er Jahre abgeschlossen, und auch alle Abbautätigkeiten sind seither vorläufig beendet. Die Dekontaminationsarbeiten wurden wenige Jahre vor Inbetriebnahme des Technologiezentrums unterbrochen. Die Stilllegungsgenehmigung ist weiterhin in Kraft. Voraussichtlich wird die Stilllegung von A-5 zeitgleich mit der Stilllegung der anderen Anlagen am Standort enden, frühestens aber nach einer Öffnung des Endlagers Schacht Konrad, weil dort kontaminierte Abfälle direkt (ohne vorherige Zwischenlagerung) endgelagert werden sollen /IST 15/.

Auswertung

Das Kernkraftwerk A-5 hat während seiner rund 10-jährigen Laufzeit vergleichbar an Aktivität aufgebaut wie die meisten langfristig betriebenen Leistungsreaktoren. Während der Betriebszeit kam es außerdem zu Brennelementdefekten, die zu Cäsium-Kontaminationen im Kühlkreislauf führten. Mit einem Abbaubeginn Anfang der 1980er Jahre war A-5 das erste Kernkraftwerk in Stilllegung, welches sowohl eine längere Betriebsphase aufwies als auch vergleichsweise groß und leistungsstark war. Insofern hat die Stilllegung von A-5 auch Pilotcharakter gehabt, welcher auch von der EU anerkannt wurde und zu Förderungen führte. Vor diesen Hintergründen ist die bisherige Abbauphase von rund 30 Jahren nicht ungewöhnlich lang. Die Abbaumaßnahmen sind abgeschlossen, allerdings bleibt unklar, wie lange noch ausstehende Dekontaminationsarbeiten in Zukunft dauern werden. Gerade diese Arbeiten sorgen in anderen Stilllegungsprojekten häufig für Verzögerungen. Die Umwandlung der Anlage und der Betrieb eines Technologiezentrums für die Stilllegung benachbarter Blöcke ist eine Besonderheit und damit schlecht mit anderen Anlagen in Deutschland zu vergleichen.

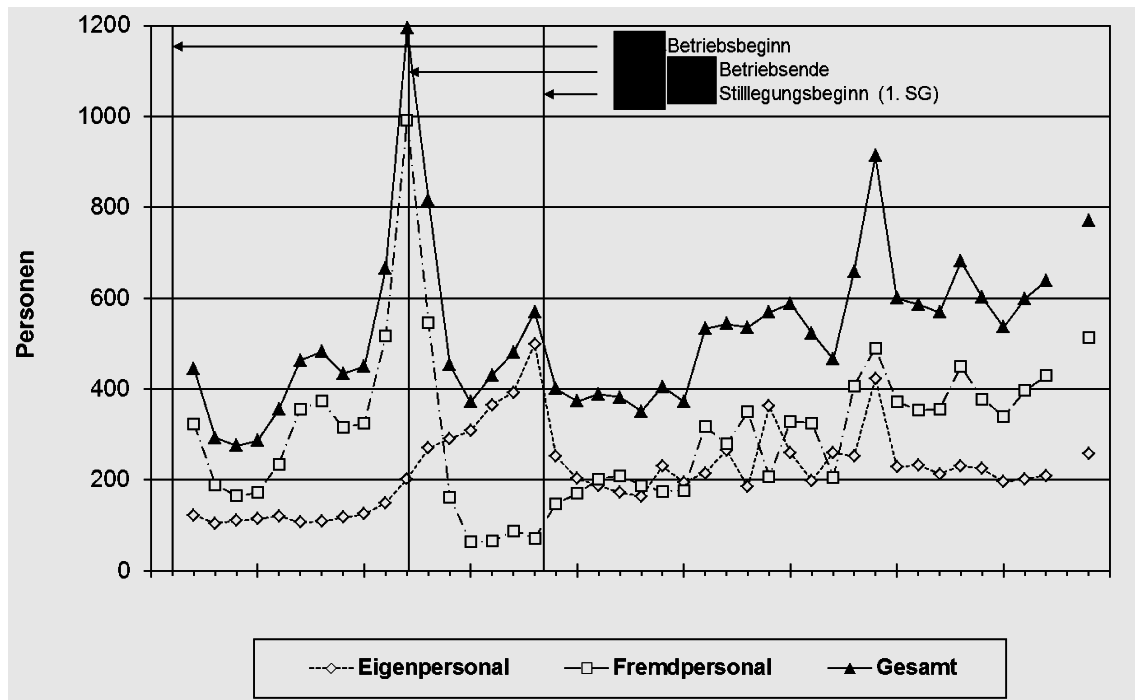


Abb. A.16 Personalbedarf in A-5 während des Leistungs- und Abbaubetriebs
/GRS 18/

Nach /IST 15/ ergaben sich Verzögerungen durch Probleme mit der Wasserqualität im Reaktorbecken während der Zerlegung von Komponenten unter Wasser. Durch Bakterienbesiedlung wurde das Wasser eingetrübt, und die Filter konnten die Verunreinigung nicht beseitigen. Durch Verdünnung, neue Filter und eine Ozonbehandlung des Wassers konnte das Problem beseitigt werden. Die Verzögerung durch die Wasserproblematik betrug etwa ein Jahr. Das Öffnen von Systemen zur Demontage führte zu weiteren Kontaminationen des Reaktorgebäudes. In der ursprünglichen Planung war ein Abschluss der Arbeiten ca. fünf Jahre früher vorgesehen. Tatsächlich waren zum prognostizierten Endzeitpunkt der RDB und der biologische Schild komplett entfernt, die Gebäude jedoch noch nicht zur Nachnutzung freigegeben.

A.5.2 Arbeits- und Personalaufwand

Für den Personalaufwand liegen der GRS Daten bis vier Jahre vor Abbauende vor. Der Personalbedarf, gegliedert nach Eigen- und Fremdpersonal, ist in Abb. A.16 dargestellt. Man erkennt einen erhöhten Personalbedarf am Betriebsende, welcher sehr wahrscheinlich mit dem Störfall zu dieser Zeit zu tun hat. Auffällig ist, dass nach Betriebsende Fremdpersonal stark ab- und Eigenpersonal deutlich aufgebaut wurde. Im Abbaubetrieb wird das Eigenpersonal zwar wieder abgebaut, verbleibt jedoch auf höherem Niveau als

zur Zeit des Leistungsbetriebs. Das Fremdpersonal wird beim Abbau wieder aufgebaut, ohne das Niveau aus dem Leistungsbetrieb zu überschreiten. Während der Stilllegung waren ca. 400 bis 900 Personen insgesamt involviert. Der Verlauf ist insgesamt eher untypisch für Leistungsreaktoren. Mögliche Ursachen werden in der Auswertung diskutiert.

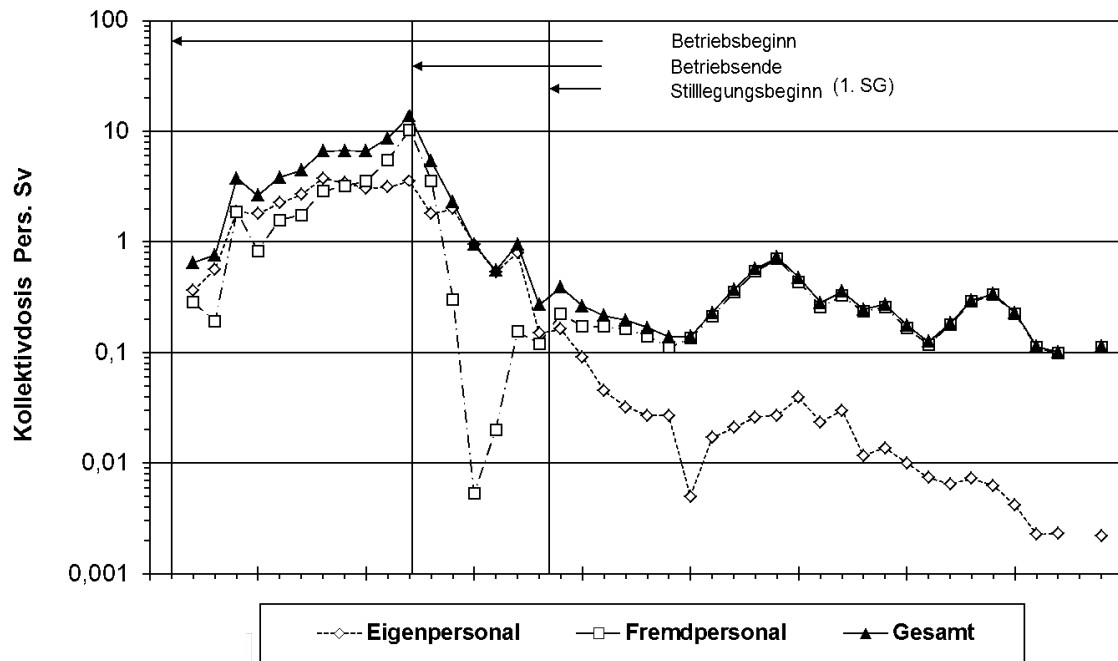


Abb. A.17 Verlauf der Jahreskollektivdosis für das Eigen- und Fremdpersonal während aller Betriebsphasen von A-5 /GRS 18/

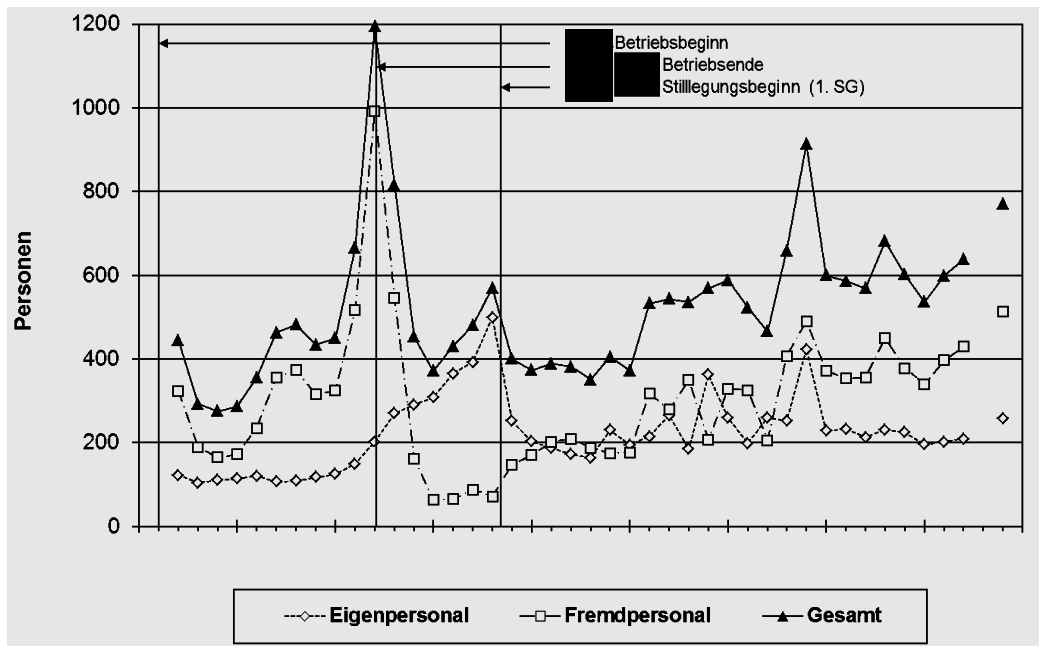


Abb. A.18 Personalbedarf in A-5 während des Leistungs- und Abbaubetriebs
/GRS 18/

Der Arbeitsaufwand in Personenstunden, beispielsweise nach Tätigkeiten, ist der GRS nicht bekannt. Integriert über die Stilllegungsjahre lässt sich ein Arbeitsaufwand von 23.405 Pers.Jahren als Abschätzung³ nach oben errechnen.

Auswertung

Der Verlauf des Personalbedarfs, während der Betriebs-, Nachbetriebs- und Stilllegungsphase, stellt sich als eher untypisch für deutsche Kernkraftwerke dar. In der Betriebsphase gibt es ein deutliches Maximum beim Fremdpersonal im Jahr des Störfalls. Zugleich wird ab dann auch das Eigenpersonal nach und nach aufgestockt. Insgesamt wurde, verglichen mit anderen Anlagen in Stilllegung zu der Zeit, viel Personal eingesetzt. Vermutlich in Folge der Phase-III-Arbeiten zum Abbau des Reaktorkerns und des biologischen Schilts wurde rund zehn Jahre vor Ende der Abbautätigkeiten mehr Personal eingesetzt, einhergehend mit einer erhöhten Tritiumabgabe über die Fortluft.

³ Die Abschätzung ist deshalb grob und sehr wahrscheinlich zu hoch, weil unklar ist, wie viele Stunden einzelne Personen im jeweiligen Jahr gearbeitet haben. Insbesondere Fremdpersonal ist nicht permanent in derselben Anlage tätig.

A.5.3 Kollektivdosis

In Abb. A.17 ist die jährliche Kollektivdosis des Personals im Leistungsbetrieb, im Nachbetrieb sowie in der Stilllegung dargestellt. Der letzte Datenpunkt liegt für vier Jahre vor dem Ende des Abbaubetriebs vor, die übrigen Daten fehlen. Da ein signifikanter Teil der Dosen ohnehin auf die Inbetriebnahme des Technologiezentrums entfällt, wären die Daten nicht repräsentativ für die Stilllegung. Nachdem die Kollektivdosis während des Nachbetriebs deutlich abfällt, zeigt sie im Stilllegungsverlauf keinen klaren Trend für das Fremdpersonal. Die Personendosen des deutlich geringer exponierten Eigenpersonals sinken dagegen kontinuierlich. Während der Abbauphase zeigt die Kurve für das Fremdpersonal typische Schwankungen, die auf die Demontage mehr oder weniger kontaminierter und aktivierter Komponenten zurückzuführen sind.

In der Stilllegungsphase akkumulierte sich die Kollektivdosis auf 7,14 Pers.Sv, davon entfielen 6,34 Pers.Sv auf das Fremdpersonal /WIK 21/.

Auswertung

Die Kollektivdosis für den direkten Abbau wurde nach den bisherigen Erfahrungen mit etwa 4,5 Sv für alle Rückbaumaßnahmen im Kontrollbereich einschließlich der Abfallbehandlung abgeschätzt /GRS 18/. Für Arbeiten während des Normalbetriebs fielen in der Regel 3 bis 4 Pers.Sv pro Jahr an. Nach GRS-Berechnungen betrug die tatsächliche Personendosis für die gesamte bisherige Abbauphase (im Wesentlichen ohne Umbau Technologiezentrum) 7,14 Sv, von denen 0,8 Pers.Sv auf das Eigenpersonal entfielen. Dies sind etwa 60 % mehr als ursprünglich prognostiziert. Eine einzelne Erklärung hierfür kann derzeit nicht gegeben werden. Klar ist jedoch, dass es sich um eine Anlage handelt, die in Folge eines Leckage-Vorkommnisses kontaminiert wurde. Inwieweit dies Einfluss auf die Exposition des Personals beim Abbau hat, kann jedoch nicht beziffert werden.

A.5.4 Ableitungen

Die Ableitungen aus A-5 mit dem Abwasser wurden nicht separat erfasst, da die Abwässer über die Nachbaranlagen abgegeben wurden. Die Ausnutzung der im Rahmen der Stilllegungsgenehmigung erlaubten maximalen Ableitungen mit der Fortluft sind für Aerosole und Tritium in Abb. A.19 und Abb. A.20 dargestellt. Während die Aerosol-Ableitungen weit unterhalb (max. 1,5 %) der Genehmigungswerte lagen, wurden die Tritium-

Genehmigungswerte zu fast 40 % ausgeschöpft. Verhältnismäßig viel Tritium wurde in zwei einzelnen Abbaujahren abgegeben.

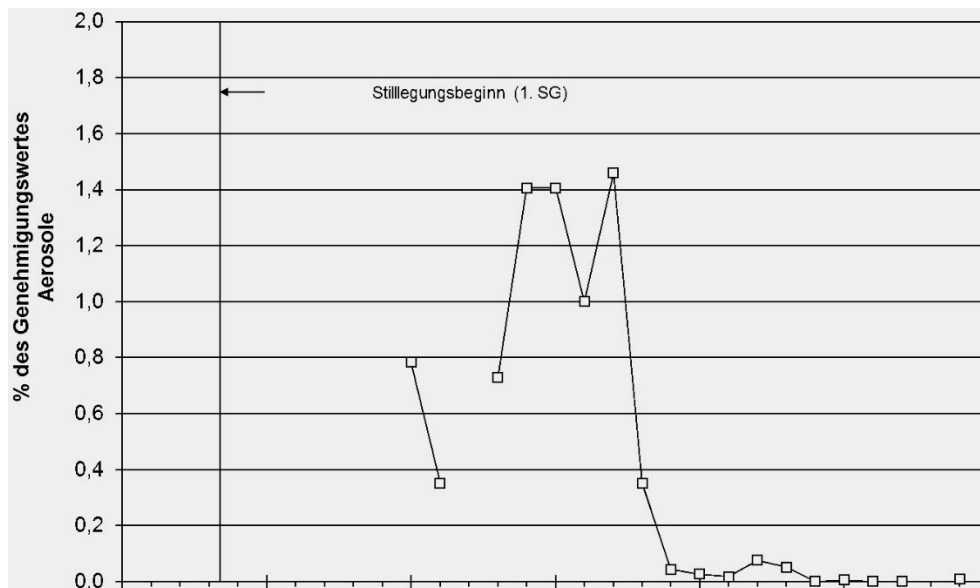


Abb. A.19 Ausnutzung der genehmigten Ableitungen von Aerosolen mit der Fortluft aus A-5 /GRS 18/

In Summe wurden im Abbauzeitraum (bis vier Jahre vor Ende der Abbau- und Umbautätigkeiten) $2,86E07$ Bq Aerosole und $3,66E11$ Bq Tritium über die Fortluft abgegeben /WIK 21/.

Auswertung

Der Verlauf der Diagramme zu Ableitungen aus der Anlage A-5 während des Abbaus zeigt keine ungewöhnlichen Auffälligkeiten. So sind bei Arbeiten in Kernnähe und dort beim Beton-Abbruch erhöhte Abgaben (bei letzterem vor Allem Tritiumabgaben) zu erwarten, welche sich auch zeigen. In den Jahren mit erhöhten Ableitungswerten (Fortluft) wurden Dampfabscheider und Dampftrockner zerlegt und abgebaut. Später erfolgte der Abbau des RDB und des biologischen Schildes.

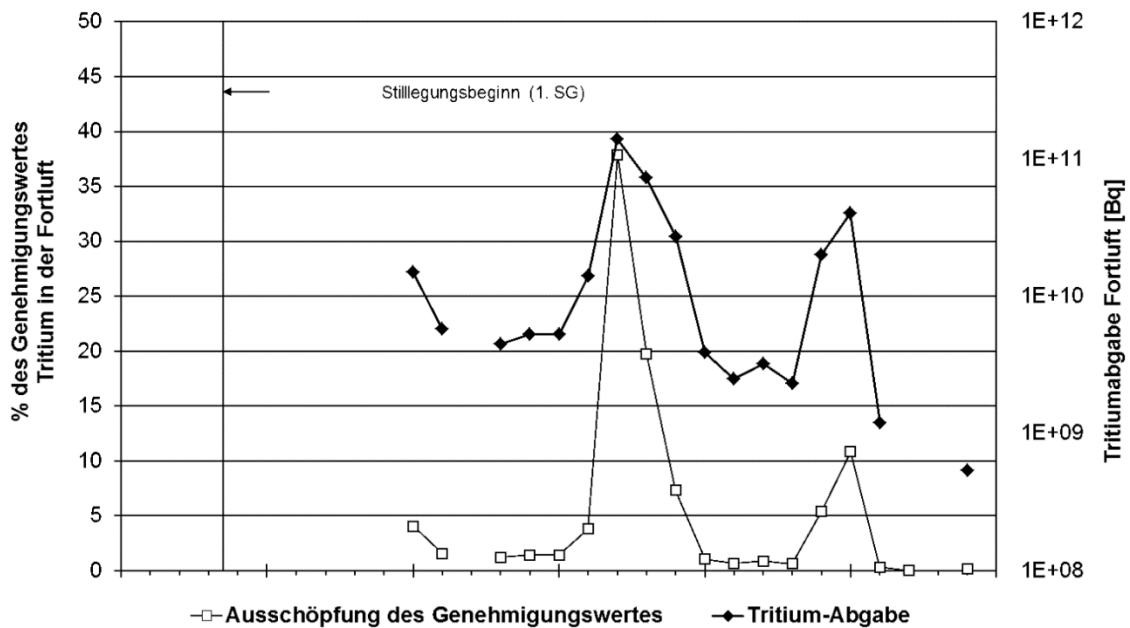


Abb. A.20 Tritiumabgabe absolut und relativ zum Genehmigungswert für A-5 /GRS 18/

A.5.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Die Gesamtmasse der Anlage A-5 beträgt ca. 58.340 Mg. Nach Tab. A.7 entfallen davon ca. 62 % auf Gebäudestrukturen. Mehr als 95 % des insgesamt anfallenden Abfalls können freigemessen werden. Nach /WIK 22/ lässt die Stilllegung der Anlage A-5 insgesamt 772 m³ radioaktiven Abfalls erwarten. In der ersten Phase des Abbaus, d. h. bei den Anlagen des Maschinenhauses, fielen ca. 4.500 Mg Material mit einer Gesamtaktivität von ca. 4E10 Bq an /GRS 18/. Von der Gesamtmenge wurden ca. 42 % Stahlschrott von einer Fremdfirma eingeschmolzen, wobei hieraus vorzugsweise Material für Endlagergebinde hergestellt wurde. Andere Schrottchargen (z. B. Teile des Sekundärdampferzeugers) werden mit einer Hochdruckpresse kompaktiert. Hierbei wird eine Volumenreduzierung von bis zu 80 % erreicht.

Tab. A.7 Abfallmassen aus der Stilllegung von A-5 /GRS 18/

Abfallart	Masse [Mg]
Gebäudestrukturen	36.000
Bauschutt (aus Oberflächenabtragung)	340
Stahl aus Containment	1.130
Sonstige Systeme (Lüftung, Abwasser u. a.)	50
Direkt als Primärabfall aus metallischen Systembauteilen	10

Für die zweite Phase des Abbaus (Anlagen des Primärkreislaufes) wurde mit einem Mengenaufkommen von 700 Mg und einer Gesamtaktivität von $1,0E12$ Bq kalkuliert. Dem gegenüber wurden im Rahmen der dritten Abbauphase (RDB und biologischer Schild) Massen im Rahmen von 600 Mg und einer Gesamtaktivität von $2,0E16$ Bq zurückgebaut /GRS 18/.

Für die Zwischenlagerung der konditionierten Abfallgebinde steht ein zentrales Zwischenlager für einen Zeitraum von ca. 30 Jahren bis zur Verfügbarkeit eines bundesdeutschen Endlagers zur Verfügung. Einige Container wurden in dieses Zwischenlager transportiert (Gesamtmasse ca. 540 Mg in 30 Stück Container Typ IV, Stand: März 2006) /GRS 14/. Mit Stand Ende 2009 lag der Bestand an festen Rohabfällen in A-5 bei 133 Mg. Die Masse an konditioniertem Abfall betrug ca. 194 Mg, und der Bestand an vorbehandelten Mischabfällen lag bei 9,6 Mg.

Bis zum Abtransport der radioaktiven Abfälle sind im Maschinenhaus für 1.080 m^3 und an anderen Stellen nochmals für ca. 165 m^3 Bereitstellungsplätze vorhanden. Der schwach aktive Abfall ist endzulagern, wobei nach /WIK 22/ mit 772 m^3 zu rechnen ist. Da der weitere Gebäudeabbruch bis zur Verfügbarkeit des Endlagers KONRAD ruht, entstammen die derzeit produzierten Abfallmassen überwiegend aus Dekontaminationsarbeiten.

Auswertung

Betriebliche Abfälle wurden in den 1970er Jahren in das Endlager Asse II eingelagert /GRS 18/. Für Stilllegungsabfälle aus A-5 ist ein Abfallgebindevolumen von insgesamt 5.840 m^3 kalkuliert worden. Dieser Wert stimmt recht gut mit den Planungswerten zu entsorgender Massen (5.800 Mg) überein, wenn man eine Abfallgebindedichte von 1 g cm^{-1} annimmt.

Gemäß /IST 15/ fielen bisher tatsächlich 9.197 Mg Reststoffe an, von denen $317,68\text{ Mg}$ radioaktiver Abfall sind. $1.821,38\text{ Mg}$ wurden uneingeschränkt und $286,21\text{ Mg}$ zur Beseitigung freigegeben. $4.351,9\text{ Mg}$ waren Metallschrott, der rezykliert werden konnte, und 2.420 Mg wurden in die Abklinglagerung gegeben. Der geringe Anteil radioaktiven Abfalls hat eine Gesamtaktivität von $1,52E11$ Bq. A-5 ist allerdings noch nicht vollständig abgebaut und durch ausstehende Dekontaminationsarbeiten sind weitere Abfälle unbekannter Menge zu erwarten.

A.5.6 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG

Die Anlage A-5 wird bis zum Abschluss der Stilllegung benachbarter Kernkraftwerke als Technologiezentrum genutzt werden. Eine Entlassung aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes wird deswegen von der Betreiberin derzeit nicht angestrebt. Weiterhin sind noch Dekontaminationsarbeiten im Reaktorgebäude fertig zu stellen, um die Voraussetzungen hierfür erfüllen zu können.

A.6 Anlage A-6

A.6.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Bei A-6 handelt es sich um einen Prototypreaktor mit geringer Leistung, welcher graphitmoderiert und gasgekühlt (He) war. Die Brennelemente waren kugelförmig. Die Zugabe von Brennelementkugeln erfolgte über eine automatische Beschickungsanlage, die je nach Bedarf frische beziehungsweise wenig abgebrannte Brennelemente in den Reaktor einführte oder – wenn die Abbrandmessenanlage den erreichbaren Abbrand feststellte – aus dem Reaktor ausschleuste.

Mit A-6 wurde das Konzept der inhärenten Sicherheit durch neue Konstruktionsmerkmale und mithilfe einer kontinuierliche Beschickung des Reaktors (wesentliches Element der Konzeption) mit Brennelementen verfolgt. Die Leistungsdichte war im Vergleich zu DWR und SWR kleiner, woraus ein Sicherheitsvorteil erzielt werden sollte. Eine weitere Besonderheit der Anlage waren die in den Reaktorbehälter integrierten Dampferzeuger. Das Kernkraftwerk wurde Mitte der 1960er Jahre in Betrieb genommen und nach etwa 22 Jahren endgültig abgeschaltet. Bereits knapp zwei Jahre vor der Abschaltung wurde die Stilllegung beantragt, genehmigt wurde diese 5,5 Jahre danach. Es traten insgesamt 88 Ereignisse, davon 37 in der Stilllegung, auf. In der frühen Betriebsphase führte eine erhöhte Ableitung von radioaktivem Tritium in die Atmosphäre zur Kontamination des Kamins und der dorthin führenden Rohrleitungen. In der Stilllegung kam es in Folge eines meldepflichtigen Ereignisses gegen Ende der 90er Jahre zur Freisetzung radioaktiver Stoffe, sowie zur Kontamination innerhalb der Anlage.

Ursprünglich war der 30-jährige sichere Einschluss als Stilllegungsstrategie vorgesehen worden, und dieser Plan wurde für einen deutlich kürzeren Zeitraum zunächst auch umgesetzt. Die Brennelemente mussten im Rahmen der Stilllegungsgenehmigung aus der

Anlage entfernt werden. Zur Herbeiführung des sicheren Einschlusses fanden Demontagearbeiten im Maschinenhaus, aber auch im Reaktorgebäude statt (Nebenanlagen). Einige Brennelemente konnten nicht aus der Anlage entfernt werden und wurden in der sicher eingeschlossenen Anlage belassen. Knapp 20 Jahre nach Erteilung der 1. Stilllegungsgenehmigung (zum sicheren Einschluss) wurde die Strategie geändert und der direkte Abbau favorisiert. Ein entsprechender Antrag wurde gestellt. Dieser sah den Abbau in insgesamt vier Phasen vor. Der RDB wurde mit Porenleichtbeton verfüllt, insbesondere, um ungebundene kontaminierte Partikel binden zu können. Später wurde dieser als Ganzes aus der Reaktorgrube gehoben und mit einem Fahrzeug in ein Zwischenlager zur 60-jährigen Abklinglagerung in einem Zwischenlager auf dem Anlagengelände gebracht. Seither finden der Restabbau und die Dekontamination der Anlage statt. Das derzeit prognostizierte Stilllegungsende wird mit dem Jahr 2032 angegeben /WIK 21/. Im Gegensatz zu anderen Anlagen mit einer Genehmigung für den sicheren Einschluss, fanden in allen Jahren vor Erteilung der 1. Abbaugenehmigung nach dem Strategiewechsel auch Umbau-, Demontage- und Verschlussarbeiten statt. Eine Phase, in der A-6 nur inspiziert und überwacht wurde, gab es praktisch nie.

Zuletzt wurden in A-6 Dekontaminationsarbeiten durchgeführt und der Betonabbruch vorbereitet.

Auswertung

Die Anlage A-6 ist beispielhaft für die Vollziehung eines Strategiewechsels in der Stilllegungsphase. Der Wechsel von einem längerfristigen sicheren Einschluss hin zum direkten Abbau erfolgte, nachdem feststand, dass das Endlager Schacht Konrad in absehbarer Zeit für Stilllegungsabfälle bereitstehen würde und ist somit von politischen bzw. rechtlichen Entscheidungen mitgeprägt worden. Im Ergebnis von Studien zur Entwicklung von Alternativen zum sicheren Einschluss wurde festgestellt, dass eine 30-jährige Einschlusszeit gegenüber einer direkten Beseitigung aller AVR-Anlagen keine entscheidenden Vorteile in Bezug auf die Reduktion des Aktivitätsinventars und somit eine wesentliche Verbesserung bezüglich der Exposition des Personals erbringt. Damit verbunden sind keine Kostenvorteile einer Demontage nach der Einschlusszeit zu erwarten, da nach wie vor die fernhantierten Demontagetechniken zum Einsatz kommen müssen. Darüber hinaus ist das anlagenkundige Personal nach einer Periode des sicheren Einschlusses nicht mehr am Standort verfügbar.

Trotz der mittelfristig erwartbaren Endlagerverfügbarkeit können nach aktuellem Stand nicht alle Stilllegungsabfälle aus A-6 in dieses Endlager verbracht werden, da es sich zum Teil um Grafit handelt, welches die Annahmekriterien von Konrad nicht erfüllt. Deshalb wird bei der derzeitigen Abbaustrategie auf eine Abklinglagerung des (betonverfüllten) RDB gesetzt, was im Endeffekt einem ausgelagerten, teilweisen sicheren Einschluss entspricht, dabei aber den Abbau der Restanlage weiterhin ermöglicht und potenziell den Abbauprozess beschleunigen kann. Nach der derzeitigen Prognose für die Beendigung der Stilllegung, hätte diese, einschließlich der Phase des sicheren Einschlusses, insgesamt über 50 Jahre ab der endgültigen Abschaltung beansprucht. Betrachtet man nur die Zeit ab Erteilung einer Abbaugenehmigung, wären es noch rund 25 Jahre. Bedenkt man, dass bereits vor Erteilung der 1. Abbaugenehmigung Abbaumaßnahmen erfolgten und dass es sich bei A-6 um ein eher kleines Kernkraftwerk handelt, ist dies eine vergleichsweise lange Abbauphase. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass es sich um eine Prototypanlage handelt, die mit den wenigsten anderen Anlagen in Deutschland vergleichbar ist.

A.6.2 Arbeits- und Personalaufwand

Das Eigenpersonal wurde in A-6 vor und während der Phase der Herstellung und des Betriebs des sicheren Einschlusses etwas reduziert. Es war im Leistungsbetrieb sowie in der Abbauphase relativ konstant und ähnlich stark vertreten. In den letzten Jahren stieg der Eigenpersonaleinsatz wieder an. Das Fremdpersonal wurde bereits in der Nachbetriebsphase aufgestockt und blieb während der beiden Stilllegungsphasen (sicherer Einschluss und direkter Abbau) im Bereich zwischen 100 und 180 Personen, wobei mit Beginn des direkten Abbaus tendenziell mehr Personen beschäftigt wurden. Im Übrigen unterliegt die Personaldecke beim Fremdpersonal den üblichen Schwankungen, die mit den jeweiligen Abbautätigkeiten zu tun haben. Im drittletzten aufgeführten Stilllegungsjahr ist der Einsatz signifikant geringer als davor und danach. Im Gegensatz zu anderen Anlagen im sicheren Einschluss waren in A-6 in dieser Phase viele Personen beschäftigt, was mit den währenddessen stattfindenden Räumungs- und Umbautätigkeiten in Einklang steht.

Informationen zum Arbeitsaufwand in Personenstunden liegen der GRS nicht vor.

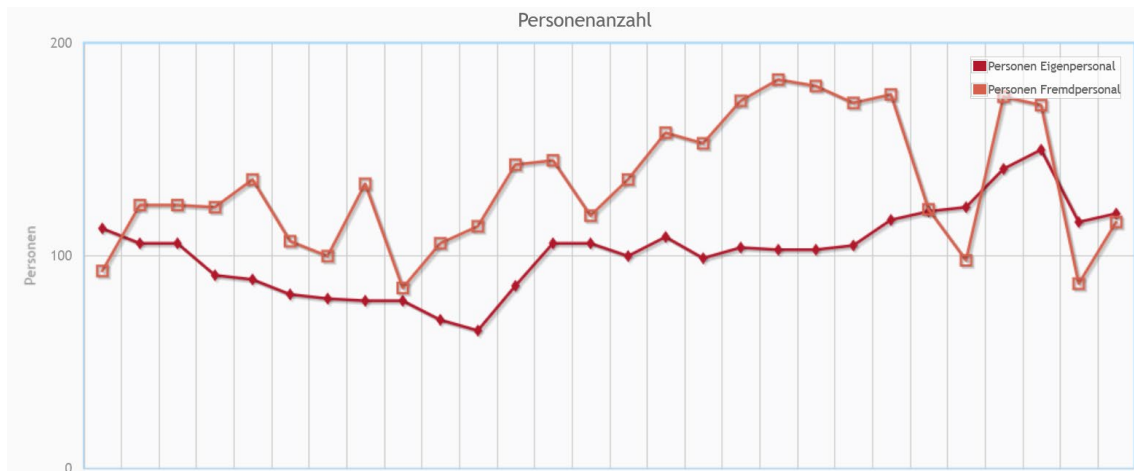


Abb. A.21 Personalbedarf in A-6 während der Stilllegung der Anlage /WIK 24/

Auswertung

Der deutliche Rückgang des Fremdpersonals im drittletzten notierten Stilllegungsjahr lässt sich darauf zurückführen, dass die Ertüchtigung der Fortluftüberwachungsanlage zu Verzögerungen und Arbeitsunterbrechungen geführt hatte und Arbeiten im Kontrollbereich zunächst gar nicht möglich waren. Auch später kam es noch zu Unterbrechungen. Ab Jahresmitte konnte wieder geregelt gearbeitet werden. Davon abgesehen ist der Verlauf für das Fremdpersonal durchaus typisch für Anlagen in Stilllegung und unterliegt Schwankungen, die mit den sich ständig ändernden Abbautätigkeiten zu tun haben. Man sieht, dass schon vor Erteilung der 1. Stilllegungsgenehmigung Arbeiten von Fremdfirmen im Rahmen der Betriebsgenehmigung durchgeführt wurden. Das Eigenpersonal schwankt weniger und ist erwartungsgemäß am geringsten während des sicheren Einschlusses vertreten. Auffallend ist im Vergleich zu anderen Anlagen mit sicherem Einschluss, dass in dieser Phase dennoch viel Personal aller Arten anwesend war. Da also Stilllegungstätigkeiten stattfanden, geht diese Phase deutlich über ein reines Überwachen (mit einer einstelligen Personenzahl) hinaus.

Integriert über die Stilllegungsjahre bis 2020 ergibt sich ein Arbeitsaufwand von 6386 Pers.Jahren.

A.6.3 Kollektivdosis

Die Entwicklung der Jahreskollektivdosis in A-6 für das Eigen- sowie das Fremdpersonal ist in Abb. A.22 dargestellt.

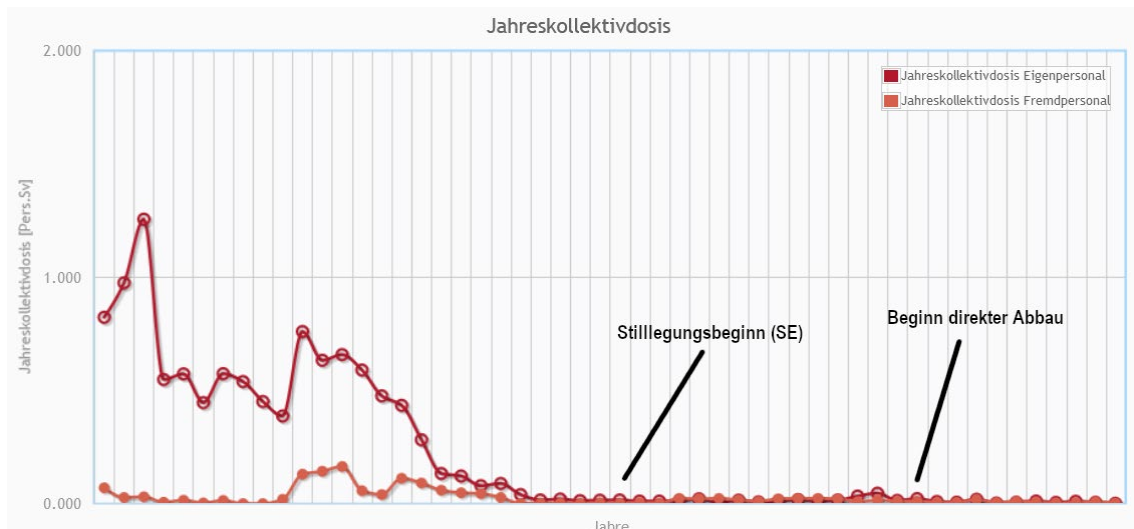


Abb. A.22 Entwicklung der Jahreskollektivdosis in A-6 während der verschiedenen Betriebsphasen /WIK 21/

Während der verschiedenen Phasen der Stilllegung bzw. dessen Vorbereitung nach der Abschaltung ist die Kollektivdosis erheblich geringer als sie während der Betriebsphase war. Dies entspricht der Erwartung, da sich dieser Verlauf bei der Mehrzahl der Anlagen zeigt. Aufgrund des Abbaufortschritts und der Entfernung hoch aktivierter Komponenten kann man davon ausgehen, dass der Großteil der gesamten Personendosen aus dem Stilllegungsbetrieb bereits angefallen ist, wenngleich die Stilllegung noch nicht abgeschlossen ist. Bis Ende 2019 lag die kumulierte Jahreskollektivdosis für das Eigenpersonal bei 365 Pers.mSv und die des Fremdpersonals bei 322 Pers.mSv (Summe 687 Pers.mSv). Dass die Kollektivdosis des Eigenpersonals ähnlich hoch und in diesem Fall sogar etwas höher liegt als die des Fremdpersonals, ist eher ungewöhnlich. Dies deutet darauf hin, dass das Eigenpersonal substantiell an Abbautätigkeiten beteiligt ist. Der Personaleinsatz ist für das Eigenpersonal gleichzeitig etwas geringer als für das Fremdpersonal.

Auswertung

Die Planungsdaten zur erwarteten Exposition des Personals beim Abbau (d. h. exklusive Sicherem Einschluss) liegen der GRS vor /WIK 22/. Demzufolge wurde eine Gesamtkollektivdosis von ca. 1800 Pers.mSv erwartet. Hiervon sollten etwa 70 % auf die erste Phase zur Vorbereitung zum Herausheben des RDB entfallen und ca. 25 % auf die dritte und aktuell noch laufende (fortgeschrittene) Phase zur Demontage und Entsorgung der restlichen Komponenten und Anlagenteile. Der Rest (5 %) sollte auf das Herausheben und Abtransportieren des RDB sowie den Abbau der baulichen Strukturen (hat bereits

begonnen) entfallen. Da der Abbau inzwischen fortgeschritten ist und die dosisintensivsten Tätigkeiten bereits abgeschlossen wurden, kann resümiert werden, dass die erwartete Personendosis mit dem Stilllegungsabschluss weit unterschritten werden wird. Sollten die Annahmen für die letzten Phasen zutreffen, ist eine „Ausschöpfung“ des angenommenen Wertes im Bereich von 50 % zu erwarten. Bislang betrug die Exposition rund 38 % des Erwarteten.

A.6.4 Ableitungen

Die radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft aus A-6 sind in den folgenden Abbildungen absolut und relativ während der Stilllegung respektive ab kurz davor dargestellt.

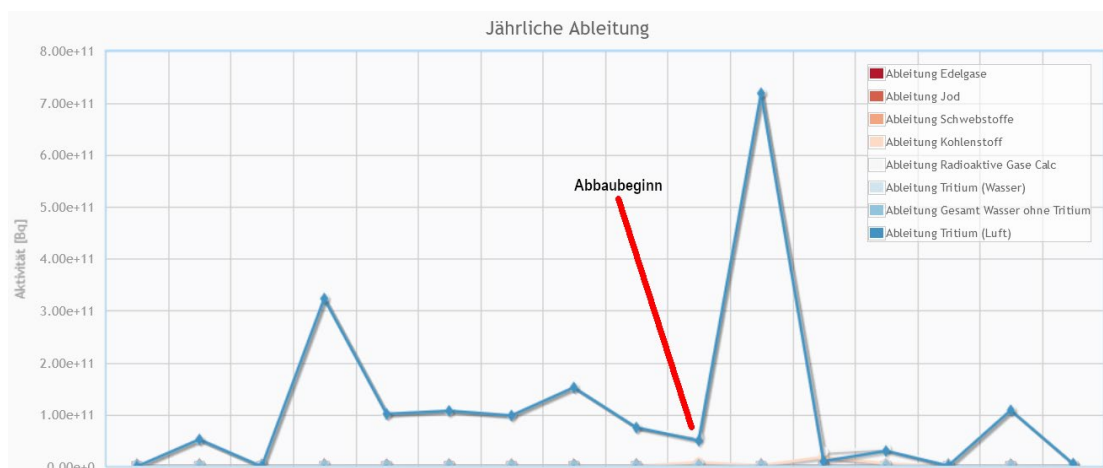


Abb. A.23 Verlauf der Ableitungen aus A-6 während der Stilllegung /WIK 22/

Sie lagen stets deutlich unter den jeweiligen Genehmigungswerten (< 20 %), zeigen aber deutliche Schwankungen, die auf die jeweiligen Abbautätigkeiten zurückzuführen sind. Augenfällig ist ein lokales Maximum bei den Ableitungen etwa ein Jahr nach Abbaubeginn. In dieser Zeit begannen die vorbereitenden Arbeiten zum Ausheben des RDBs, die vermutlich mit ersten Dekontaminationsarbeiten einhergingen.

Ableitungsdaten für das Abwasser liegen für A-6 nicht dediziert vor, da die Abgaben über eine andere Anlage erfolgen.

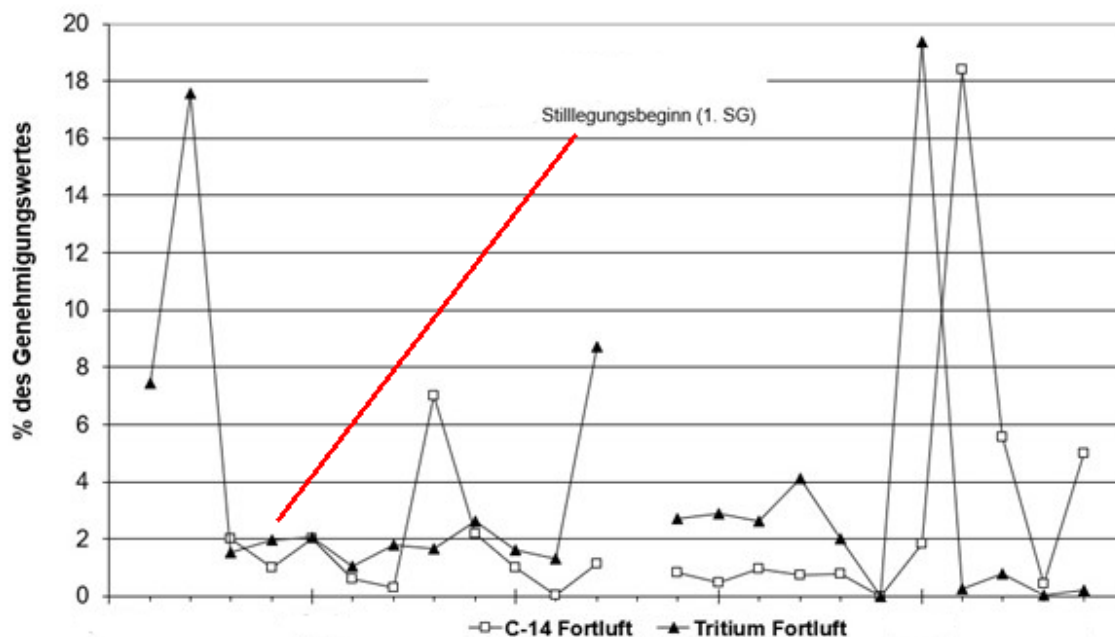


Abb. A.24 Ableitungen aus A-6, relativ zum Genehmigungswert /GRS 19/

Auswertung

Die Ableitungen mit der Fortluft schwanken während der Stilllegungsphase und zeigen ein Maximum kurz nach Abbaubeginn, als die Vorbereitungen zum Ziehen des RDB begannen. Dies betrifft insbesondere Tritium und C-14, welche sich beim Eröffnen von Betonstrukturen häufig verflüchtigen, über die Abluftanlage gemessen und abgegeben werden. Die höheren Werte sind insoweit plausibel und mit maximal 20 % Ausnutzung der jeweiligen Genehmigungswerte auch in der betreffenden Phase noch gering. Mit der Entfernung des RDB aus der Anlage ist die meiste Aktivität bereits entfernt worden. Gerade in der letzten Phase des Abbaus mit dem Abbruch von Betonstrukturen in der Nähe zum ehemaligen Reaktorkern sind weitere Ableitungen der genannten Radionuklide zu erwarten. Das ebenfalls in Kernnähe stark vertretene Radionuklid Sr-90 ist nicht flüchtig und daher weniger in den Ableitungen erwartbar.

A.6.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Über das bisherige Aufkommen von Reststoffen und Abfällen aus der Anlage A-6 liegen der GRS derzeit keine Informationen vor. Informationen zu Planungsdaten für erwartete Reststoff- und Abfallmengen finden sich im folgenden Abschnitt zur Auswertung.

Auswertung

Aus den Planungsunterlagen vor dem Abbau der Anlage gehen folgende Abbaumassen hervor (siehe Tab. A.8) /STAN 2165/.

Tab. A.8 Planungswerte der Abbaumassen aus A-6 vor Abbaubeginn

Abbau der Gebäude und Geländesanierung	Bauschutt, Nicht-metalle, Erdaushub ca. Mg	Metalle ca. Mg
Biologischer Schild 2	11.300	590
Schutzbehälter mit Ringträgern		200
Betonstrukturen Schutzbehälter	1.500	80
Ringkanal	1.200	20
Abschirmtore/-platten	32	46
Anlagenteile aus dem Schutzbehälter		200
Materialschleuse	2.280	2.320
Lüftungsanlage		100
Kamin		20
Warme Werkstatt	1.630	60
Ringbauten einschl. Bodenstrukturen	4.800	250
Maschinenhaus	7.000	400
Erdaushub einschl. Chemiekanal	2.450	
Summe	32.200	4.300

Hinzu kommt noch die Masse des verfüllten RDB von etwa 2000 Mg. Diese Reststoffe teilen sich weiter auf in solche, die deponiert werden müssen oder dem Wirtschaftskreislauf wieder zugeführt werden können. Rund 10 % der Metalle, des Bauschutts und des Erdaushubs sollten planmäßig als radioaktive Abfälle anfallen. Dies betrifft insbesondere den RDB und andere Metalle aus Kernnähe (insgesamt ca. 2500 Mg) sowie kontaminierten Erdaushub.

A.6.6 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG

Am Standort, unweit vom Standort der Anlage A-6, befindet sich das Zwischenlager für die Abklinglagerung des RDB, welches voraussichtlich deutlich länger als das im Abbau befindliche Reaktorgebäude bestehen wird. Die eigentliche Anlage wird vollständig bis hin zur „grünen Wiese“ abgebaut. Über eine mögliche Nachnutzung durch den ansässigen Forschungsstandort oder fortgeltende Pflichten ist der GRS derzeit nichts bekannt.

A.7 Anlage A-7

A.7.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

A-7 war ein Prototypreaktor, der mit Schwerwasser moderiert und gekühlt wurde und mit Natururan betrieben werden konnte. Damit erreichte der Reaktor eine elektrische Nettoleistung unter 100 MW. Ein Teil der erzeugten Wärme wurde auch zum Heizen von Gebäuden genutzt. Insgesamt wurde die Anlage rund 20 Jahre von Mitte der 1960er bis Mitte der 1980er Jahre betrieben. Rund zwei Jahre nach der endgültigen Abschaltung wurde die Stilllegung beantragt, rund 1,5 Jahre später genehmigt und in Anspruch genommen. Die Stilllegung wurde in vielen Schritten beantragt und sah zunächst einen sicheren Einschluss vor, für den vorbereitende Arbeiten durchgeführt wurden. Erst mit der 3. SAG Mitte/Ende der 1990er Jahre waren tatsächliche Abbaumaßnahmen vorgesehen. Die letzte Abbaugenehmigung wurde Ende der 2000er Jahre erteilt und erstreckt sich über den vollständigen Restabbau und Gebäudeabriss. Mit letzterem wurde vor wenigen Jahren beim Reaktorgebäude begonnen, nachdem zuvor schon Hilfsanlagengebäude abgerissen wurden. Jeweils vorauslaufend waren Dekontaminations- und Freimessarbeiten notwendig. Aufgrund von Tritiumkontaminationen wird teilweise der Bau-schutt freigemessen oder zur Deponierung freigegeben, statt an der stehenden Struktur. Der Abbau ist damit weit fortgeschritten und in seiner letzten Phase. Derzeit finden überwiegend Dekontaminations- und Freimessarbeiten statt. Einige Nebengebäude wurden kürzlich abgerissen. Es traten insgesamt 46 Ereignisse auf, davon 17 seit Beginn der Stilllegung.

Unter Herausnahme der Phase des sicheren Einschlusses bzw. dessen Vorbereitung, dauerten die Abbauarbeiten damit ca. 25 bis 30 Jahre, von denen große Anteile für Dekontaminations- und Freimesskampagnen aufgewendet wurden.

Auswertung

Die voraussichtliche gesamte Stilllegungsdauer, also von der Abschaltung bis zur „grünen Wiese“, ist mit ca. 40 Jahren nach Maßstäben jüngerer Stilllegungsprojekte und in Relation zur Größe des Reaktors, lang. Dabei ist aber zu bedenken, dass A-7 etwa 20 Jahre in Betrieb war und somit Kontamination und Aktivierung aufgebaut wurde, die mit größeren Kernkraftwerken vergleichbar ist. Die Phase des sicheren Einschlusses von etwa zehn Jahren zählt nicht zur Abbauphase (ca. 25 bis 30 Jahre). Der Reaktortyp unterscheidet sich von anderen Modellen und stellt keinen Standard dar, so dass nicht von anderweitigen Erfahrungen in jeder Hinsicht profitiert werden konnte. Die Bauweise begünstigte die Aktivierung zu Tritium im verbauten Beton in der Umgebung des Reaktorkerns mehr als in jüngeren Standardbaulinien. A-7 befindet sich mit anderen ehemaligen Prototypreaktoren und kerntechnischen Anlagen, die sich ebenfalls im Abbau befinden, auf einem gemeinsamen Anlagengelände. Inwieweit dieser Umstand zu einer reduzierten Verfügbarkeit von Personal führt, kann nicht angegeben werden.

A.7.2 Arbeits- und Personalaufwand

Die Entwicklung des Personals in A-7 ist in Abb. A.25 und Abb. A.26 dargestellt. Das Eigenpersonal wurde nach der Abschaltung reduziert und blieb es auch mit Stilllegungs- und später mit dem Abbaubeginn. Erst in den letzten Jahren stieg der Einsatz von Eigenpersonal wieder an. Auch das Fremdpersonal wurde nach der Abschaltung zunächst reduziert. Dessen Einsatz stieg danach jedoch wieder an auf ein insgesamt höheres Niveau als zu Betriebszeiten. Wie üblich, schwankt die Personenzahl stark mit den jeweiligen Tätigkeiten im Abbau. Beispielsweise wird ein Maximum des Eigenpersonals in dem Jahr erreicht, in dem umfangreiche Demontage- und Dekontaminationsarbeiten in Sammelbehälterhaus, Hilfsanlagegebäude und Filterhaus stattfanden. Auch das Fremdpersonal wird in dem Jahr vermehrt eingesetzt.

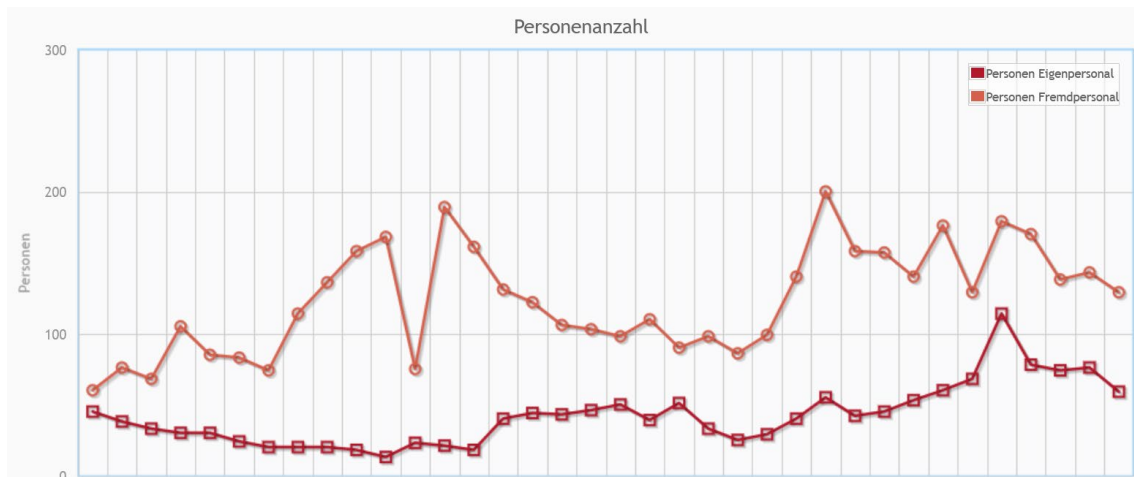


Abb. A.25 Entwicklung der Personenzahl in A-7 während der Stilllegung /WIK 23/

Zum gesamten Arbeitsaufwand (Pers.h) bzw. dessen Verlauf liegen der GRS derzeit keine Informationen vor.

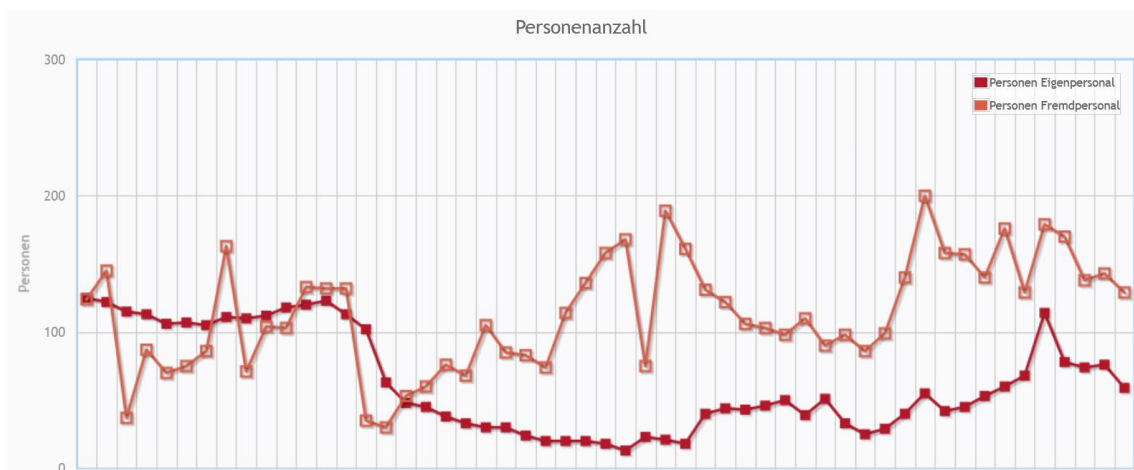


Abb. A.26 Entwicklung der Personenzahl in A-7 während (Nach-)betrieb und Stilllegung /WIK 22/

Auswertung

Die Verlaufskurven für das Eigen- und das Fremdpersonal zeigen für die Betriebsphasen des Abbaus und des Leistungsbetriebs einen jeweils typischen Verlauf. Schwankungen, insbesondere beim Fremdpersonal, sind zu erwarten und zeigen sich im Einklang mit konkreten Abbauprojekten in der Anlage. Parallel verlaufende Schwankungen beim Eigenpersonal deuten darauf hin, dass auch dieses vergleichsweise stark beim Abbau, bzw. dessen Begleitung, etwa zur Überwachung im Restbetrieb, eingebunden ist. Eher untypisch ist der recht hohe Fremdpersonaleinsatz in der Phase des sicheren Ein-

schlusses. Daran zeigt sich, dass auch in dieser Phase noch Arbeiten durchgeführt wurden. Nach GRS-Informationen waren dies im Wesentlichen Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten.

Für Arbeiten im Rahmen der 6. Abbaugenehmigung wurden 14.848 Pers.h an Arbeitsaufwand im Strahlenfeld vorab prognostiziert. Für Tätigkeiten nach der 7. Abbaugenehmigung sollten es 55.430 Pers.h sein und für die 8. Abbaugenehmigung weitere 60.320 Pers.h. In Summe wären dies damit 134.234 Pers.h Arbeitsaufwand (im Strahlenfeld) im Zuge des Abbaus nach ursprünglicher Abschätzung /WIK 22/. Die vorigen SAG (1 bis 5) umfassen Maßnahmen im Rahmen des sicheren Einschlusses. Informationen zur Prognose des Arbeitsaufwands liegen der GRS derzeit nicht vor.

Eine Aufsummierung des jährlich eingesetzten Personals bis 2020 führt zu einem bisherigen Aufwand von 5564 Pers.Jahren.

A.7.3 Kollektivdosis

Der Verlauf der Jahreskollektivdosis für Eigen- und Fremdpersonal für die Stilllegungsphase ist in Abb. A.27 für A-7 dargestellt. Nicht gezeigt ist die Kollektivdosis zur Zeit des Leistungsbetriebs, die für Eigen- und Fremdpersonal im Bereich um 1 Pers.Sv p. a. schwankte. In der Stilllegung schwankte die Exposition des Fremdpersonal insbesondere während des sicheren Einschlusses und dessen Herbeiführung mit den damit verbundenen Tätigkeiten um 0,1 Pers.Sv. Wenige Jahre nach Abbaubeginn sank die Exposition deutlich, überlagert von den üblichen Schwankungen. Bereits seit etwa zehn Jahren ist die Jahreskollektivdosis nahe null. In Summe nahm das Eigenpersonal etwa 0,1 Pers.Sv während der gesamten Stilllegung an Dosis auf. Beim Fremdpersonal sind es bisher etwa 1,7 Pers.Sv.



Abb. A.27 Verlauf der Jahreskollektivdosis für Eigen- und Fremdpersonal in A-7 während der Stilllegung /WIK 22/

Auswertung

Die Stilllegung von A-7 ist durch einen Strategiewechsel vom sicheren Einschluss zum direkten Abbau geprägt. Untypisch für den sicheren Einschluss ist indes, dass in dieser Phase viel Personal und vergleichsweise hohe Personendosen zu verzeichnen waren. In der Abbauphase sinkt die Exposition insgesamt mit dem Abbaufortschritt, aufgrund des sukzessiven Entferns radioaktiver Komponenten und Materialien. Da die Stilllegung weit fortgeschritten ist und in den letzten Jahren kaum mehr Expositionen des Personals zu verzeichnen waren, kommt die derzeitige Gesamt-Kollektivdosis (also von Eigen- und Fremdpersonal addiert) von etwa 1,8 Pers.Sv der voraussichtlichen Endsumme wahrscheinlich schon nahe. Gemäß /WIK 22/ liegt kein Planungswert für die gesamte Stilllegung vor. Detailliertere Planungswerte für die Exposition liegen für die Abbaumaßnahmen im Rahmen der 6., 7. und 8. Abbaugenehmigung vor. Diesen zufolge waren rund 0,858 Pers.Sv, respektive 0,90 Pers.Sv und 0,175 Pers.Sv für die jeweiligen Phasen eingeplant. Die tatsächlichen Expositionsdaten für diese Phasen liegen deutlich unter diesen Planungswerten. Möglicherweise wurden nach den Erfahrungen mit den relativ hohen Expositionen in der Phase des sicheren Einschlusses konservative Annahmen für die weitere Planung unternommen und zugleich der Strahlenschutz verbessert, so dass es zu einer Diskrepanz kam. In dem langen Zeitraum der Stilllegung gab es allgemein technologische Fortschritte, von denen der Strahlenschutz profitieren konnte.

Auffällig ist, dass ein Großteil der Dosis auf den sicheren Einschluss fällt. Im Gegensatz zu vielen anderen Anlagen konnten Abschätzungen der Dosis vor Stilllegungsbeginn

nicht auf Erfahrungen aufbauen, weil es sich um einen speziellen Reaktortyp handelt. Somit lässt sich erklären, dass die Schätzung nur grob erfolgen konnte.

A.7.4 Ableitungen

Für A-7 liegen ausschließlich Informationen zu Ableitungen mit der Fortluft vor, da das Abwasser über die Anlagen des gemeinsamen Standortes erfolgt. Einzelne Genehmigungswerte für Ableitungen mit dem Abwasser liegen deshalb ebenfalls nicht vor. Der GRS liegen Daten zu Ableitungen mit der Fortluft erst ab dem dritten Jahr nach Abbaubeginn vor. Deshalb beginnt das Diagramm in Abb. A.28 in dem entsprechenden Jahr.

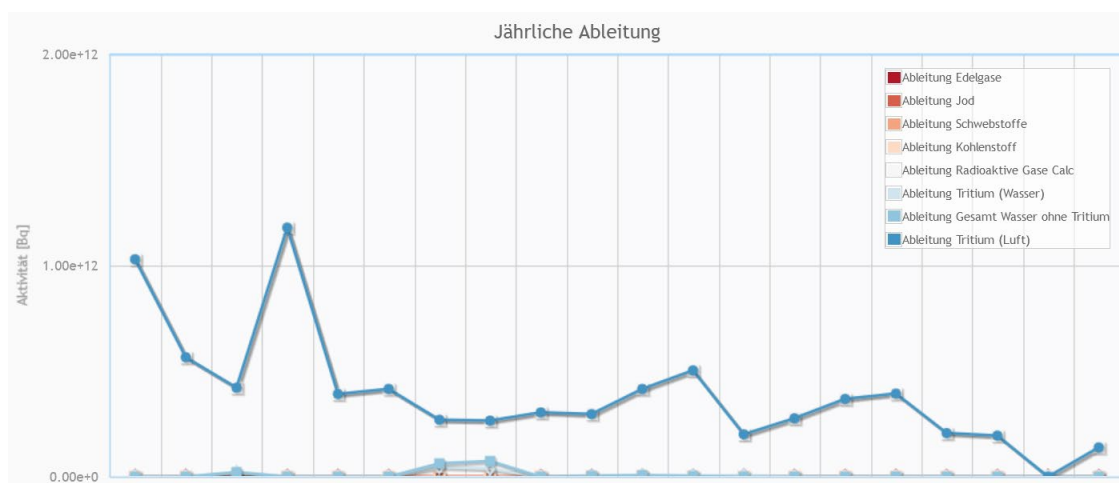


Abb. A.28 Ableitungen mit der Fortluft aus A-7 beginnend drei Jahre nach Abbaubeginn /WIK 22/

Der Verlauf der Ableitungskurve ist unauffällig und zeigt eine fallende Tendenz mit dem Fortschritt des Abbaus. Die Ausschöpfung der Genehmigungswerte (nicht dargestellt) betrug maximal 5 %.

Auswertung

Die Ableitungen über die Fortluft aus A-7 sind unauffällig. Dass Tritium bei den Ableitungen (und auch bei den Kontaminationen) eine große Rolle spielt, ist der speziellen Bauweise als Schwerwasserreaktor geschuldet, bei dessen Betrieb Tritium durch Neutroneneinfang des Deuteriums entsteht, und daher nicht ungewöhnlich ist.

A.7.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Zum Reststoff- und Abfallaufkommen aus A-7 liegen der GRS Daten mit Lücken in einigen Jahren vor. Ein dennoch recht aussagekräftiges Bild über den typischen Verlauf des Aufkommens zeigt Abb. A.29. Bis 2014 wurden insgesamt 3600 Mg Reststoffe aus der Anlage A-7 abgegeben. Für 2020 liegt der GRS die Information vor, dass 176 Mg abgegeben wurden. Der Großteil an Reststoffen besteht in den Gebäudestrukturen, die noch nicht abgebrochen wurden. Hierbei ist zu erwarten, dass der Großteil freigegeben werden kann und nicht als radioaktiver Abfall zu entsorgen sein wird.

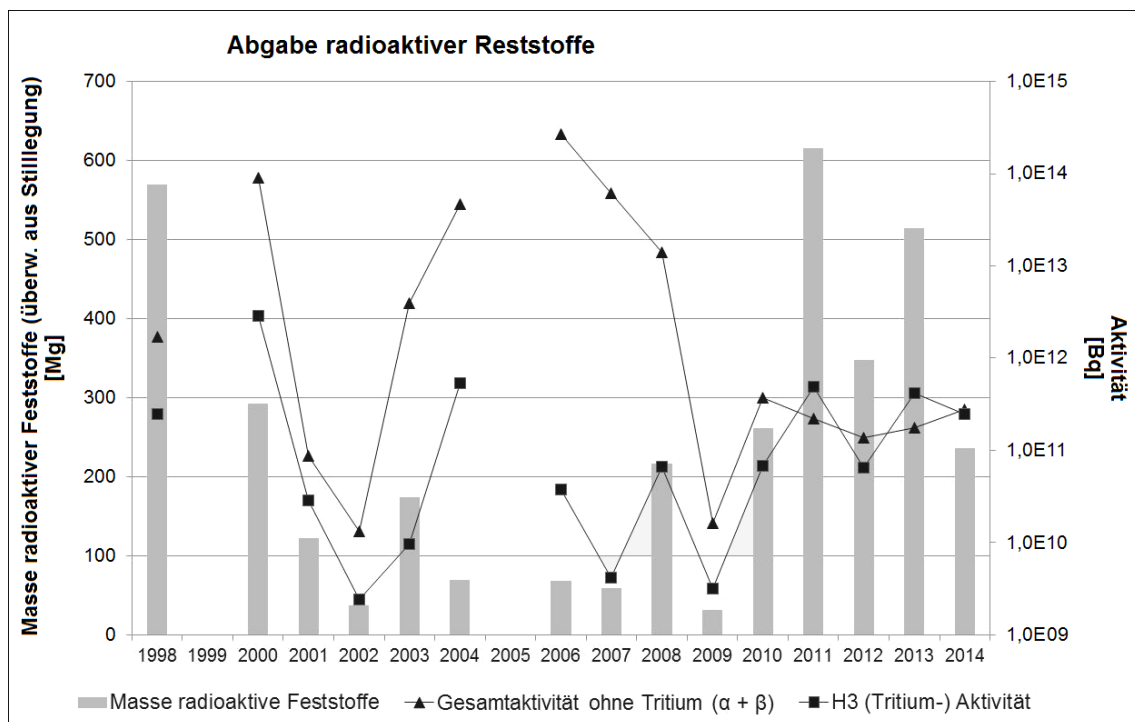


Abb. A.29 Abgabe radioaktiver Reststoffe aus A-7 in den Jahren 1998 bis 2014
/GRS 18/

Auswertung

Gemäß der Stilllegungsplanung müssen für die Stilllegung der Anlage A-7 ca. 72.000 Mg Beton (aus Kontrollbereichen etwa 42.000 Mg) sowie ca. 7.200 Mg Metall (aus Kontrollbereichen etwa 5.300 Mg) und andere Materialien beseitigt werden. Von den Betonmassen werden ca. 40.900 Mg verwertet bzw. einer konventionellen Deponie zugeführt. Nur ca. 1.000 Mg (davon 600 Mg biologischer Schild) wie auch 1.680 Mg Metall sind radioaktiver Abfall. Bei Metall und sonstigen Massen aus den Kontrollbereichen werden ca. 68 %, d. h. 3.600 Mg, wiederverwertet bzw. konventionell deponiert. Ca. 1.700 Mg wer-

den voraussichtlich als radioaktiver Abfall deklariert. Nach offiziellen Erhebungen über das Aufkommen radioaktiver Abfälle aus dem Jahr 1998 sind für die Endlagerung 4.267 m³ radioaktive Abfälle vorzusehen /WIK 22/.

A-7 weist als Besonderheit eine bauartbedingt hohe Tritiumkontamination in den baulichen Strukturen auf. Des Weiteren hat der biologische Schild auch eine statische Funktion. Diese Umstände haben Einfluss auf das Abbautempo und das Abfallaufkommen /WIK 22/.

Die Information zu den insgesamt „abgegebenen“ radioaktiven Reststoffen von schätzungsweise rund 4.000 Mg lässt keine Schlussfolgerung zu, ob die Planungswerte für radioaktive Abfälle von 1.000 Mg Beton und ca. 1.700 Mg Metall schlussendlich eingehalten werden können oder nicht. Nach der Abgabe an einen Betrieb zur Dekontamination werden weitere Anteile freigegeben und die Abfallmengen reduziert. Dadurch, dass A-7 Teil eines Anlagenkomplexes ist, ist eine genauere Aufschlüsselung der Abfallströme nicht möglich.

Tab. A.9 Planungswerte des Reststoff- und Abfallaufkommens aus A-7 vor Abbaubeginn /GRS 18/

Bauteile	Gesamt	Radioaktiver Abfall		Verwertung oder konventionelle Deponie	
	[Mg]	[Mg]	[%]	[Mg]	[%]
Betonmassen					
Reaktorgebäude	14.500	200	ca. 1,5	14.300	98,5
Reaktorblock	2.000	600	30	1.400	70
Rohrkanäle	3.000	30	< 1	2.970	99
Hilfsanlagenkomplex	14.500	100	< 1	14.400	99
Beckenhaus	8.000	150	ca. 2	7.850	98
Gesamtmasse	42.000				
Radioaktiver Abfall		1.080	2,2		
Bauschutt				40.920	97,5
Metall und sonstige Massen					
Reaktorgebäude					
RDB mit Einbauten (aktiviert)	350	350	100		
Primärsystem	480	240	50	240	50
Hilfssystem	490	290	60	200	40
Sonst. Strukturen	1.960	200	ca. 10	1.760	ca. 90
Sekundärer Abfall	100	100	100		
Gesamtmasse (Reaktorgebäude)	3.380		100		
Radioaktiver Abfall		1.180	35		
Konventioneller Abfall, Schrott				2.200	65
Hilfsanlagengebäude	1.310		100		
Radioaktiver Abfall		300	23		
Konvent. Abfall, Schrott				1.010	77
Beckenhaus	600		100		
Radioaktiver Abfall		200	30		
Konvent. Abfall, Schrott				400	70
Gesamtmasse (Kontrollbereich)	5.290		100		
Radioaktiver Abfall		1.680	32		
Konventioneller Abfall, Schrott				3.610	68

A.7.6 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG

Der Standort der Anlage A-7 ist Teil eines größeren Komplexes und soll voraussichtlich nach der Entlassung aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes anderweitig (konventionell) genutzt werden. Zu fortgeltenden Pflichten ist zum jetzigen Zeitpunkt keine Aussage möglich.

A.8 Anlage A-8

A.8.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Die Anlage A-8 war ein gasgekühlter Prototypreaktor mit mittlerer Leistung und wurde nur wenige Jahre betrieben. Der Antrag auf Stilllegungsgenehmigung erfolgte etwa ein Jahr nach Abschaltung. Die Erteilung der Genehmigung erfolgte drei Jahre später. Zur Zeit der endgültigen Abschaltung, die nach der Feststellung von Schäden im Reaktorkern Ende der 1980er Jahre erfolgte, gab es u. a. für das bestrahlte Grafit, das in der Anlage als Moderator genutzt wurde, keine Entsorgungswege. Wegen der kurzen Betriebsphase wurden kaum Rückstellungen für die Stilllegung aufgebaut, so dass finanzielle Erwägungen die strategischen Entscheidungen beeinflusst haben dürften. Die Betreiberin entschied sich entsprechend für die Stilllegungsstrategie des sicheren Einschlusses. Dieser Zustand wurde rund neun Jahre nach der endgültigen Abschaltung erreicht und dauert bis dato an. Kernbrennstoffe und Abfälle aus dem Betrieb wurden aus der Anlage entfernt und lagern überwiegend extern und zu einem kleinen Teil innerhalb der sicher eingeschlossenen Anlage. Insgesamt soll der sichere Einschluss mindestens 30 Jahre andauern und anschließend mit dem Abbau der Anlage begonnen werden. A-8 hätte dann bereits etwa 40 Jahre stillgestanden, und die Radionuklide wären entsprechend lange abgeklungen. Nach 30 bis 40 Jahren kommen zunehmend langlebigere Radionuklide zum Tragen, so dass eine längere Abklingzeit einen geringeren Nutzen bringen würde. Der sichere Einschluss wird mit sehr geringem Wartungsaufwand betrieben und geht mit wenig Personaleinsatz und Exposition einher (siehe Auswertung). Über die Dauer des Abbaus und damit der gesamten Stilllegungsphase können zum jetzigen Zeitpunkt keine Angaben gemacht werden. Da A-8 kein Standard-Reaktormodell ist, kann beim Abbau voraussichtlich kaum von Erfahrungen aus anderen Projekten profitiert werden.

Insgesamt traten 125 Ereignisse auf, davon fünf in der Zeit des sicheren Einschlusses.

Die Stilllegung wird in vier teilweise ineinander übergehenden Phasen vollzogen. In der ersten Phase wird die Anlage vom Leistungsbetrieb in den Stillstandsbetrieb überführt. Zum Ende der ersten Phase beginnt die kürzere zweite Phase. In dieser Phase wird der Reaktorkern entladen und stillgesetzt bzw. stillgelegt. Des Weiteren werden in dieser Phase teilweise Systeme und Anlagenteile abgebaut. Die dritte Phase beginnt mit dem Abschluss der zweiten Phase, bei der der sichere Einschluss hergestellt wird. Mit der dritten Phase beginnt der Betrieb des sicheren Einschlusses für einen Zeitraum für 20 Jahre. Danach musste die Betreiberin entscheiden, ob der sichere Einschluss weitergeführt wird oder der Rückbau der Anlage beantragt wird. Die Entscheidung fiel für eine Verlängerung des sicheren Einschlusses.

Auswertung

Die Beantragung und das Genehmigungsverfahren zur Stilllegung verliefen zügig. Der Zustand des sicheren Einschlusses wurde in wenigen Jahren hergestellt und dauert seither an. Der Abbau der Anlage ist für die 2030er Jahre geplant. Inzwischen ist A-8 die einzige verbliebene Anlage im sicheren Einschluss. Aufgrund der besonderen Gegebenheiten der Anlage (Bauart, Lage neben anderen Kraftwerken) bot sich diese Strategie an und kann ressourcenschonend umgesetzt werden. Da andere Anlagen unter anderen Voraussetzungen stillgelegt werden, sind diese nicht mit A-8 vergleichbar.

A.8.2 Arbeits- und Personalaufwand

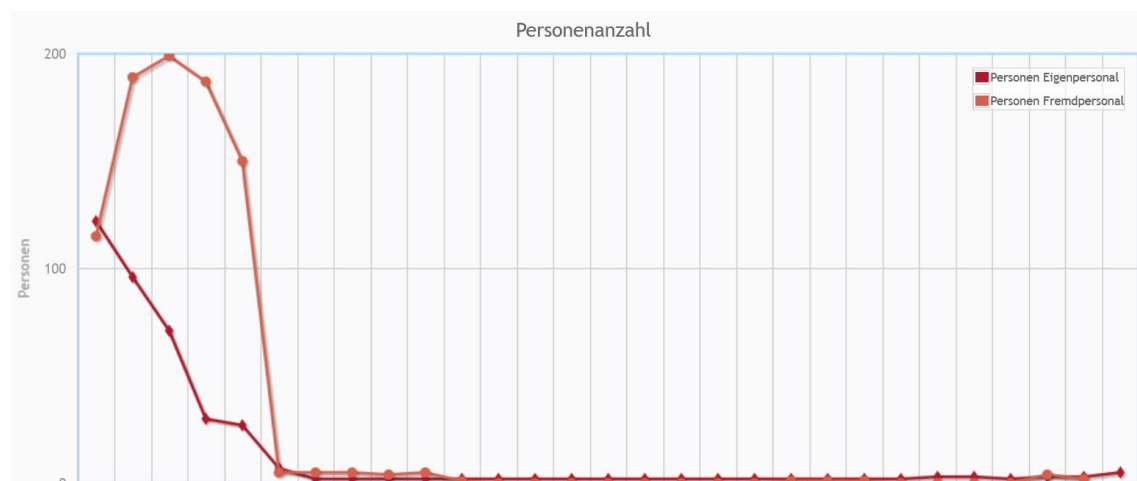


Abb. A.30 Entwicklung des Personals während der Stilllegung in A-8 /WIK 23/

Das flache Ende markiert den Betrieb des sicheren Einschlusses.

Über den gesamten Arbeitsaufwand während der bisherigen Stilllegungsphasen, welche Herstellung und Betrieb des sicheren Einschlusses betreffen, liegen keine Informationen vor. Für einzelne Jahrgänge liegen der GRS Informationen zum Arbeitsaufwand im sicheren Einschluss vor und können als Orientierungswerte dienen. Beispielsweise wurden im Jahr 2020 23 Pers.h aufgewendet, von denen drei auf Fremd- und 20 auf Eigenpersonal entfielen. Bekannt hingegen ist der jährliche Personalaufwand. Dieser ist in Abb. A.30 illustriert. Man erkennt, dass seit der Herstellung des sicheren Einschlusses nur noch Personal im einstelligen Bereich in der Anlage beschäftigt ist.

A.8.3 Auswertung Arbeits- und Personalaufwand

Der Arbeits- und Personalaufwand ist für eine Anlage im sicheren Einschluss praktisch idealtypisch gering. Welchen Einfluss die lange Abklingzeit auf den späteren Abbau haben wird, wird sich erst noch zeigen. Möglicherweise kann der Strahlenschutz des Personals später mit weniger Aufwand gewährleistet werden. Durch kürzere Vorbereitungszeiten kann die Arbeit dadurch potenziell insgesamt beschleunigt und der Aufwand in Personenstunden verringert werden. Da es jedoch keine vergleichbare Anlage gibt, die den direkten Abbau vollzieht, wird ein Vergleich nicht möglich sein.

A.8.4 Kollektivdosis

Die Entwicklung der Kollektivdosis in der Phase der Stilllegung von A-8 ist in Abb. A.31 gezeigt. Das Maximum (mit seinem niedrigen Absolutwert) markiert die Phase der Herstellung des sicheren Einschlusses, an die sich der Betrieb des sicheren Einschlusses anschließt. In dieser Phase liegen die Personendosen ständig bei null (unterhalb der Erkennungsgrenze). Der Abbau soll in den 2030er Jahren stattfinden.



Abb. A.31 Verlauf der Kollektivdosis in A-8 während der Stilllegung /WIK 23/

Der Verlauf der Kollektivdosis passt zur gewählten Strategie und ist unauffällig. Planungsdaten für die Kollektivdosis in der Phase des sicheren Einschlusses liegen derzeit nicht vor.

A.8.5 Ableitungen

Abgesehen vom ersten Stilllegungsjahr, in welchem der sichere Einschluss herbeigeführt wurde, liegen der GRS keine Informationen zu Ableitungen mit der Fortluft vor, die über Tritium-Ableitungen hinaus gehen. Die Tritium-Ableitungen sind sehr niedrig und in der Tendenz fallend.

In der sicher eingeschlossenen Anlage A-8 anfallende Abwässer werden gesammelt, gemessen, bei Bedarf in mobile Behälter gefüllt und zur Konditionierung an externe Bearbeiter abgegeben. Sofern die Abwässer den Grenzwerten entsprechen, können sie über eine Einleitungsstelle außerhalb der eingeschlossenen Anlage auf dem Gelände des Kraftwerks gemeinsam mit anderen Abwässern des Standortes an einen benachbarten Fluss abgegeben werden. In der sicher eingeschlossenen Anlage fällt seit etwa der Jahrtausendwende kein zu entsorgendes Abwasser an, somit erfolgte keine Aktivitätsabgabe in die Umgebung über diesen Pfad.

Der Abbau der Anlage steht noch an. In Folge der Arbeiten ist mit etwas größeren Ableitungen insbesondere von Tritium aus den Betonstrukturen zu rechnen.

Die Ableitungen aus A-8 entsprechen dem Erwarteten für eine Anlage im sicheren Einschluss. Eine weitere Auswertung erübrigt sich zum jetzigen Zeitpunkt. A-8 wird erst in Zukunft abgebaut.

A.8.6 Reststoff- und Abfallaufkommen

Bei der Herstellung des sicheren Einschlusses sind 1.300 Mg Reststoffe angefallen. Davon konnten ca. 60 % freigemessen und als nicht radioaktiver Abfall entsorgt werden. Weniger als 10 % wurden ins ERAM verbracht. Die restlichen ca. 30 % sind Anlagenteile, die in der Anlage verblieben sind /WIK 22/. Die bestrahlten Brennelemente finden sich in einem externen Zwischenlager. Der Abbau findet in der Zukunft statt.

Über die Gesamtmasse der Anlage A-8 und die damit verbundenen Reststoffe beim Abbau, liegen derzeit keine Informationen vor. Berechnungen zum Bedarf an Endlagervolumen im Schacht Konrad zu Folge werden insgesamt rund 6000 m³ Volumen für radioaktive Abfälle aus sicherem Einschluss und Abbau veranschlagt /WIK 22/.

A.9 Anlage A-9

A.9.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Bei der Anlage A-9 handelt es sich um einen DWR mit einer Leistung von über 1 GW. Erbaut und in Betrieb genommen wurde die Anlage in den 1980er Jahren. Bereits nach einer sehr kurzen Laufzeit wurde die Anlage noch im selben Jahrzehnt endgültig abgeschaltet. Anfang der 2000er Jahre wurde schließlich der erstmalige Antrag auf Stilllegung der Anlage gestellt. Wenige Jahre später wurde die Genehmigung zur Stilllegung der Anlage erteilt und in Anspruch genommen, etwa 15 Jahre nach der letzten Abschaltung. Entsprechend der kurzen Laufzeit in Kombination mit der Abklingphase, war mit geringer Kontamination und Aktivierung bei Stilllegungsbeginn zu rechnen.

Nach rund 20-jähriger Abbauzeit sind die Loopleitungen, die Dampferzeuger sowie die Hauptkühlmittelpumpen abgebaut, Abschirmungen entfernt und (zu Beginn) ist eine Systemdekontamination durchgeführt worden. Mit der RDB-Demontage wurde begonnen. Des Weiteren wurden zahlreiche konventionelle Gebäude bereits abgerissen und

Grundstücksflächen freigegeben. Nach GRS-Informationen ist mit dem Abschluss der Stilllegung in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre zu rechnen.

Insgesamt traten 197 Ereignisse auf, davon 16 in der Zeit der Stilllegung.

Auswertung

Die gewählte Stilllegungsstrategie sieht vor, die Anlage A-9 direkt abzubauen. Die Anlage soll in drei Abbauphasen abgebaut werden. In der ersten Phase sollte der Abbau nicht kontaminierter und kontaminierter Systeme, mit Ausnahme des Primärkreislaufs, erfolgen. Zu diesen gehören z. B. Frischdampf- und Speisewassersystem, Not- und Nachkühlsystem, Sicherheitseinspeisung, Volumenregelsystem oder Kühlmittelreinigung. In der zweiten Abbauphase sollte dann der Abbau des Primärkreislaufs mit den Dampferzeugern, den Primärkühlmittelpumpen, dem RDB mit Einbauten sowie der aktivierte Bereich des biologischen Schildes folgen.

Die dritte Abbauphase umfasst alle Maßnahmen, die zur Entlassung der noch verbliebenen Anlage aus der atomrechtlichen Aufsicht erforderlich sind. Diese beinhalten insbesondere den Abbau der Einrichtungen für die Behandlung von radioaktiven Abfällen und für die Bearbeitung von Reststoffen, soweit noch vorhanden, die schrittweise Stillsetzung und den Abbau von kontaminierten Anlagen und Systemen des Restbetriebs und das Freimessen der verbliebenen Einbauten und Gebäudestrukturen.

Derzeit befindet sich die Anlage A-9 am Ende der zweiten Phase bzw. am Beginn der dritten und letzten Phase. Während viele Anlagen mit langer Betriebshistorie eine lange Dekontaminationsphase zum Ende der Stilllegung haben, ist dies für A-9 nicht zu erwarten. Ob – wie geplant – ein Stilllegungsabschluss in wenigen Jahren erreicht werden kann, erscheint nach GRS-Einschätzung ungewiss vor dem Hintergrund der Erfahrungen in anderen Anlagen. Voraussichtlich wird die gesamte Stilllegung rund 25 Jahre in Anspruch genommen haben. Insgesamt erscheint diese Dauer unter den gegebenen Randbedingungen lang. Zu Verzögerungen kam es bei der Antragstellung für die zweite Abbauphase. Diese wurde im Verlauf mehrerer Jahre mehrfach geändert und angepasst, weswegen eine entsprechende Genehmigung erst mit erheblicher Verzögerung erteilt werden konnte. Weitere mögliche Ursachen werden in den folgenden Kapiteln erörtert.

A.9.2 Arbeits- und Personalaufwand

Nach der Inanspruchnahme der 1. SAG blieb die Anzahl des Eigenpersonals stets sehr gering und unterhalb der des Fremdpersonals. Der Trend ist insgesamt fallend, mit minimalem Anstieg in den letzten Jahren. Beim Fremdpersonal hingegen sind deutliche Trendwenden zu erkennen, die mit den jeweiligen Abbautätigkeiten verbunden sein dürften (siehe Abb. A.32).

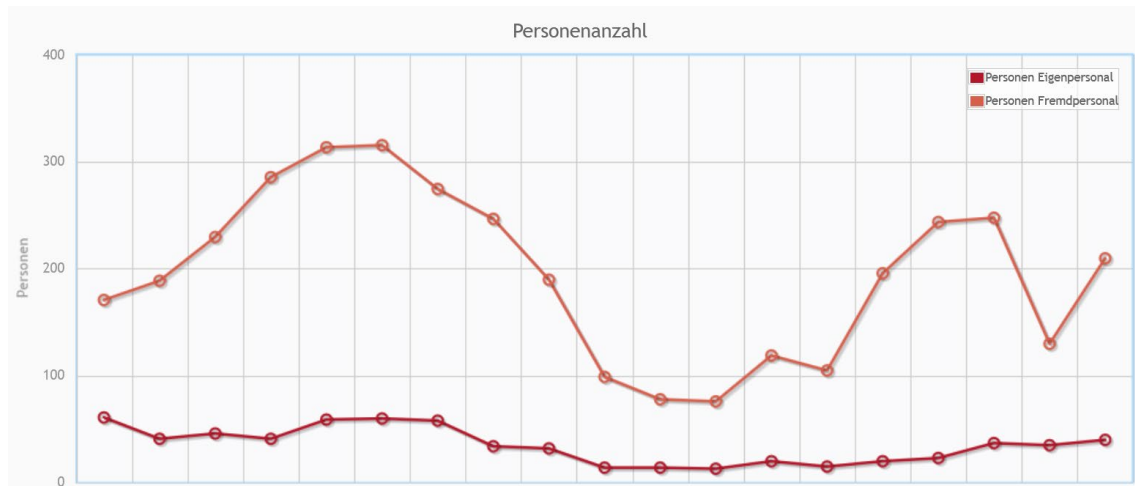


Abb. A.32 Entwicklung der Personenanzahl in A-9 während der Stilllegung /WIK 22/

Auswertung

Der steigende Personalaufwand im Bereich des Fremdpersonals zu Beginn der ersten Stilllegungs- und Abbauphase ist auf die vielen Tätigkeiten in diesem Zeitraum rund um die Stillsetzung und Demontage nicht länger benötigter Anlagenteile zurückzuführen. Im Anschluss an diesen kam es zu den genannten Verzögerungen rund um die weiteren Genehmigungen der Abbauphase 2. Dies spiegelt sich in einem Rückgang des Fremdpersonals wider. Nachdem diese Abbauphase positiv beschieden war, erfolgte dann ein erneuter Anstieg des Fremdpersonals. Die Anzahl des Eigenpersonals blieb jedoch auf einem konstant niedrigen Niveau.

Im Vergleich mit anderen Anlagen dieser Größe wird insgesamt wenig Personal in der Stilllegung eingesetzt. Der bis Ende 2020 aufsummierte jährliche Personaleinsatz ergibt einen Arbeitsaufwand von bisher 3937 Pers.Jahren. Angesichts des Zeitraums, in dem dieser Aufwand angefallen ist, ist das ein niedriger Wert. Daraus lässt sich schließen, dass A-9 insgesamt langsamer abgebaut wird, weil wenig Personal dafür eingesetzt wird.

Aus den Planungsunterlagen der Anlage gehen keine Daten zum erwarteten Arbeits- und Personalaufwand hervor.

A.9.3 Kollektivdosis

Die Kollektivdosis des Eigenpersonals ist in der gesamten Zeit der Stilllegung und des Abbaus der Anlagen A-9 sehr gering und nahezu konstant. Bei der Kollektivdosis des Fremdpersonals sind im Laufe der Jahre und der verschiedenen Abbauphase Schwankungen zu erkennen. Insgesamt liegt die Kollektivdosis mit durchgehend unter 0,06 Pers.Sv/a in einem sehr niedrigen Bereich.

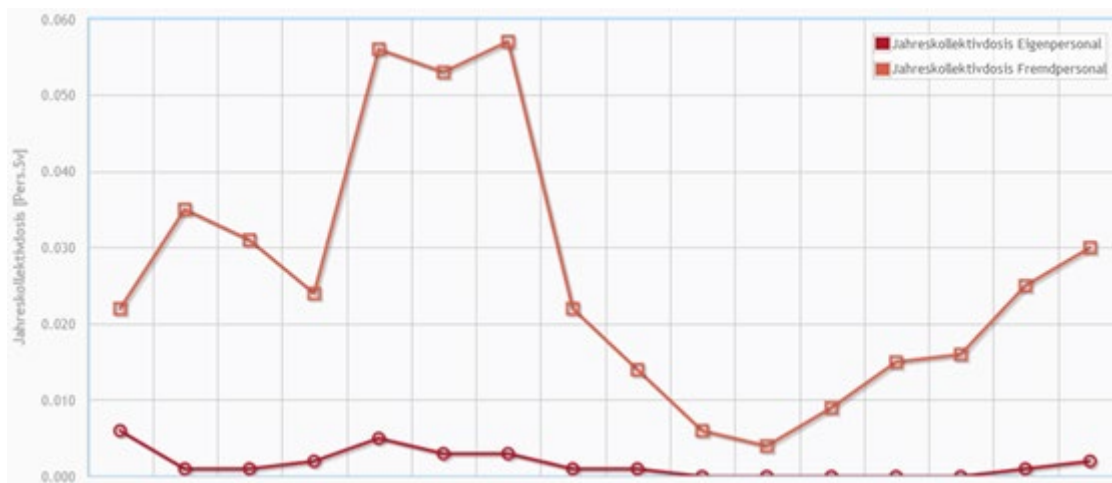


Abb. A.33 Verlauf der Kollektivdosis in A-9 während der Stilllegung

Auswertung

Der Verlauf der Kollektivdosis des Fremdpersonals deckt sich mit dem Verlauf der Anzahl des Personals und spiegelt damit auch den Unterschied zwischen tätigkeitsreichen und tätigkeitsarmen Perioden wider. Zudem lässt sich der Anstieg der Kollektivdosis zu Beginn der Stilllegung auf intensive Tätigkeiten im Bereich der Dekontamination und den Abbau erster Anlagenteile zurückführen.

Seit Stilllegungsbeginn wurden bislang 454 mSv Kollektivdosis des Eigen- und Fremdpersonals akkumuliert. Gemäß /WIK 23/ wurden vor Stilllegungsbeginn maximal 1000 mSv/a in der Phase der Stilllegung erwartet. Die jährlich erhaltene Kollektivdosis liegt um mehr als eine Größenordnung darunter.

A.9.4 Ableitungen

Die jährlichen Ableitungen während der Stilllegung sind in Abb. A.34 dargestellt. Sie liegen weit unterhalb der maximal genehmigten Werte ($< 5\%$, meist $< 1\%$) und schwanken mit den einhergehenden Abbautätigkeiten.

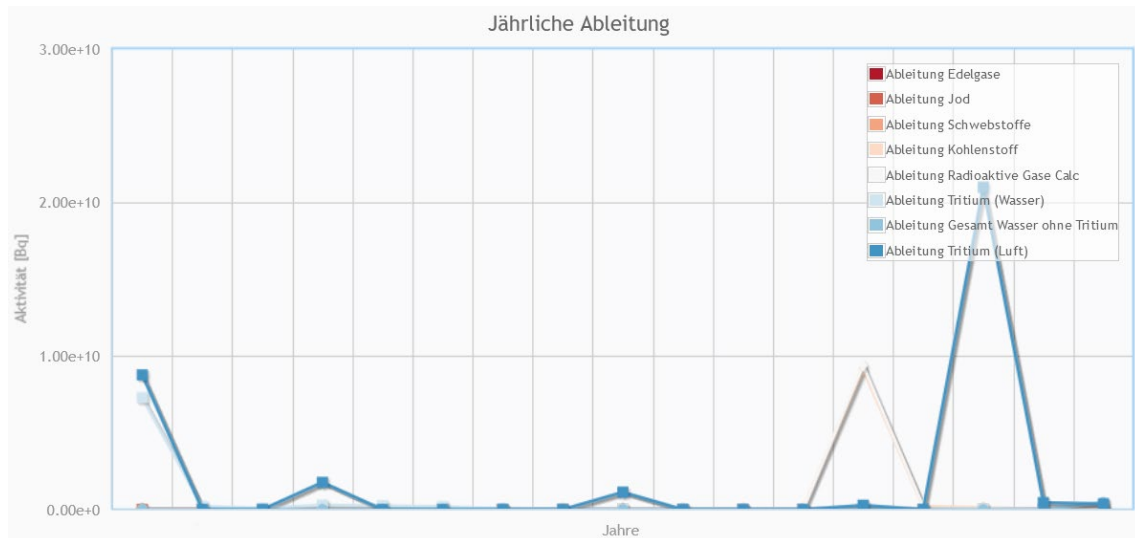


Abb. A.34 Jährliche Ableitungen mit Abwasser und Fortluft aus der Anlage A-9
/WIK 23/

Auswertung

Aufgrund der kurzen Phase des Leistungsbetriebs ist die Aktivierung und Kontamination der Anlage A-9 gering und demzufolge sind es auch die Ableitungen. Die genehmigten Ableitungswerte für Aerosole entsprechen 10 % der betrieblichen Werte. Der Jahreswert für H-3 und C-14 entspricht etwa 10 % des Ableitungswertes, der der Berechnung der Exposition im Leistungsbetrieb zugrunde gelegt wurde. Beim Abwasser wurde für die Nuklide außer Tritium der Genehmigungswert auf 1/6 des vorherigen Wertes gesenkt, für Tritium auf 1 %. Trotz der erheblichen Absenkungen der genehmigten Ableitungswerte, werden diese Werte weit unterschritten.

A.9.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Die Anlage A-9 hat eine Gesamtmasse von 490.000 Mg, von denen 294.000 Mg auf den Kontrollbereich entfallen. Hinsichtlich der bisher angefallenen Rest- und Abfallstoffe liegen der GRS keine aktuellen Informationen vor.

Gemäß Planung sind von den 279.000 Mg Kontrollbereichsmasse 1.688 Mg als radioaktiver Abfall zu entsorgen (0,6 %). Für konditionierte Abfälle sind 6.000 m³ in der Schachtanlage Konrad vorgesehen.

A.9.6 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG

Große Teile des ursprünglichen Betriebsgeländes wurden bereits freigegeben und können für nicht-nukleare Zwecke genutzt werden.

Nach dem Freimessen der Gebäude von A-9 und des übrigen Betriebsgeländes werden diese aus der atomrechtlichen Aufsicht entlassen. Ausgenommen wird dabei jedoch das Standortlager mit dem dazugehörigen Betriebsgelände. Das Standortlager wird auf einen autarken Betrieb umgestellt, sobald die die Infrastruktur von A-9 nicht mehr zur Verfügung steht. Dies umfasst etwa die Anpassung der Umzäunung und des Restbetriebshandbuchs /STAN 1550/.

A.10 Anlage A-10

A.10.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Bei Anlage A-10 handelt es sich um einen DWR mit einer Leistung von etwa 250 MW. Erbaut wurde die Anlage in den 1950er Jahren und in den 1960er Jahren in Betrieb genommen. Nach etwa 25 Jahren Leistungsbetrieb wurde die Anlage endgültig abgeschaltet. Anschließend, in den 1990er Jahren, wurde der Antrag auf Stilllegung und Abbau der Anlage gestellt, drei Jahre später erteilt und in Anspruch genommen. Eine Herausforderung stellten hierbei die baulich bedingten Unterschiede zu DWR der in Deutschland verbreiteteren Baureihen dar. Hierzu zählen u. a. die Form und Anordnung der Brennelemente, das Hüllmaterial der Brennelemente und der Aufbau des Containments.

Das nicht Vorhandensein eines Containments war einer der maßgeblichen Gründe dafür der Stilllegungsoption „sofortiger Abbau“ Vorrang gegenüber dem „sicheren Einschluss“ zu geben. Zudem war zu diesem Zeitpunkt das erforderliche sachkundige und erfahrene Personal noch vorhanden. Dieser Punkt war besonders aufgrund der wenig vertretenen Bauart der Anlage von großer Bedeutung.

Ab Mitte der 1990er Jahre begannen die eigentlichen Arbeiten zur Stilllegung und Demontage der Anlage A-10. Diese Arbeiten waren in mehrere Abschnitte unterteilt. Begonnen wurde mit der Entfernung nicht mehr benötigter maschinentechnischer und elektrotechnischer Anlagen des Sekundärkreislaufes. Anschließend folgte der schrittweise Abbau der Ausrüstungen, beginnend mit gering kontaminierten zu hochkontaminierten/aktivierten Teilen bis zum Abbau des RDB. Im letzten Schritt sollten die kontaminierten Gebäude und Gebäudestrukturen abgebaut werden.

In der Zeit der Stilllegung traten insgesamt 39 meldepflichtige Ereignisse auf. Mögliche Erschwernisse können durch ein Leckageereignis einer Abwasserleitung aufgrund einer gerissenen Schweißnaht in Folge von Materialermüdung, die zu Kontamination im Erdreich mit schwach radioaktivem Wasser führte, auftreten.

Die Stilllegungskonzeption sah ursprünglich den Rückbau bis zur „Grünen Wiese“ im Jahr 2009 vor. Dieser Zeitpunkt konnte jedoch aufgrund der großen Zahl abzubauender Räume und Gebäudeteile nicht eingehalten werden. Auch ein zwischenzeitlich eingereichter Antrag auf die Konservierung des radiologischen Inventars für 50 Jahre und anschließendem konventionellen Abriss wurde wieder zurückgezogen. Grund hierfür waren insbesondere neue Erkenntnisse über die Art, Höhe und die Verteilung der Kontaminationen in den Gebäudestrukturen. Daraufhin wurde Mitte der 2010er Jahre ein überarbeitetes Konzept zum direkten Abbau vorgelegt, welches bis Mitte der 2020er Jahre abgeschlossen sein soll. Nach aktuellem Erkenntnisstand wird dieser Zeitplan jedoch nicht einzuhalten sein, da es immer wieder zu Verzögerungen sowohl bei der Umsetzung von Maßnahmen als auch bei der Beantragung und damit der Genehmigung von neuen Maßnahmen kommt.

Auswertung

Der Zeitrahmen für die Stilllegung der Anlage A-10 wurde im Laufe der Zeit mehrfach verlängert. Auch wenn bereits zu Beginn die Stilllegungsoption „direkter Abbau“ gewählt wurde, wurde ein Antrag auf die Konservierung der verbliebenen Anlagenteile eingereicht, welcher aber später wieder zurückgezogen wurde.

Faktoren, die (mutmaßlich) zu Verzögerungen geführt haben sind:

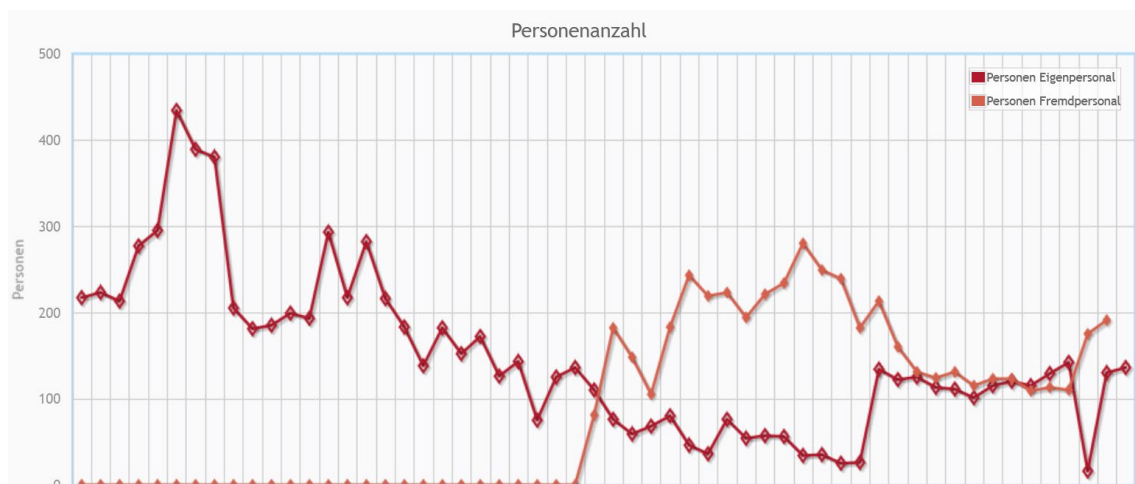
- Im Mauerwerk wurden immer wieder tief liegende Kontaminationen aufgefunden, denen häufig keine Vorkommnisse zugeordnet werden können, so dass Vorhersagen

über Art und Umfang des zusätzlichen Aufwands schwierig sind. Die Bauweise mit im Mauerwerk verlegten Rohren erschwert die Erkennung von Kontaminationen.

- In der Folge kann der Erhalt der Gebäudestatik nicht immer sichergestellt werden, sofern Kontaminationen an tragenden Teilen entfernt werden müssen. Zur Umgehung dieses Problems wurde ein Konzept zur Errichtung eines Außen-Caissons erstellt. Diese Vorgehensweise war in der Ursprungsplanung nicht vorgesehen.
- Die Finanzierung des Abbaus erfolgt aus öffentlicher Hand und hängt damit von jährlich veränderlichen Budgets ab.

A.10.2 Arbeits- und Personalaufwand

Die Entwicklung der Personenzahlen der Anlage, aufgeschlüsselt nach Eigen- und Fremdpersonal, ist in Abb. A.35 dargestellt. Auffallend zu sehen ist, dass während der gesamten Betriebsdauer die Anzahl des Eigenpersonals im Mittel kontinuierlich abgenommen hat. Der sprunghafte Anstieg in den letzten Jahren ist auf eine geänderte Strategie zur Erfassung der tätigen Personen zurückzuführen. Fremdpersonal wurde in Anlage A-10 erst nach der endgültigen Außerbetriebnahme eingesetzt. Nach einem anfänglichen starken Anstieg des Personals wurde dieses nach einigen Jahren auf ein ähnliches Niveau wie das Eigenpersonal wieder abgebaut.



Auswertung

Die Anforderungen des Restbetriebs sinken mit dem Abbaufortschritt, so dass üblicherweise immer weniger Eigenpersonal zum Einsatz kommen kann. Der bei A-10 zu verzeichnende Rückgang von etwa 90 % des Eigenpersonals im Stilllegungsverlauf ist dennoch größer als in Vergleichsanlagen. Anhand der Abbautätigkeiten lässt sich keine klare Ursache ausmachen.

Die Entwicklung des Personalstandes legt nahe, dass das Fremdpersonal ausschließlich für stilllegungs- und demontagerelevante Tätigkeiten auf der Anlage eingesetzt wird. Dieser Personalaufwand ändert sich mit den jeweiligen Abbautätigkeiten und unterliegt entsprechenden Schwankungen. Im Verhältnis zum oben geschilderten Aufwand bei der Dekontamination der Anlage und auch im Vergleich zu anderen Kernkraftwerken mit langer Betriebszeit, findet die Stilllegung mit eher wenig Fremdpersonal statt, insbesondere in den letzten Jahren. Ob eine Beschleunigung des Abbaus mit mehr Personal erreichbar gewesen wäre, ist nicht zu beurteilen.

Bis Ende 2019 kam es rechnerisch zu einem Arbeitsaufwand von 6409 Pers.Jahren seit Stilllegungsbeginn.

A.10.3 Kollektivdosis

Die ermittelten Dosen im Zeitraum der Stilllegung sind sowohl für das Eigen- als auch für das Fremdpersonal sehr gering. Die Kollektivdosis des Eigenpersonals zu Beginn der Stilllegungstätigkeiten ist etwas höher als das des Fremdpersonals. Im Vergleich zu vielen anderen Abbauprojekten hat das Eigenpersonal einen relativ großen Anteil an der Kollektivdosis, woraus man schließen kann, dass es an Abbautätigkeiten signifikant beteiligt ist.

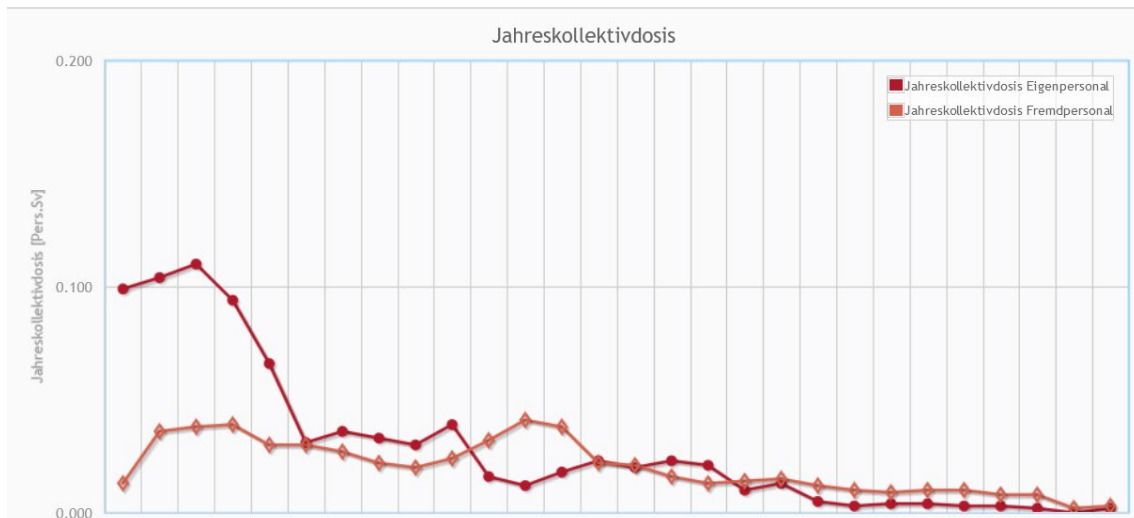


Abb. A.36 Verlauf der Kollektivdosis in A-10 während der Stilllegung /WIK 22/

Auswertung

Zu Beginn der Stilllegungstätigkeiten ist die Kollektivdosis des Eigenpersonals etwas höher als die des Fremdpersonals. Es liegt nahe, dass das Eigenpersonal zu diesem Zeitpunkt noch mit den dosisintensiveren Tätigkeiten des Nachbetriebs (z. B. Entsorgung von Betriebsmitteln und Abfällen aus dem Leistungsbetrieb) beschäftigt war, was zu einer höheren Kollektivdosis führte. In den folgenden Jahren sank die Kollektivdosis des Eigenpersonals stetig, bis es das Level des Fremdpersonals erreichte.

In der bisherigen Stilllegungshistorie wurden 1.446 Pers.mSv Kollektivdosis durch das gesamte Personal akkumuliert. Planungswerte liegen der GRS derzeit nicht vor.

A.10.4 Ableitungen

Die jährlichen Ableitungen der Anlage A-10 sind in der gesamten Stilllegungszeit sehr unauffällig. Lediglich die Tritiumableitungen mit dem Abwasser sind in insgesamt sechs Jahren in einem nennenswerten Bereich. Gemessen an den Genehmigungswerten wird jedoch in keinem Jahr mehr als 1 % der genehmigten Aktivität abgeleitet.

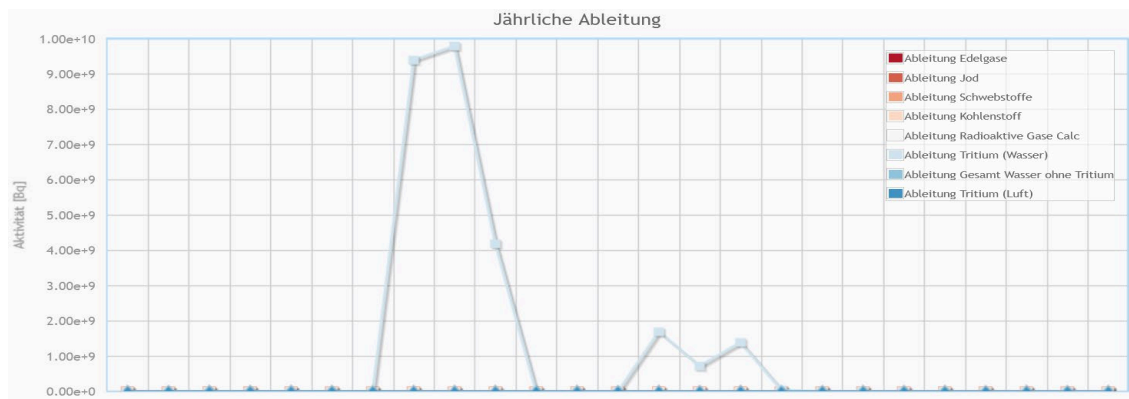


Abb. A.37 Verlauf der Ableitungen aus A-10 während der Stilllegung /WIK 22/

Die Ableitungen sind durchweg niedrig. Der Anstieg der Tritiumableitungen mit dem Abwasser lässt sich auf Arbeiten an der speziellen Wasseraufbereitungsanlage erklären. Jedoch liegen auch diese in einem Bereich unterhalb von 1 % der Genehmigungswerte.

A.10.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Von der Gesamtmasse der Anlage A-10 wurden bis Ende 2021 etwa 14 % abgebaut (47600 Mg) und von der Anlage entfernt. In diesen sind etwa 6.000 Mg aus Kontrollbereichen des Reaktorgebäudes enthalten. Hiervon wurden 1090 Mg in ein inzwischen geschlossenes Endlager verbracht. Freigemessen und entsorgt wurden ca. 15.000 Mg aus dem Reaktorgebäude und ca. 21.000 Mg aus anderen Gebäuden.

Von rund 82.600 Mg ausgehobener Erdmasse wurden über 82.100 Mg freigemessen.

Auswertung

Die abzubauende Gesamtmasse der Anlage A-10 beträgt ca. 340.000 Mg. Von diesen sind ca. 60.000 Mg mit radioaktiven Stoffen belastet. Die Planungen sehen vor, dass von dieser Masse etwa 45.000 Mg freigegeben werden und weitere 5.000 Mg einer kontrollierten Verwertung zugeführt werden können.

Gemäß begleitender Unterlagen zum Antrag auf Stilllegung sind von insgesamt 330.000 Mg Reststoffen 10.000 Mg radioaktiv. Hiervon ist ein unbekannter Anteil zu entsorgen.

A.10.6 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG

Als derzeitiges Stilllegungsziel werden der vollständige Abbau und die Entlassung aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes angegeben. Während der Stilllegung sollen auf dem Gelände der Anlage Stilllegungsabfälle auf Pufferlagerflächen gelagert werden.

A.11 Anlage A-11

A.11.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Bei Anlage A-11 handelt es sich um eine Mehrblockanlage mit wassergekühlten und wassermoderierten DWR. Die Blöcke wiesen zu Beginn der Stilllegung unterschiedliche Betriebshistorien auf bzw. befanden sich diese zu diesem Zeitpunkt noch im Bau.

Zu Beginn der 1970er Jahre nahm der erste Block der Anlage A-11 seinen Betrieb auf. Die übrigen Blöcke gingen mit jeweils wenigen Jahren Abstand ans Netz. Jeder Reaktor besaß eine elektrische Leistung im Bereich von 500 MW. Nach umfangreichen technischen Veränderungen der sicherheitsrelevanten Ausrüstungen ging ein weiterer Reaktor schließlich Ende der 1980er Jahre in den Probetrieb, der nach einer Störung eingestellt wurde. Ein gleich ausgestatteter Block war ein Jahr später bereits errichtet und mit allen Komponenten ausgerüstet. Weitere Blöcke befanden sich im Bau. Die Einstellung der Errichtung dieser Blöcke wurde zu Beginn der 1990er Jahre beschlossen /WIK 22/.

Die übrigen, länger betriebenen Blöcke, wurden ein Jahr zuvor aufgrund aufsichtsbehördlicher Anordnungen außer Betrieb genommen. Eine Wiederinbetriebnahme wurde von der Durchführung umfangreicher Rekonstruktionsmaßnahmen abhängig gemacht. Die neueren Blöcke hätten aufgrund ihrer technischen Neuerungen nachgerüstet werden können. Eine Rekonstruktion der Kernkraftwerke wurde jedoch letztlich als nicht durchführbar eingestuft. Es wurde entschieden, die Anlagen stillzulegen und abzubauen.

Über einen Zeitraum von mehr als 50 Reaktorbetriebsjahren (summiert über alle Reaktoren) traten 98 meldepflichtige Ereignisse auf. Dabei können folgende Störfälle aufgrund ihrer Bedeutung für die Stilllegung hervorgehoben werden:

1970er Jahre:

- Austritt von 400 Litern kontaminierten Wassers in das Erdreich an der Außenwand; sofortige Entsorgung von etwa 5 m³ ausgehobenem Erdreich.
- Lecks im Primärkreislauf eines Blocks (Abriss einer Impulsleitung von 10 mm an der Primärwasserreinigungsanlage und Abriss einer Impulsleitung des Druckhaltersicherheitsventils bei der Druckprobe nach Revisionsarbeiten); sichere Beherrschung; keine Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung.
- Schaden an einem Dampferzeuger-Heizrohr mit nachfolgendem Druckaufbau im DE; projektgemäßes Ansprechen der Sicherheitsventile und Freisetzung von ca. 1,85 GBq I-131 (1 % des Jahresgrenzwertes).

1980er Jahre:

- Leckstörfall Primärkreislauf (vgl. Leckstörfall Mitte der 1970er)
- Während Wartungsarbeiten im Block 1 Austritt von ca. 26 m³ Primärkreislauf-Medium über die Wasseraufbereitungsanlage in den Reaktorsaal; Abgabe von 184 MBq I-131 über die Lüftungsanlage an die Atmosphäre (0,1 % des Jahresgrenzwertes).

Folgende Ereignisse im Nachbetrieb sind erwähnenswert:

- Zu Beginn der 1990er Jahre kam es durch eine Wasserstandsabsenkung im Abklingbecken zu einer Reduzierung der Abschirmwirkung. Durch die dabei auftretende Streustrahlung wurden Personal und Umgebung zu keinem Zeitpunkt gefährdet.
- Zu Beginn der 1990er Jahre wurde festgestellt, dass durch Undichtheiten in der Fußbodenentwässerungsleitung gering kontaminierte Abwässer der Kontrollbereichswäsche in den Auslaufkanal gelangten. Dadurch kam es zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe (Gesamtaktivität 4,9 MBq) mit dem Wasser über einen Graben (ca. 1 % des genehmigten Tagesgrenzwertes).

Wiederholt ist es im Verlauf eines Grabens zum Eintrag radioaktiver Stoffe durch gering kontaminierte Dusch- und Waschwässer gekommen, so dass dieser einen Schwerpunkt der radiologischen Altlasten innerhalb des außerbetrieblichen Überwachungsbereichs darstellt.

Auswertung

A-11 gehört zu den ältesten Stilllegungsprojekten in Deutschland, die noch nicht abgeschlossen sind. Die Stilllegung läuft seit rund 30 Jahren und ein Ende der Arbeiten wird aktuell für 2028 prognostiziert. Das voraussichtliche Ende wurde bereits mehrfach nach hinten verschoben. Damit übersteigt die zu erwartende Stilllegungsdauer die anderer großer Kernkraftwerke in Deutschland, wobei es sich auch hierbei größtenteils um Prognosen handelt. Die Stilllegungsarbeiten wurden bzw. werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst und ggfs. verzögert:

- Die oben geschilderten Störfälle führten zu Kontaminationen, welche zeitintensiv entfernt werden müssen.
- Der Anlagentyp weicht von denen anderer Kernkraftwerke in Deutschland ab; Skaleneffekte sind schlechter nutzbar.
- Zu Stilllegungsbeginn lagen nur wenige Erfahrungen mit der Stilllegung von Kernkraftwerken vor.
- In der Anzahl der Kraftwerksblöcke und der räumlichen Ausdehnung ist A-11 das größte Kernkraftwerk hierzulande. Das zum Abbau eingesetzte Personal ist zahlenmäßig vergleichbar mit dem in anderen in Stilllegung befindlichen Anlagen (mit nur einem Reaktor).
- A-11 ist das einzige Großkraftwerk, welches aus Mitteln der öffentlichen Hand stillgelegt wird. Die Finanzierung ist vom jeweiligen Jahreshaushalt abhängig und nicht von zuvor getätigten Rücklagen.

A.11.2 Arbeits- und Personalaufwand

Das eingesetzte Personal im Laufe der Stilllegung von A-11 ist in Abb. A.38 dargestellt. Das Eigenpersonal wird zu Beginn der Stilllegung deutlich reduziert und anschließend im Rest- und Abbaubetrieb relativ konstant gehalten. Das Fremdpersonal wurde zunächst aufgebaut und an den Bedarf der Abbautätigkeiten angepasst. Auffällig ist ein

Maximum in dem Jahr, in dem die Dampferzeuger der Blöcke 1 und 2 demontiert wurden. Danach schwankt der Fremdpersonaleinsatz jedoch nur wenig und ist vergleichbar mit dem Eigenpersonaleinsatz (jeweils im Bereich von 500 Personen). Beides ist eher untypisch.

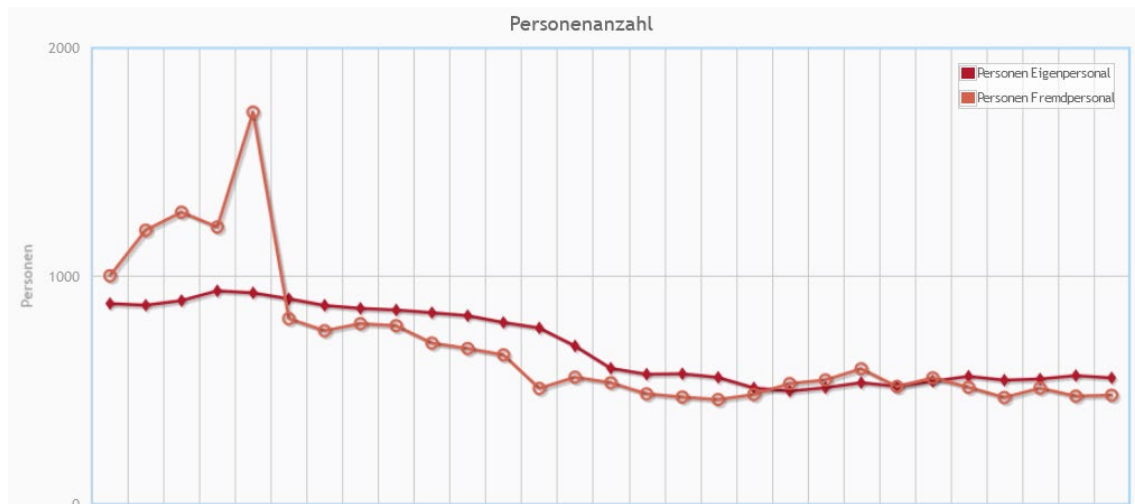


Abb. A.38 Verlauf der Personenanzahl bei der Stilllegung von A-11 /WIK 22/

Auswertung

In A-11 ist der sichere Restbetrieb während des Abbaus in mehreren Reaktorblöcken zu gewährleisten, so dass der Einsatz von ca. 500 Personen (seit den letzten ca. 13 Jahren) des Eigenpersonals den Erwartungen entspricht. Im Vergleich dazu ist die Personaldecke des Fremdpersonals, gemessen an der Größe der Anlage, mit ebenfalls ca. 500 Personen, eher dünn. Auch die Konstanz des Personaleinsatzes ist ungewöhnlich. Eine mögliche Ursache kann sein, dass sich die Arbeiten auf viele Blöcke verteilen, und so Schwankungen ausgeglichen werden. Statistiken für die Einzelblöcke würden Aufschluss darüber geben, diese liegen der GRS jedoch nicht vor. Die Stilllegung und mithin die maximalen Personalkosten sind durch verfügbare Haushaltsmittel eingeschränkt, weil der Abbau aus öffentlicher Hand finanziert ist. Ob dieser Umstand einen stärkeren Personaleinsatz einschränkt, kann vermutet werden.

Von Beginn der Stilllegung bis Ende 2021 summiert sich der jährliche Personaleinsatz aller Blöcke zu einem bisherigen Arbeitsaufwand von 38.455 Pers.Jahren.

A.11.3 Kollektivdosis

Im Mittel nimmt die Kollektivdosis des Personals über die Stilllegungsjahre ab. Für das Eigenpersonal ist die Kollektivdosis über die gesamte Zeit höher als für das Fremdpersonal und auch von stärkeren Schwankungen geprägt.

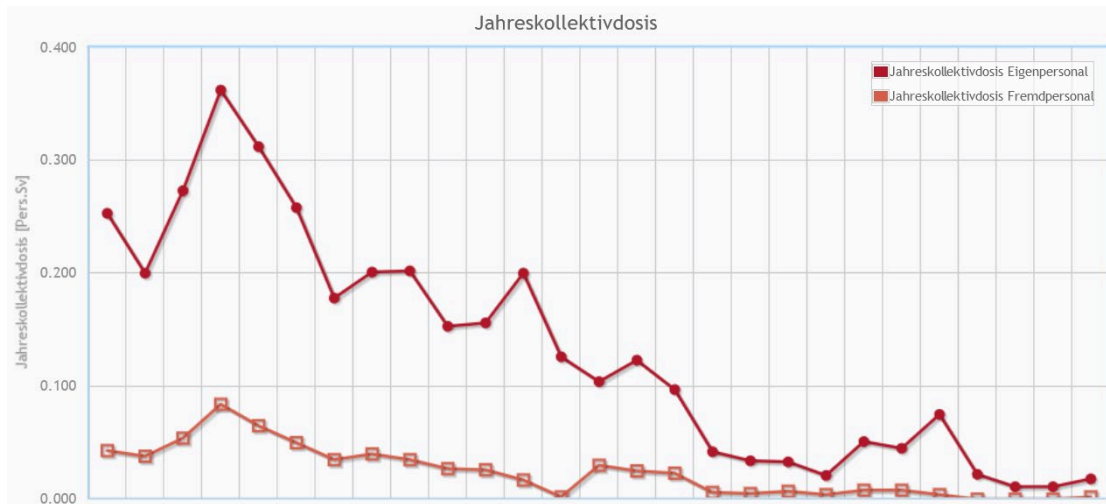


Abb. A.39 Verlauf der Jahreskollektivdosis vor der Abschaltung und bis zum aktuellen Stand /WIK 22/

Auswertung

Die höheren und stärker schwankenden Personendosen des Eigenpersonals im Vergleich zum Fremdpersonal sind für Anlagen im Rest- und Abbaubetrieb eher ungewöhnlich. Sie deuten darauf hin, dass das Eigenpersonal selbst Tätigkeiten des Abbaus durchführt. Die meisten deutschen Kernkraftwerke in Stilllegung setzen überwiegend Fremdpersonal für den Abbau ein.

Die kumulierte Kollektivdosis seit Beginn der Stilllegung bis Ende 2021 beträgt für das Eigenpersonal rund 3,6 Pers.Sv und für das Fremdpersonal 0,64 Pers.Sv. Der Planungswert für die gesamte Kollektivdosis (Eigen- und Fremdpersonal zusammen) beträgt nach GRS-Informationen ca. 13 Pers.Sv. Die tatsächlichen Werte liegen damit deutlich unter dem Planungswert. Angesichts des Stilllegungsfortschritts mit überwiegend bereits ausgebauten radiologisch wichtigen Komponenten (RDB, Dampferzeuger, etc.), ist zu erwarten, dass auch mit dem Abschluss der Stilllegung der Planungswert deutlich unterschritten wird.

A.11.4 Ableitungen

Der Verlauf der Ausschöpfung der Ableitungen aus A-11 seit Stilllegungsbeginn ist in Abb. A.40 dargestellt. Man erkennt neben deutlichen Schwankungen in den ersten ca. 20 Stilllegungsjahren eine deutliche Reduktion nach der Entfernung kontaminierter und aktivierter Komponenten.

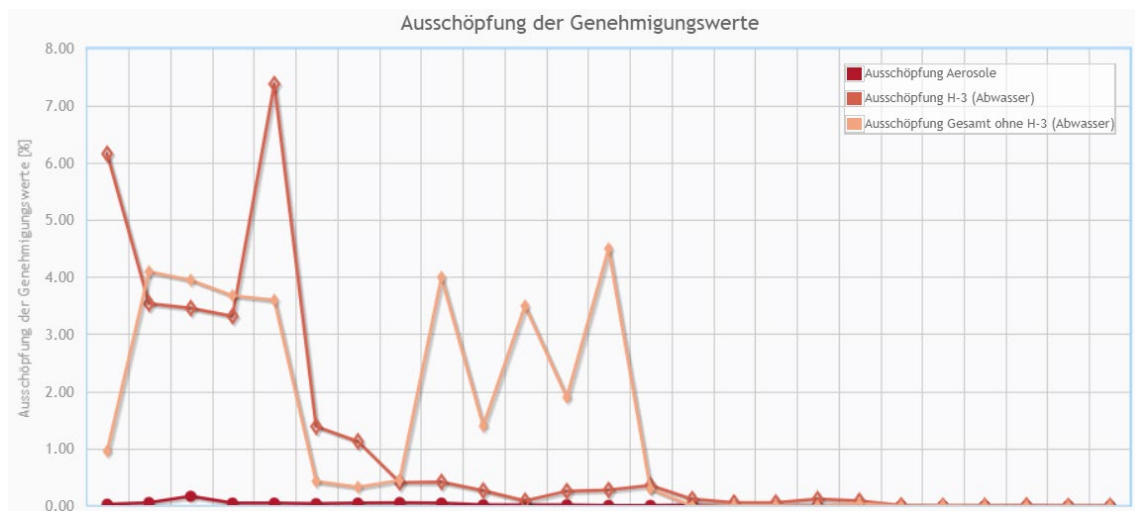


Abb. A.40 Ausschöpfungsgrad der Genehmigungswerte der Ableitungen für Anlage A-11 ab dem Beginn der Stilllegung bis zum aktuellen Stand /WIK 22/

Bezüglich Ableitungen in der Stilllegung liegen keine Planungswerte (sondern nur genehmigte Maximalwerte) vor. Die in der 1. Stilllegungsgenehmigung aufgeführten zulässigen Ableitungen spiegeln eine Abschätzung maximaler Werte. Die tatsächlichen Werte seit Stilllegungsbeginn liegen mit bis zu 7,5 % der zulässigen Werte weit darunter. Die Schwankungen sind typisch und unauffällig.

A.11.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Das die Hauptaktivität bestimmende Inventar der Anlage A-11, d. h. die Reaktordruckgefäße und die Dampferzeuger, wurde zur Abklinglagerung in ein zentrales Zwischenlager verbracht /WIK 21/.

Die technischen Bestandteile der Anlage werden zunächst auf der Grundlage ihrer ursprünglichen Auslegung (aktivitätsführend oder kein Kontakt mit radioaktiven Stoffen),

der Auswertung von Erfahrungen und Ereignissen während des Betriebes und von Messungen in der Anlage in folgende Kategorien eingeordnet:

- Kategorie 1 – kontaminationsfrei, d. h. der Kontakt mit radioaktiven Stoffen kann ausgeschlossen werden. Es erfolgen beweissichernde Kontrollmessungen.
- Kategorie 2 – Verdacht auf Kontamination, d. h. Berührung mit radioaktiven Stoffen kann nicht ausgeschlossen werden. Es erfolgt eine Freimessung.
- Kategorie 3 – kontaminiert, d. h. Kontakt mit radioaktiven Stoffen. Es erfolgt eine Freimessung nach Dekontamination.

Von insgesamt 1.800.000 Mg Gesamtabbaumasse sind voraussichtlich 1.233.600 Mg kontaminationsfrei. 566.400 Mg sind radioaktive Reststoffe (Kat. 2 und 3), von denen der überwiegende Teil eingeschränkt oder uneingeschränkt freigegeben werden kann. 16.500 Mg sind voraussichtlich radioaktiver Abfall, wobei derzeit nicht abschließend angegeben kann, ob von 28.400 Mg radioaktiven Reststoffen in der Abklinglagerung noch Abfälle hinzukommen.

A.11.6 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG

Die Errichtung eines lokalen Zwischenlagers zur Aufbewahrung sowohl der verbrauchten Brennelemente als auch der Stilllegungsabfälle in konditionierter Form bis zum Abtransport in ein Endlager bot sich als Lösung des Entsorgungseinganges an und stellte zum damaligen Zeitpunkt eine Neuerung für die Abfallbehandlung bei Stilllegungsprojekten in Deutschland dar. Das lokale Zwischenlager wird voraussichtlich nach der Entlassung der Anlage A-11 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes bestehen bleiben, bis es mit der Verfügbarkeit eines Endlagers geräumt werden kann.

Das Stilllegungskonzept zielt auf den vollständigen Abbau radiologisch belasteter Standortstrukturen und die Freigabe von sanierten Flächen und Strukturen für andere Zwecke (z. B. Errichtung konventioneller Kraftwerksanlagen, Ansiedlung von Betrieben; beides u. a. auch zur Aufnahme nicht mehr für die Stilllegung benötigten Personals).

A.12 Anlage A-12

A.12.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Gegenüber der ursprünglichen Terminplanung für Anlage A-12 ergab sich eine Verzögerung der Inbetriebnahme von mehr als zwei Jahren, die auf folgende Ursachen zurückgeführt wird:

- Verzögerungen aus dem baubegleitenden F&E-Programm
- Verzögerungen in der Entwicklung von Auslegungsprogrammen vor allem für Berechnungen von Wärmespannungen
- Probleme bei der Qualitätskontrolle
- Nachträglich erkannte Probleme der Nutzung der kompakten Bauweise der Räumlichkeiten (z. B. bei den nachträglich notwendigen Änderungen zum Zweck der Verbesserung der Brandschutzmaßnahmen und des Natriumsicherheitssystems)
- Einstufung als Prototypanlage und damit verbundene Genehmigungsanforderungen

Viele Versuche an der Anlage mussten durch aufwendige Um- und Einbauten vorbereitet werden. Störungen waren dagegen nicht der wesentliche Grund für die im Vergleich zu Leistungsreaktoren ohne Prototypcharakter kleinen Verfügbarkeitskennziffern. Gegen Ende der 1980er Jahre wurden die genehmigten Volllasttage erreicht und der Reaktor einer Großrevision zugeführt. Trotz Verlängerung der Standzeitgenehmigung konnte der Reaktorbetrieb zunächst nicht wieder aufgenommen werden, da ungeklärte Probleme bestanden, wie schwergängige Kontrollstabgestänge und abgebrochene Schrauben von Strömungsleitblechen innerhalb der Primärkreislaufpumpen. Nach einer Betriebsdauer von 13 Jahren wurde die Anlage A-12 zu Beginn der 1990er Jahre abgeschaltet.

Die Stilllegung von A-12 erfolgt in insgesamt zehn SAG. Während die ersten neun Genehmigungen in regelmäßiger und dichter Abfolge von 1993 bis 2001 erteilt wurden, erfolgte die Erteilung der 10. und letzten Abbaugenehmigung erst 20 Jahre später im Jahr 2021. In der letzten Abbauphase erfolgen die Dekontamination und der Abbau der restlichen baulichen Strukturen. Das Ende der Stilllegung wird für das Jahr 2024 erwartet /WIK 22/ und wird deshalb in der anlagenübergreifenden Zusammenfassung (siehe Kap. 3) als „fast abgeschlossen“ geführt.

Die ausgedehnte 9. Phase, welche noch nicht abgeschlossen ist, umfasst u. a.

- den Abbau und die Entsorgung des Reaktortanks (Maßnahme 1),
- den Abbau und die Entsorgung der Primärabschirmung (Maßnahme 2) und
- den Abbau und die Entsorgung des biologischen Schilds (Maßnahme 3).

Somit waren bzw. sind dies die Arbeiten an den am stärksten kontaminierten und aktivierten Komponenten des Reaktors, die mutmaßlich den größten Aufwand bedeuteten. Der verstärkte Einsatz des Fremdpersonals (siehe Kap. A.12.2) nach Erteilung der 9. SAG unterstützt diese Annahme.

Bislang wurden aufgrund der bereits erteilten SAG die Maßnahmen folgender Genehmigungen durchgeführt und vollständig abgeschlossen:

- Abbau des Wasser-Dampf-Kreislaufs und der Wasseraufbereitung (1. SG 1993)
- Abbau des Sicherungszauns und Reduzierung von Objektschutzmaßnahmen (2. SG 1994)
- Außerbetriebsetzung des Sekundärsystems (3. SG 1995)
- Entsorgung des Primär- und Sekundärmediums (3. und 4. SG 1996)
- Abbau des Fortluftkamins (4. SG)
- Abbau des Zellenkühlturms (5. SG 1996) und der Hilfsanlagegebäude (6. SG 1997)
- Umstellung der elektrischen Energieversorgung (6. SG)
- Änderung der Hauptschleuse des Sicherheitsbehälters (7. SG)

Die 8. SG (Außerbetriebsetzung, Abbau, Zerlegung und Entsorgung der Primärsysteme, ausgenommen der Reaktortank) ist bis auf die Teilmaßnahme „Außerbetriebsetzung, Abbau und Entsorgung des Abluftsystems TM 2“ abgeschlossen. Die Teilmaßnahme wird im Rahmen der 10. SG berücksichtigt.

Gegenstand der 9. SG 2001, deren Maßnahmen derzeit durchgeführt werden, ist der Abbau und die Entsorgung des Reaktortanks, der Primärabschirmung und des biologischen Schilds. Die Maßnahmen sind (Stand: 2021) bis auf den Abbau des biologischen Schildes und die Demontage der dafür eingesetzten Hilfseinrichtungen, Hilfsmittel und Hilfswerkzeuge abgeschlossen. Mit Arbeiten im Rahmen der 10. SG wurde begonnen.

Insgesamt traten 138 Ereignisse auf, davon 16 im Laufe der Stilllegung. Zwei Ereignisse in der frühen Phase der Stilllegung aufgrund einer alterungsbedingten Leckage und eines Aerosolaustrags aufgrund eines Handhabungsfehlers führten zu Kontaminationen in der Anlage.

Auswertung

Wenn die derzeitige zeitliche Planung eingehalten wird, erstreckt sich die Stilllegung der Anlage A-12 über einen Zeitraum von 31 Jahren ab Erteilung der 1. SG. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zunächst, wie einige andere Anlagen mit endgültiger Abschaltung bis Anfang der 1990er Jahre, ein sicherer Einschluss als Stilllegungsstrategie gewählt und 1997 verworfen wurde. Der Abbau erfolgt(e) in zehn Phasen und zugehörigen Genehmigungen und damit sehr kleinteilig. Typisch sind etwa vier Stilllegungsphasen für Anlagen mit Abbaubeginn in den 1990er Jahren und 2000er Jahren, bei den jüngsten Stilllegungsprojekten sind es eine oder meist zwei Phasen.

Verglichen mit der Ursprungsplanung, die einen sicheren Einschluss vorsah, wird die Stilllegung allein durch den Strategiewechsel zu einem erheblich schnelleren Abschluss kommen. Die Bauweise von A-12 folgt keinem Standard und ist zudem beengt, so dass Abbauarbeiten nicht immer mit sonst üblichen Abbautechniken durchgeführt werden können, sondern spezielle Verfahren entwickelt werden mussten. Angesichts der Umstände ist der Zeitrahmen des Abbaus im erwartbaren Bereich.

A.12.2 Arbeits- und Personalaufwand

Die Entwicklung des Personalbestands in A-12 ist in Abb. A.41 dargestellt. Das Eigenpersonal wurde mit Stilllegungsbeginn zunächst deutlich abgebaut und auf niedrigem Niveau gehalten. Erst seit den letzten beiden Jahren wurde das Eigenpersonal auf den bisher höchsten Stand von knapp 100 Personen wieder aufgestockt. Das Fremdpersonal unterliegt in seiner Stärke den üblichen Schwankungen, die mit den jeweiligen Abbautätigkeiten zusammenhängen. Ein Maximum (150 bis 200 Personen) zeigt sich nach Beginn der 9. Abbauphase, in der hoch kontaminierte und aktivierte Komponenten abgebaut wurden. Kurz vor Beginn der 10. und letzten Abbauphase wurde das Fremdpersonal erneut deutlich aufgestockt (um 200 Personen).



Abb. A.41 Personalentwicklung der Anlage A-12 während der Stilllegung /WIK 24/

Zum Arbeitsaufwand (in Pers.h) in der Stilllegung liegen der GRS keine Informationen für A-12 vor. Eine Aufsummierung der Personenzahlen über die Stilllegungsjahre bis 2021 ergibt 3507 Pers.Jahre (682 Pers.Jahre Eigenpersonal, 2825 Pers.Jahre Fremdpersonal). Da insbesondere Fremdpersonal nicht unbedingt das ganze Jahr in der Anlage arbeitet, können die genannten Zahlen höchstens einen groben Anhaltspunkt für den Arbeitsaufwand liefern.

Auswertung

Die Entwicklung des Fremdpersonals ist für Anlagen in Stilllegung typisch. Sie schwankt mit den jeweiligen Abbautätigkeiten. Neu aufkommende Arbeiten, mit denen Vorbereitungen einhergehen, erhöhen den Personaleinsatz. Dies ist nach Erteilung der 9. SG und ebenfalls in den letzten Jahren, in denen Vorbereitungen und der Abbau des biologischen Schildes vollzogen wurden bzw. werden, erkennbar. Eher untypisch ist der parallele Aufbau von Eigenpersonal. Möglicherweise wird es für Maßnahmen des sicheren Restbetriebs unter den besonderen Umständen des Bioschild-Abbaus (Einhausungen, Lüftungstechnik) benötigt.

A.12.3 Kollektivdosis

Die Jahreskollektivdosis für das Eigenpersonal sinkt nach Beginn der Stilllegung sukzessive und verharrt auf sehr niedrigem Niveau. Beim Fremdpersonal sind Schwankungen zu erkennen, die mit den Abbautätigkeiten zusammenhängen, aber teilweise auch mit der Personenzahl korrelieren. Insgesamt ist der Trend klar fallend, erwartbar durch

die Entfernung des radioaktiven Materials aus der Anlage. Trotz erhöhtem Personaleinsatz (siehe Abschnitt A.12.2) in den letzten Jahren, steigt die Kollektivdosis in dieser Zeit kaum. Die weit fortgeschrittene Stilllegung führte bis Ende 2021 zu einer kumulierten Kollektivdosis von 1,375 Pers.Sv, von denen 1,09 Pers.Sv auf das Fremdpersonal entfielen.

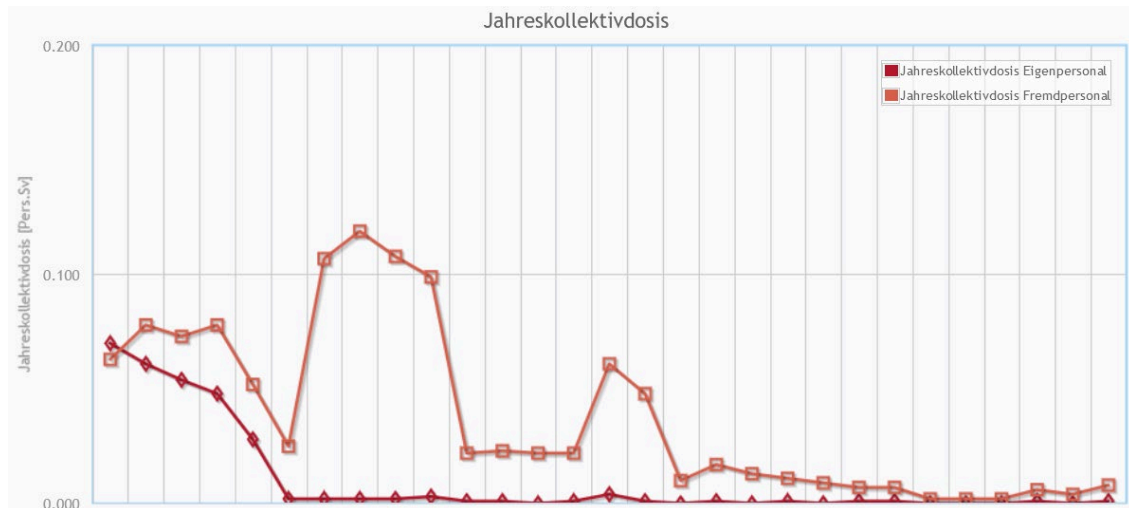


Abb. A.42 Kollektivdosen für den Betriebs- und bisherigen Stilllegungszeitraum der Anlage A-12 /WIK 22/

Die Kollektivdosen des Eigen-, sowie des Fremdpersonals sind unauffällig und insgesamt gering. Dies gilt auch für die kumulierte Dosis über die gesamte Stilllegungszeit. Es liegen der GRS aktuell keine Planungsdaten für die kumulierte Dosis vor.

A.12.4 Ableitungen

Die Ableitungen aus A-12 während der Stilllegungsphase sind in Abb. A.43 und Abb. A.44 dargestellt. Die Genehmigungswerte wurden zu jeder Zeit deutlich unterschritten. Seit über 13 Jahren sind die Ableitungen auf sehr niedrigem Niveau, was dem Stilllegungsfortschritt geschuldet sein dürfte. Auffällig ist ein deutliches Maximum bei der Tritium-Ableitung um die Jahrtausendwende.

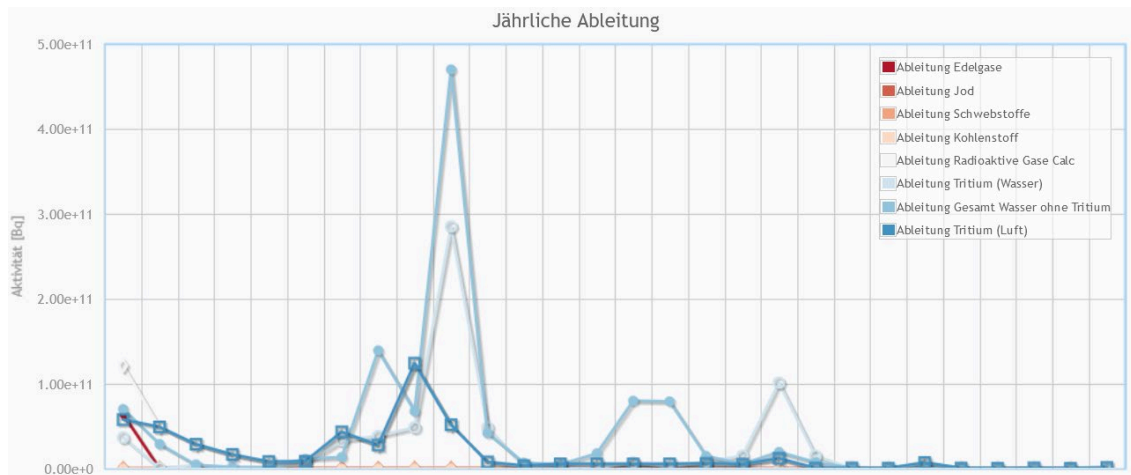


Abb. A.43 Ableitung mit der Fortluft und dem Abwasser aus der Anlage A-12

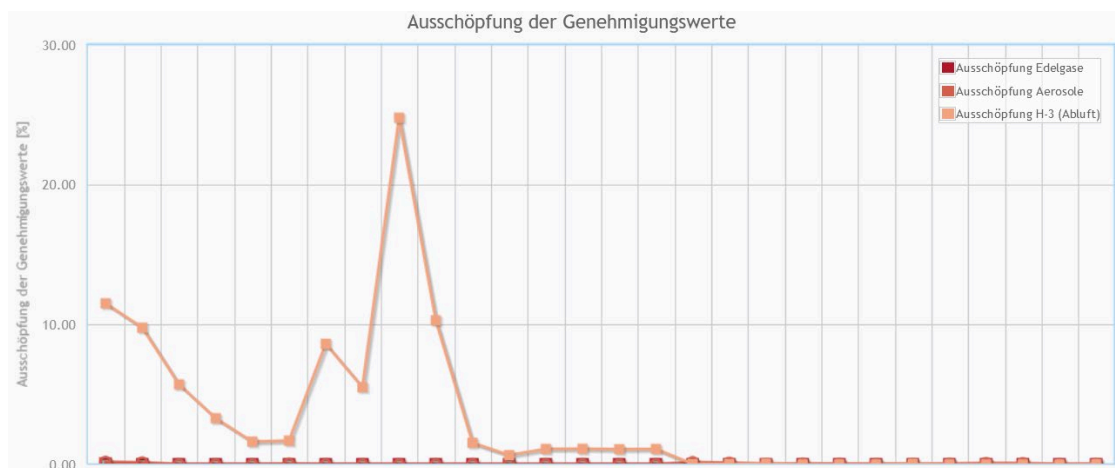


Abb. A.44 Ableitung von Spalt- und Aktivierungsprodukten mit der Fortluft aus der Anlage A-12, relativ zum Genehmigungswert

Das erwähnte Maximum bei den Tritium-Ableitungen um die Jahrtausendwende lässt sich mit den zu der Zeit durchgeführten Tätigkeiten erklären. Hier wurde eine Primärkreisdekontamination durchgeführt, der Reaktordeckel geöffnet und ausgebaut. Von dem punktuell höheren Wert abgesehen, sind die Ableitungen sehr gering und über die Stilllegungszeit erwartungsgemäß fallend. Aktuell, bei weit fortgeschrittener Stilllegung, sind die Ableitungen mit der Fortluft sehr gering, und Ableitungen mit dem Abwasser fanden 2018 bis 2020 gar nicht mehr statt /WIK 22/. Radioaktive Abwässer werden generell nicht mit dem Abwasser abgeleitet, sondern als flüssige radioaktive Reststoffe an die betriebseigenen Entsorgungsbetriebe abgegeben /STAN 4251-1/.

A.12.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Die Entsorgung der Stilllegungsabfälle von A-12 erfolgt über einen am Standort befindlichen Entsorgungsbetrieb, welcher auch anderen Anlagen zur Verfügung steht. Bis Ende 2021 fielen 2591 m³ konditionierte Abfälle an /WIK 22/.

Das vor Abbaubeginn geschätzte radioaktive, endzulagernde Abfallvolumen aus A-12 beträgt rund 2300 m³ /WIK 22/. Demnach wurde das Abfallvolumen um 12,6 % unterschätzt, wobei der Abbau auch noch nicht vollständig abgeschlossen ist.

A.12.6 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG

Das Stilllegungsziel der Anlage A-12 ist der Zustand „grüne Wiese“. Nach Entlassung der Anlage aus dem Atomgesetz werden die restlichen Gebäudestrukturen abgerissen, und das Gelände kann anderweitig genutzt werden. Wegen der Lage des Anlagengeländes innerhalb eines größeren Anlagenkomplexes, erscheint eine Nutzung durch dortige Einrichtungen als wahrscheinliche Option. Hinsichtlich fortgeltender Pflichten und der Stilllegungsdokumentation sowie dessen Aufbewahrung liegen der GRS derzeit keine Informationen vor.

A.13 Anlage A-13

A.13.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Das Kernkraftwerk A-13 nahm seinen Betrieb als eines der ersten kommerziellen Leistungskernkraftwerke mit einer elektrischen Anschlussleistung im mittleren dreistelligen MW-Bereich in Deutschland zu Beginn der 1970er auf. Mitte der 1990er Jahre, also nach etwas mehr als 20-jähriger Betriebszeit, wurde die Anlage aus wirtschaftlichen Gründen stillgelegt. In dieser Zeit wurden etwas mehr als 70 Mrd. kWh in das Netz eingespeist.

Im Verlauf der Betriebsgeschichte kam es zu umfangreichen Nachrüst- und Ertüchtigungsmaßnahmen:

- Ein Jahr nach der Inbetriebnahme kam es zum Stillstand der Anlage, da infolge eines Störfalls (ohne Austritt von Radioaktivität in die Umgebung) eine Ertüchtigung des Kondensationskammerbodens notwendig wurde.

- Acht Jahre nach der Inbetriebnahme wurden Sonderprüfungen an den Frischdampfleitungen durchgeführt.
- In den 1980er Jahren kam es wegen der Durchführung umfangreicher Umrüstmaßnahmen in den Frischdampf- und Speisewasserleitungen innerhalb des Sicherheitsbehälters und der Einbindung eines unabhängigen Nachkühlsystems zu längeren Stillständen, und zu Beginn der 1990er Jahre wurden umfangreiche brandschutztechnische Nachrüstungen durchgeführt /STAN 771/.

Grund des Stilllegungsbeschlusses war die Feststellung von Rissbefunden am Kernmantel und an den Kerngittern, die eine Grundsanierung der Kerneinbauten zur Folge gehabt hätte. Bei mehreren bauähnlichen Anlagen in den USA, Japan, Taiwan, der Schweiz und in Schweden wurden bereits zuvor bei Inspektionen Risse im Kernmantel festgestellt. Bei analogen Untersuchungen wurden auch in A-13 mittels ferngesteuerter Diagnosetechnik Risse, insbesondere in der Nähe von Schweißnähten nahe des Auflagerings auf der Innenseite des oberen Kerngitters, am Auflagering des unteren Kerngitters, am Kernmantel und an weiteren Stellen mit erhöhtem Neutronenfluss, beobachtet. Ein Weiterbetrieb der Anlage wäre nur nach einer Grundsanierung der Kerneinbauten möglich, aus wirtschaftlichen Gründen jedoch nicht mehr tragbar gewesen /WIK 22/.

Insgesamt traten 282 Ereignisse auf, davon 17 in der Zeit der Stilllegung. In den 1970er Jahren führten zwei Ereignisse zu Kontaminationen im Reaktorgebäude und Maschinenhaus. Grund dafür war im ersten Fall eine Leckage aufgrund falscher Anregung eines Druckentlastungsventils und im zweiten Fall eine Leckage aufgrund Versagens einer Gummidichtung.

Als Stilllegungsvariante wurde der direkte Abbau gewählt, um auf Personal aus der Betriebszeit zurückgreifen zu können. Der Abbau wurde in sechs Phasen durchgeführt (siehe Tab. A.10), die bis auf die letzte Phase jeweils durch einen atomrechtlichen Antrag an die Genehmigungsbehörde beantragt wurden.

Tab. A.10 Übersicht der Phasen beim Abbau des Kernkraftwerks A-13

Phase 1	Maschinenhaus und Hilfsanlagengebäude: Demontage	Demontage Restbetriebssysteme, Rückbauinfrastruktur, Heizung, Lüftung, Kabel
Phase 2	Reaktorgebäude außerhalb SHB	Abwasseraufbereitung, Reaktorwasserreinigung, Lagerbeckenfiltration, NZKW, Lüftung
Phase 3	SHB	Splitterschutz, Kondensationskammer, Druckschale
Phase 4	SHB	RDB, biologischer Schild, Komponenten der Lagerbeckenebene
Phase 5	Kontrollbereich	Entfernen der Infrastruktur, Freimessen Gebäude und Gelände, Umbau Hilfsanlagengebäude zum Lager
Phase 6	Anlagengelände	Abbruch von Gebäuden, Rekultivierung

Es wurde zunächst mit dem Abbau der weniger kontaminierten Anlagenteile begonnen. Mit dem Ende der Phase 5 verblieb das Zwischenlager im Geltungsbereich des Strahlenschutzgesetzes, während die Anlage selbst 18 Jahre nach dem Beginn der Stilllegung aus der atomrechtlichen Überwachung entlassen wurde /WIK 22/. Aus diesem Grund wird die Anlage A-13 in Kap. 2.1 als „abgeschlossen“ geführt.

A.13.2 Auswertung Zeitrahmen

Im Betrieb von A-13 wurden häufiger als bei anderen Kraftwerken Nachrüstungen und Reparaturen erforderlich, was vermutlich auf die geringe Erfahrung mit SWR dieser Dimension (ohne Dampfumformer) zurückzuführen ist. So wurde kurz nach Inbetriebnahme der Boden der Kondensationskammer ertüchtigt, Frischdampf- und Speisewasserleitungen ausgetauscht und ein Schaden an der Turbinenwelle behoben. Außerdem traten im Betrieb Brennelementschäden auf, die zu einer Ablagerung von Oxidschichten auf den inneren Metalloberflächen von Systemen und zu Alpha-Kontaminationen der Anlage geführt haben /IST 15/.

Die Stilllegung ist technisch abgeschlossen, wenngleich noch ein Gebäude als Zwischenlager dient und den weiteren Gebäudeabriss bereits freigegebener Gebäude behindert. Nach Freiräumen des letzten Gebäudes ist aus Sicht der GRS der restliche Abbau in wenigen Jahren abgeschlossen. Mit 18 Stilllegungsjahren bisher und schätzungsweise rund 20 Jahren insgesamt setzt A-13 einen Maßstab für die Stilllegungsdauer für den direkten Abbau eines größeren Kernkraftwerks mit langer Betriebszeit und kann

damit als Referenz für aktuelle Abbauprojekte von SWR- und DWR-Anlagen genutzt werden.

A.13.3 Arbeits- und Personalaufwand

Die Peaks beim Fremdpersonal in Abb. A.45 in den ersten beiden Jahrzehnten des Leistungsbetriebs korrelieren mit den bereits beschriebenen Umrüstmaßnahmen. Ein Jahr nach der dauerhaften Außerbetriebnahme wird ein Minimum beim Fremdpersonal erreicht. Dies ist durch das Ausbleiben verschiedener Revisionsarbeiten und den noch nicht begonnenen Rückbau nachvollziehbar. Bis zum Ende der Stilllegung bildet sich dann ein stabiles Niveau von ca. 1000 Fremdmitarbeitern aus. Die Zahl des Eigenpersonals stieg bis zur dauerhaften Außerbetriebnahme stetig an und fiel dann bis auf eine Ausnahme fünf Jahre vor dem Ende der Stilllegung immer weiter ab. Aus Sicht der GRS ist der Verlauf des Personalaufwands damit nachvollziehbar. Andere Anlagen zeigen einen vergleichbaren Verlauf, der als charakteristisch für Anlagen in Stilllegung betrachtet werden kann.

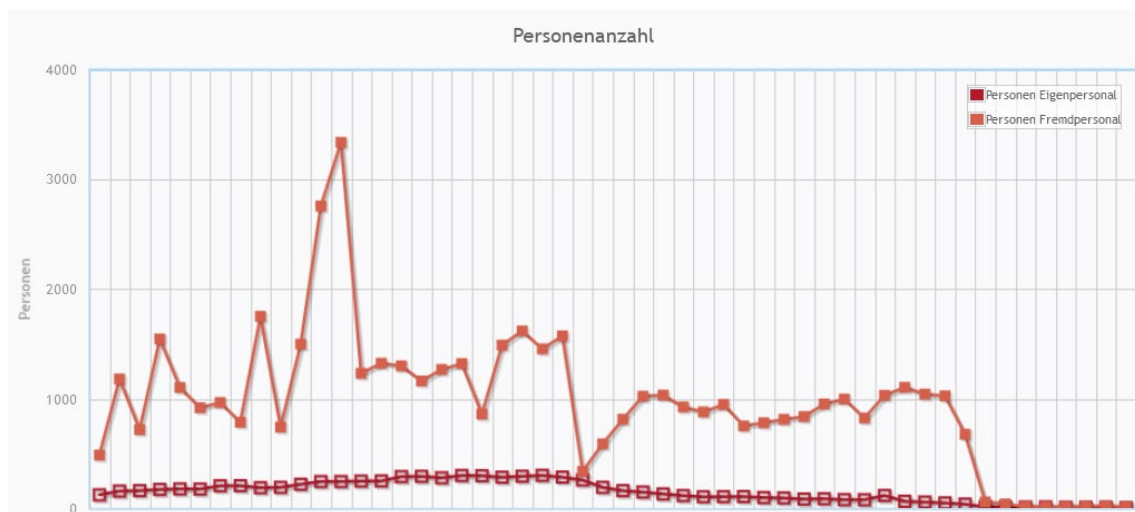


Abb. A.45 Verlauf der Personenanzahl beim Abbau von A-13 während aller Betriebsphasen /WIK 22/

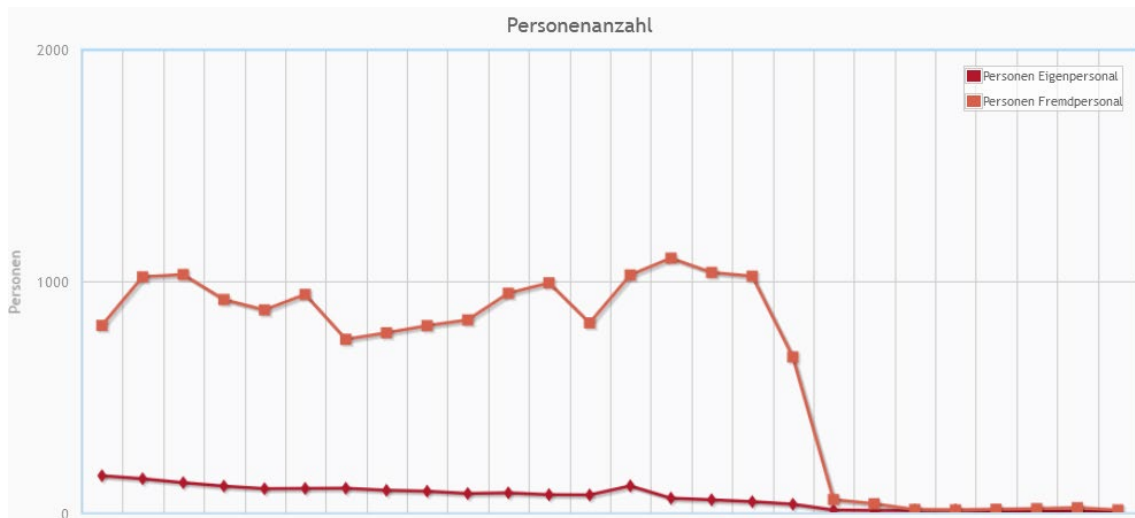


Abb. A.46 Verlauf der Personenzahl beim Abbau von A-13 während der Stilllegung
/WIK 24/

Auswertung

Auffälligkeiten beim Arbeits- und Personalaufwand lassen sich insbesondere beim Fremdpersonal während der umfangreichen Umrüstmaßnahmen feststellen. Diese umfassten eine Ertüchtigung des Kondensationskammerbodens, Sonderprüfungen an den Frischdampfleitungen, umfangreichere Umrüstmaßnahmen in den 1980er Jahren und brandschutztechnische Nachrüstungen, die in den 1990er Jahren durchgeführt wurden. In der Nachbetriebsphase sank der Anteil an Fremdpersonal zunächst sehr stark ab. In der Stilllegung wurde dann ein typischer Wert von ca. 1000 konstant bis zum Ende der Stilllegung gehalten. Die Stärke des Eigenpersonals sinkt mit dem Stilllegungsfortschritt, da die Anforderungen an den Restbetrieb immer weiter absinken. In dem Jahr, das den kleinen Peak beim Eigenpersonal zeigt, wurde die RDG-Kalotte zerlegt. Dieses Jahr stellt gleichzeitig das letzte mit Demontage von Komponenten dar. Möglicherweise war hierfür vorübergehend zusätzliches Personal erforderlich. Anschließend erfolgten im wesentlichen Dekontaminationsarbeiten am Gebäude, für die über einige Jahre verstärkt Fremdpersonal eingesetzt wurde.

A.13.4 Kollektivdosis

Erhöhte Dosiswerte beim Fremdpersonal korrelieren, wie auch deren Personenzahl, mit den Umrüstmaßnahmen im Betrieb. Nach der dauerhaften Außerbetriebnahme und der Stilllegung fallen die Dosiswerte auf ein stabiles, niedriges Niveau (siehe Abb. A.47).

In der gesamten Phase der Stilllegung kumuliert sich die Personendosis auf insgesamt rund 7,5 Pers.Sv, von denen über 7 Pers.Sv auf das Fremdpersonal entfallen. Die Personendosen zeigen einen fallenden Trend über die Stilllegungsphase (siehe Abb. A.48), überlagert von den typischen Schwankungen, bedingt durch die jeweiligen Abbautätigkeiten. Bereits in den letzten Stilllegungsjahren und erst recht danach (Restbetrieb als Zwischenlager), ist die Personendosis nahe bei oder genau null.

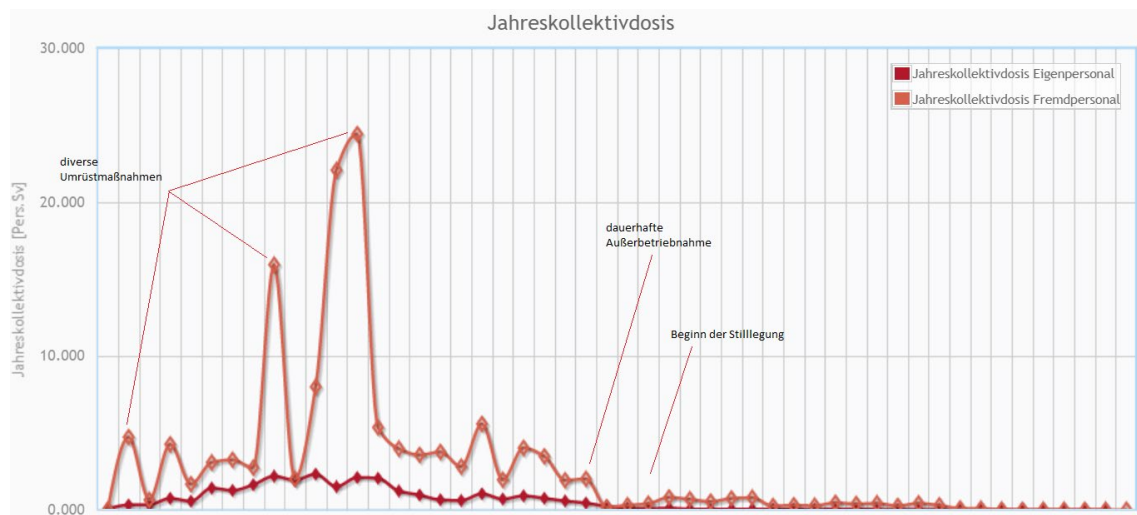


Abb. A.47 Entwicklung der Personendosen in A-13 /WIK 22/

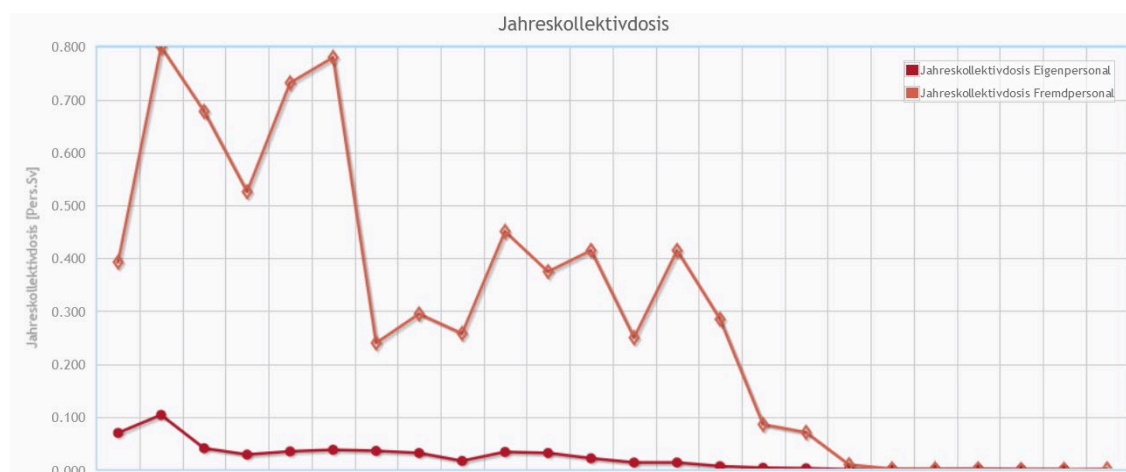


Abb. A.48 Entwicklung der Personendosen in A-13 während der Stilllegung und danach /WIK 22/

Auswertung

Gemäß den Planungen für die erste Phase der Stilllegung wurde von einer jährlichen Exposition von 1,2 Pers.Sv ausgegangen. Dieser Wert wurde weder in der ersten noch

in einer anderen Phase der Stilllegung jemals erreicht. Er lag in der ersten Phase zwischen 0,5 und 0,9 Pers.Sv/a und in den weiteren Phasen noch deutlich niedriger. Rechnerisch betrug die jährliche Gesamtexposition ca. 0,42 Pers.Sv in den 18 Stilllegungsjahren und damit bei etwa einem Drittel des angenommenen Wertes.

A.13.5 Ableitungen

Daten zu den Ableitungen aus A-13 liegen der GRS nur bis 2010 vor. In diesem Zeitraum werden die genehmigten Ableitungen zu maximal 4 % ausgeschöpft und sind somit sehr niedrig und unauffällig. Auf eine Darstellung wird verzichtet.

A.13.6 Reststoff- und Abfallaufkommen

Der direkte Rückbau der gesamten Anlage umfasst eine Masse von ca. 255.000 Mg. Bis vier Jahre vor dem Abschluss der Stilllegung sind gemäß /IST 15/ folgende Reststoff- und Abfallmassen angefallen:

- 11.000 Mg zur uneingeschränkten Freigabe
- 2.500 Mg zur Freigabe zur Beseitigung
- 5.800 Mg Metallschrott zur Rezyklierung/Verwertung
- 1000 Mg radioaktive Abfälle

Etwa 80 % entfallen dabei auf Betonstrukturen. Von der Gesamtmasse sind etwa 97 % nicht kontaminierter oder nicht aktivierter konventioneller Abfall, der wiederverwertet werden kann /WIK 22/. Etwa 4.590 Mg (1,8 %) sind radioaktiver Abfall, der entsorgt werden muss. Etwa 3.060 Mg (ca. 1,2 %) können nach einer Dekontamination wiederverwertet werden.

Auswertung

Nach Erhebungen des Bundesamtes für Strahlenschutz zum Abfallaufkommen aus dem Jahr 1996 werden aus der Stilllegung von A-13 5.988 m³ radioaktiven Abfalls erwartet. Nach /WIK 22/ war für die Arbeiten der Phase 1 mit insgesamt ca. 5.000 Mg Eisen und Stahl sowie ca. 2.000 Mg Beton zu rechnen. Der Beton stammte im Wesentlichen aus dem Rückbau der UNS-Kühlzellen, d. h. er ist nicht kontaminiert und kann wiederverwertet werden. Bei Eisen und Stahl wurde mit voraussichtlich ca. 5 % (ca. 250 Mg) an

radioaktiven Reststoffen gerechnet. Weitere 1.075 Mg Metallschrott wurden zum Einschmelzen an andere Genehmigungsinhaber abgegeben.

Nach Schätzungen /WIK 22/ werden voraussichtlich 60 % der Stahlmengen aus den Abbaumaßnahmen der Phase 5 uneingeschränkt freigegeben werden, 25 % zur Rezyklierung freigegeben oder kontrolliert verwertet werden. Etwa 15 % der Reststoffe aus Phase 5 sind zunächst radioaktive Reststoffe, von denen ein unbekannter Anteil als radioaktiver Abfall zu entsorgen ist.

A.13.7 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG

Die Tätigkeiten zum Rückbau der Anlage A-13 im Reaktorgebäude, Maschinenhaus und den angrenzenden Bauteilen im Kontrollbereich auf der Grundlage der vier erteilten Stilllegungs- bzw. Abbaugenehmigungen wurden beendet. Die Abluftanlage wurde nach dem Abschluss der Stilllegung außer Betrieb genommen. Es wurden Entscheidungsmessungen zum Nachweis der Unterschreitung der Freigabewerte zum Abriss der Gebäude sowie Freimessungen auf dem Außengelände zum Nachweis der Unterschreitung der Freigabewerte zur uneingeschränkten Freigabe von Bodenflächen durchgeführt /WIK 22/.

Reaktorgebäude und Maschinenhaus sollen erst nach Räumung der Zwischenlager abgerissen werden. Dabei sollen Gebäudestrukturen unterhalb der Geländeoberkante im Boden verbleiben. Ein hierfür notwendiger Freigabeantrag gemäß § 29 StrlSchV wurde durch die Betreiberinnen der Anlage A-13 gestellt.

Drei Jahre nach dem Abschluss der Stilllegung wurde der Freigabebescheid für die Freigabe der Bodenflächen auf dem Anlagengelände erteilt (erster Bescheid im zukünftig sog. „Zwei-Bescheid-Verfahren“) /WIK 22/. Daraufhin konnten ca. 116.000 m² Bodenflächen, für die die Einhaltung der Freigabewerte nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 7 StrlSchV nachgewiesen war, freigegeben werden. Das Anlagengelände bleibt als Betriebsgelände nach § 3 Abs. 2 Nr. 7 StrlSchV eingestuft. Die Entscheidungsmessungen zum Nachweis der Unterschreitung der Freigabewerte nach Anhang III Tabelle 1 Spalte 10 StrlSchV (Gebäude zum Abriss) wurden im Jahr 2018 endgültig abgeschlossen. Das Freigabeverfahren nach § 31 StrlSchV für die Kontrollbereichsgebäude wird auf der Basis der letzten Ergebnisse und einer Aktualisierung des Freigabeantrags von 2019 weitergeführt. Ausweislich der Stellungnahme der hinzugezogenen Sachverständigen bestehen im Hinblick auf die Einhaltung des 10-Mikrosievert-Konzeptes keine Beden-

ken, wenn nach dem Abriss der Gebäude dabei anfallender Bauschutt am Standort verbleibt /WIK 22/.

A.14 Anlage A-14

A.14.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitrahmen)

Bei Anlage A-14 handelt es sich um einen DWR mit einer elektrischen Bruttoleistung von ca. 700 MW. Nach Baubeginn Ende der 1960er Jahre wurde der Reaktor nach 5-jähriger Bauzeit erstmals kritisch und mit dem Stromnetz synchronisiert. Der Dauerbetrieb wurde Anfang der 1970er Jahre aufgenommen. Seit Mitte der 1980er Jahre stellte die zusätzliche Fernwärmeauskopplung für einen benachbarten Betrieb eine weitere Wärmesenke dar. Nach 31-jähriger Betriebsdauer wurde die Anlage zu Beginn des Jahrtausends aus wirtschaftlichen Gründen in die Stilllegung überführt.

Anlage A-14 befand sich bis zur Erteilung einer Stilllegungsgenehmigung knapp zwei Jahre im Nachbetrieb. Vom Leistungsbetriebsende bis zum Beginn der Stilllegung wurden auf Grundlage eines bewerteten Nachbetriebskonzepts der Abtransport aller Brennelemente und die Anpassung der Anlage an den Nachbetriebszustand (Außerbetriebnahme bzw. Demontage von Systemen, Komponenten, Anlagen und Einrichtungen, soweit nicht in Errichtungsgenehmigungen enthalten, Maßnahmen zur Dekontamination von Systemen, Anpassung der Betriebsunterlagen) realisiert. Der eigentliche Rückbau der Anlage wird in vier Phasen mit autarken behördlichen Genehmigungen durchgeführt, zuzüglich einer Phase 5 für den konventionellen Abriss. Diese fünf Phasen gestalten sich folgendermaßen:

- Phase 1: Abbau kontaminierter Anlagenteile im Kontrollbereich sowie anderer atomrechtlich genehmigter Anlagenteile; Errichtung und Inbetriebnahme Abfalllager
- Phase 2: Demontage weiterer kontaminierter Komponenten; Abbau und Entsorgung der Großkomponenten (z. B. Dampferzeuger)
- Phase 3: Aufbau Infrastruktur zur RDB-Demontage; Demontage RDB inklusive Einbauten; Abbau aktivierter Beton des biologischen Schildes
 - Phase 3 A: Abbau des Deckels des RDB, der Kerneinbauten, des biologischen Schildes sowie anderer Systeme und Komponenten

- Phase 3 B: Abbau des RDB
- Phase 4: Restfreiräumen; Entfernung kontaminierter Betonstrukturen; Freigabe der Gebäudestrukturen; Freigabe der Geländeflächen; Entlassung der Gebäude und des Geländes aus atomrechtlicher Überwachung; Anpassung der Infrastruktur und Betrieb des Lagers
- Phase 5 (konventionell): Abbruch der Gebäude /GRS 18/

Das Genehmigungsverfahren für die Stilllegung und den Abbau ist abgeschlossen. Seit mehreren Jahren konzentrieren sich die Abbauarbeiten auf die Dekontamination und Freigabemessungen, überwiegend im Bereich der Bodenkapsel. Die Stilllegung ist weit fortgeschritten und soll 2026 abgeschlossen sein. Deshalb wird A-14 in der anlagenübergreifenden Zusammenfassung (siehe Kap. 2.1) als „fast abgeschlossen“ geführt.

Insgesamt traten 317 Ereignisse auf, davon fünf in der Stilllegung. Potenziell rückbauer-schwerend könnten in den 1970er Jahren vier Ereignisse gewesen sein, die zu Kontamination des Kamins und der dorthin führenden Rohrleitungen führten. In der Stilllegung kam es im Zuge eines meldepflichtigen Ereignisses zum fehlerhaften Auftrennen von Rohrleitungen aufgrund fehlerhafter Kennzeichnung. In Folge eines weiteren meldepflichtigen Ereignisses kam es zur Kontamination innerhalb der Anlage aufgrund einer gelösten Schlauchverbindung durch einen Druckstoß.

Auswertung

Zu Beginn war mit einer Entlassung aus der atomrechtlichen Überwachung ca. zehn Jahre nach dem Beginn der Stilllegung geplant worden /STAN 1300/. Nach derzeitiger Planung wird die gesamte Stilllegungszeit voraussichtlich 22 Jahre dauern /WIK 22/. Hierfür kann ein Kontaminationsfund im Sicherheitsbehälter als gewichtiger Grund angegeben werden. Die Abbauarbeiten sollten sich dadurch, laut einer Schätzung der Betreiberin kurz nach dem Fund, um drei bis vier Jahre verzögern. Aktuell ist von einer Verzögerung im Bereich von mindestens zehn Jahren auszugehen /STAN 2880/.

A.14.2 Arbeits- und Personalaufwand

Die Abb. A.49 zeigt den Personalbestand von A-14 vom Beginn der Stilllegung bis zum heutigen Zeitpunkt. Nach der dauerhaften Außerbetriebnahme (nur teilweise dargestellt) der Anlage ist ein stetiger Abfall des Eigenpersonals festzustellen. Dieser hatte sein

Maximum zu Beginn des letzten Drittels des Leistungsbetriebs erreicht und von da an bereits leichte Rückgänge verzeichnet. Das Fremdpersonal schwankt in der Anzahl erwartungsgemäß stärker und wurde nach dem Leistungsbetrieb um etwa die Hälfte reduziert. In den letzten Jahren wurde das Fremdpersonal, ausgehend von niedrigem Niveau wieder aufgebaut und konstant gehalten. Hinsichtlich des Arbeitsaufwands (Pers.h) in der Stilllegung liegen der GRS nur Informationen zu spezifischen Abbautätigkeiten vor, die hier nicht thematisiert werden.

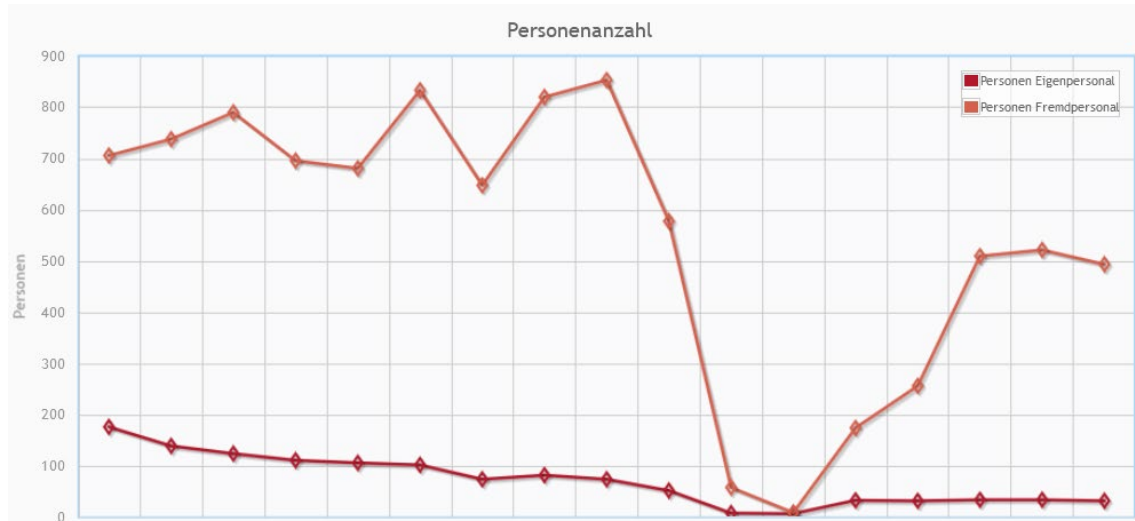


Abb. A.49 Personalbedarf in A-14 während der Stilllegung /WIK 22/

Auswertung

Das Vorfinden von Kontaminationen im Bereich der Bodenklotte von A-14 fällt in den Zeitraum mit fehlenden Datenpunkten, so dass keine Aussagen zum Einfluss dieses Umstandes auf das Personal möglich sind. Die Arbeiten der letzten Stilllegungsjahre konzentrierten sich auf Dekontaminations- und Abbauarbeiten an der Bodenklotte. Es ist anzunehmen, dass speziell hierfür Fremdpersonal aufgestockt wurde. Eigenpersonal ist in der Anlage mit großem Abbaufortschritt nur noch in geringem Umfang nötig, um den Restbetrieb zu gewährleisten.

Bis Ende 2021 berechnet sich der Arbeitsaufwand in der Stilllegung aus dem jährlichen Personaleinsatz zu 10.573 Pers.Jahren.

A.14.3 Kollektivdosis

Der Verlauf der Jahreskollektivdosis zeigt für das Eigenpersonal im Mittel einen bis zur dauerhaften Außerbetriebnahme abfallenden Trend. In der Zeit des Abbaubetriebs (siehe Abb. A.50) schwanken die Dosiswerte mit den jeweiligen Abbautätigkeiten auf niedrigem Niveau. Mit der Entfernung aktivierter und kontaminierter Komponenten wird der Dosisertrag innerhalb der ersten zehn Abbaujahre erheblich reduziert. In den letzten Jahren, in denen überwiegend Dekontaminationsarbeiten im Bereich der Bodenkalotte durchgeführt wurden, ist die Dosis für Eigen- und Fremdpersonal sehr gering. Für drei Jahre liegen der GRS keine Daten vor.

Ohne die fehlenden Daten ergibt sich eine kumulierte Kollektivdosis von ca. 3,6 Pers.Sv während der bisherigen Stilllegung. Hiervon entfallen ca. 3,4 Pers.Sv auf das Fremdpersonal.

Auswertung

Der Verlauf der Kollektivdosen für Eigen- und Fremdpersonal in A-14 ist idealtypisch. Während das Eigenpersonal den sicheren Restbetrieb sicherstellt und dabei kaum Strahlung ausgesetzt ist, baut das Fremdpersonal zügig die radiologisch relevanten Komponenten ab und senkt damit das Dosisleistungsniveau deutlich, so dass beim Restabbau bzw. bei den Dekontaminationsarbeiten am Ende der Stilllegung nur noch wenig Dosis anfällt.

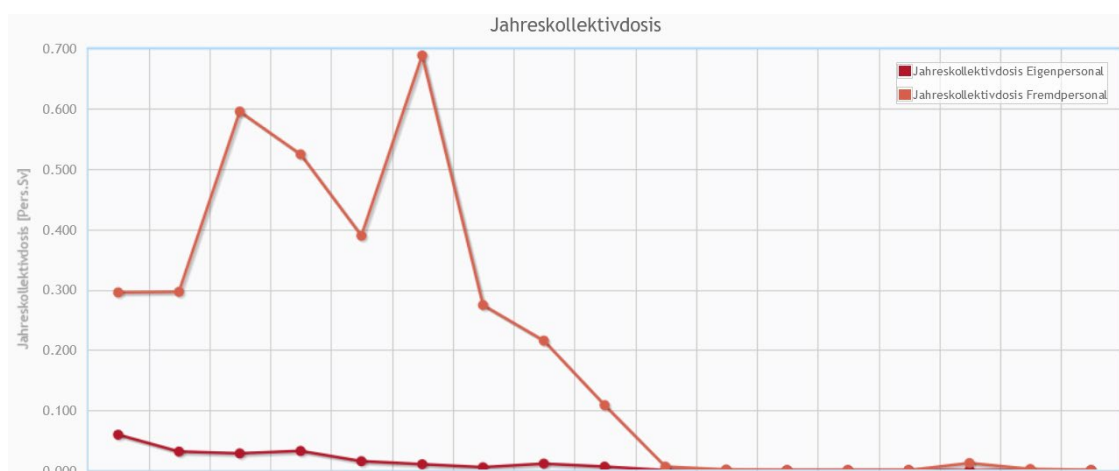


Abb. A.50 Verlauf der Jahreskollektivdosis für das Eigen- und Fremdpersonal während der Stilllegungsphase von A-14 /WIK 22/

Der Planungswert für die kumulierte Kollektivdosis während der gesamten Stilllegung beträgt 10 Pers.Sv. Der tatsächliche Wert von > 3,6 Pers.Sv liegt deutlich darunter, wenngleich die Stilllegung noch nicht vollständig abgeschlossen ist. Angesichts des bisherigen Verlaufs ist dennoch ein deutliches Unterschreiten des Planungswerts zu erwarten.

A.14.4 Ableitungen

Mit dem Übertritt vom Nach- in den Restbetrieb stellte die Betreiberin einen Antrag auf geänderte Grenzwerte für Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft. Für den Grenzwert für I-131 wurde eine ersatzlose Streichung beantragt. Die Grenzwerte für die Ableitungen mit dem Abwasser sind unverändert geblieben.

Mit dem Übergang der Anlage von der Nachbetriebsphase in den Restbetrieb ging daher auch eine Änderung des Messregimes der Überwachung von Ableitungen einher: In der Gesamtfortluftüberwachung des Kamins entfällt die Messgröße I-131. Obgleich radioaktive Edelgase nicht mehr gebildet werden, verbleiben sie zusammen mit den luftgetragenen Aerosolen in der betrieblichen Emissionsüberwachung. Der Einsatz entsprechender Geräte und die Wahl der Messorte müssen dem Stand der Rückbauarbeiten angepasst werden.

In den ersten Jahren nach der Außerbetriebnahme nahmen die Ableitungen von Edelgasen und Tritium zu, um danach wieder geringer zu werden. Ein solches Verhalten ist zu erwarten, da nach der Abschaltung Systeme und Komponenten geöffnet und entleert werden. Mit dem Abbau der Komponenten wird das Potenzial zur Ableitung schrittweise reduziert.

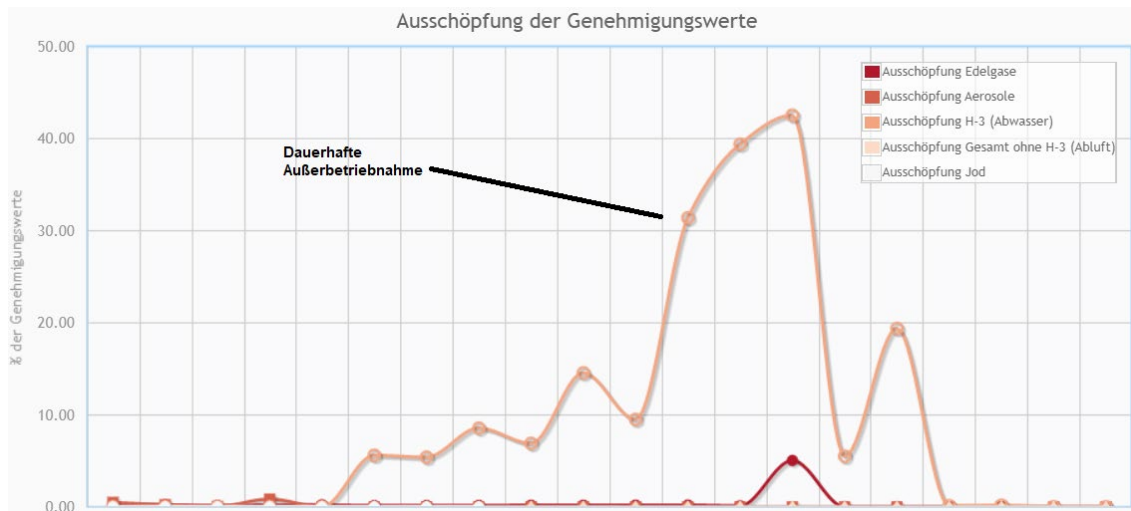


Abb. A.51 Ausschöpfung der Genehmigungswerte für Ableitungen aus A-14 in Betrieb und Stilllegung /WIK 21/

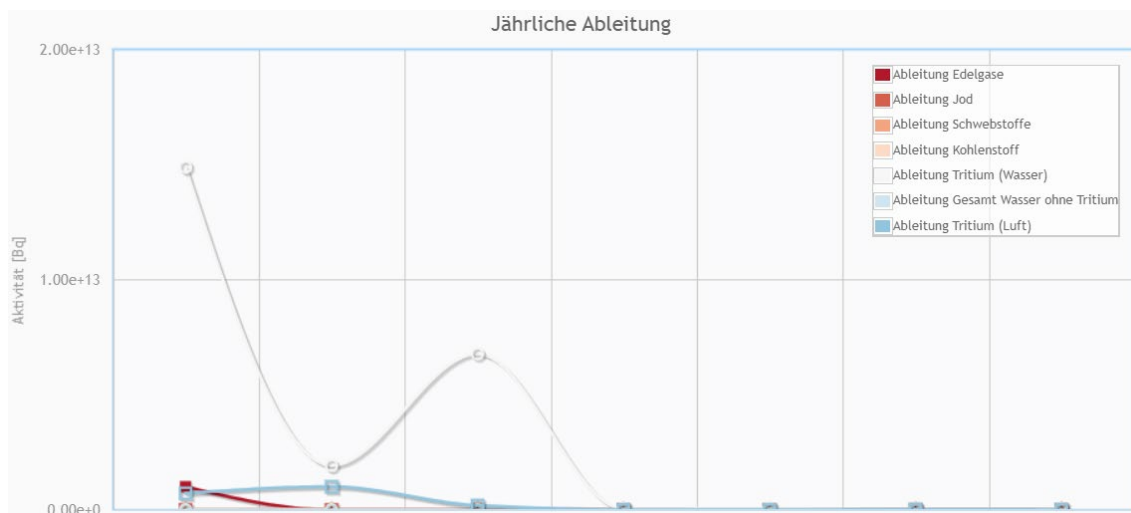


Abb. A.52 Absolutwerte der Ableitungen aus A-14 in der Stilllegung /WIK 21/

Der Verlauf der Ableitungen nach der endgültigen Abschaltung der Anlage zeigt das erwartete Verhalten. Die Ausschöpfung der Genehmigungswerte im Bereich bis gut 40 % deutet auf eine realistische Abschätzung der Ableitungen in der Planungsphase hin.

A.14.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Der GRS liegen derzeit keine Informationen zum tatsächlichen Reststoff- und Abfallaufkommen vor. Planungswerte sind im folgenden Abschnitt aufgeführt.

Auswertung

Im Genehmigungsverfahren zur Stilllegung von A-14 wurden das Reststoff- und Abfallaufkommen durch die Betreiberin mit den Werten in Tab. A.11 abgeschätzt. Aktuellere Schätzungen oder tatsächliche Werte konnten durch die GRS nicht ermittelt werden. Im Laufe der Abbauphase 4 wurden jedoch Kontaminationen im Beton am Boden der Kaldtasse des Sicherheitsbehälters festgestellt, die die Reststoff- und Abfallmengen erhöhen werden. Durch Beprobungen konnte die Menge an kontaminiertem Beton auf 600 bis 1000 Mg beziffert werden. Diese Mengen mussten durch Abriss der sich darauf befindenden Gebäudestrukturen zunächst zugänglich gemacht werden und können nicht durch die übliche Freimessung an der stehenden Gebäudestruktur nach Grobdekontamination freigegeben werden. Der kontaminierte Beton wird abhängig vom Aktivitätsgehalt als radioaktiver Abfall klassifiziert oder eingeschränkt bzw. uneingeschränkt freigegeben. Nach Angaben der Betreiberin verzögert sich der Abbau dadurch um drei bis vier Jahre.

Tab. A.11 Vergleich der Schätzwerte und voraussichtlichen Werte der Reststoff- und Abfallmengen

	Schätzwert vor Abbaubeginn in Mg /STAN 2020/	Voraussichtlicher Wert nach aktueller Schätzung in Mg
Gesamtmasse	127.540	101.353
Entsorgung durch eingeschränkte oder uneingeschränkte Freigabe	124.005	97.830
Kontrollierte Verwertung und Wiederverwertung	545	539
Entsorgung als radioaktiver Abfall	2.990	2.984

A.14.6 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG

Die radioaktiven Abfälle aus dem Restbetrieb und dem Rückbau sollen in KONRAD-gemäßen Containern bis zur Einlagerung in ein Bundesendlager im autark betriebenen standortnahen Lager für radioaktive Abfälle gelagert werden. Nach der Freigabe der Gebäude und des Anlagengeländes aus der atomrechtlichen Überwachung werden die Gebäude konventionell abgerissen /STAN 1300/. Nach derzeitigem Kenntnisstand der GRS wird dieses Ziel mit Verzögerung erreicht.

A.15 Anlage A-15

A.15.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Bei Anlage A-15 handelt es sich um einen DWR der ersten Generation mit einer elektrischen Brutto-Generatorleistung von mehreren 100 MW. Die Anlage nahm nach 4-jähriger Bauzeit gegen Ende der 1960er Jahre den kommerziellen Betrieb auf und beendete diesen im Rahmen des sog. Atomkonsens. In diesem Zeitraum wurden ca. 87 TWh an Energie in das öffentliche Netz gespeist /IAE 24/.

Im Verlauf des Leistungsbetriebes kam es im Bereich des Sekundärkreislaufes aufgrund von Leckagen von Dampferzeugerheizrohren zum Austritt von Aktivität. Die Auswirkung dieser Störungen auf den Stilllegungs- und Abbaubetrieb wurde in entsprechenden Voruntersuchungen ermittelt und in den Planungen der Arbeiten berücksichtigt /GRS 18/. Im Zuge der aufgetretenen Leckagen waren die Dampferzeuger der Anlage ausgetauscht worden. Sie stellen damit einen zusätzlichen Massenstrom dar /IST 15/. Weiterhin kam es wenige Jahre nach dem Beginn des Leistungsbetriebs zur Zerstörung des Abwasserbehälters. Hierzu liegen der GRS keine weiteren Informationen vor /WIK 21/. Der Betrieb der Anlage zeichnete sich durch eine lange Laufzeit sowie geringen Ausfallzeiten aus, was hinsichtlich der zu erwartenden Kontamination zu berücksichtigen ist /IST 15/. Neben den anlagentechnischen Veränderungen im Bereich des Sekundärkreislaufes wurden während des Leistungsbetriebes Änderungen in der Zusammensetzung des Primärkreislaufkühlmittels vorgenommen, um zuvor beobachtete Ablagerungen aktivierter Korrosionsprodukte zu verhindern /WIK 21/. Insgesamt traten 270 Ereignisse auf, davon eines während der Stilllegung.

Die Nachbetriebsphase dauerte drei Jahre. Während dieser wurden die Brennelemente aus dem Reaktor entladen und in das externe Nasslager transportiert, nicht mehr benötigte Systeme außer Betrieb genommen, Systeme dekontaminiert, Proben an Systemen und Komponenten und die erforderlichen Antragsunterlagen erarbeitet /IST 15/.

Der erste Genehmigungsbescheid nach § 7 Abs. 3 AtG für die Stilllegung und den Abbau des Kernkraftwerks A-15 wurde Ende der 2000er Jahre erteilt. Das Gesamtvorhaben

wurde zu Beginn mit drei Genehmigungen und dementsprechend mit folgenden drei Abbauschritten gemäß /IST 15/ angestrebt:

1. Abbau von stillgesetzten Anlagen, Anlagenteilen, Systemen und Komponenten, die ausschließlich im Überwachungsbereich angeordnet sind. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Anlagenteile, bei denen eine Aktivierung oder Kontamination auszuschließen ist.
2. Abbau von stillgesetzten Anlagen, Anlagenteilen, Systemen und Komponenten, die im Überwachungs- und Kontrollbereich angeordnet sind. Dies umfasst insbesondere den Abbau der schwach und stärker kontaminierten Systeme und Anlagenteile sowie den Abbau der aktivierten Anlagenteile im Kontrollbereich.
3. Abbau der restlichen Anlagen, Anlagenteile, Systeme und Komponenten im Überwachungs- und Kontrollbereich, soweit deren Abbau erforderlich ist, um die Freigabe gemäß § 29 StrlSchV der Gebäude mit den darin noch enthaltenen Anlagenteilen sowie die Freigabe gemäß § 29 StrlSchV von Teilen des Anlagengeländes zu erreichen.

Entgegen der ursprünglichen Planung wurde im Jahr 2015 eine 4. Abbaugenehmigung beantragt. Diese beinhaltet den Abbau der Restbetriebssysteme sowie die Dekontamination und das Freimessen der Gebäude mit abschließender Entlassung aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes.

Der Ausbau und der Abtransport der Dampferzeuger und Hauptkühlmittelpumpen wurde vier Jahre nach dem Beginn der Stilllegung erreicht. Nach neun Jahren wurde mit der Zerlegung des RDB und der zwischenzeitlichen Zerlegung der RDB-Einbauten ein weiterer Meilenstein erreicht. Im 11. Jahr der Stilllegung wurde der Abbau des biologischen Schildes und des BE-Lagerbeckens abgeschlossen. Schwerpunkte der Arbeiten bis zum Ende der Stilllegung sind die Anpassung der Lüftungsanlagen, der Abbau restlicher Anlagenteile, Systeme und Komponenten sowie die Dekontamination der Gebäude /WIK 23/.

Die derzeitige Planung sieht den Abschluss der Stilllegung im Jahr 2024 vor und wird deshalb in der anlagenübergreifenden Zusammenfassung (siehe Kap. 2) als „fast abgeschlossen“ geführt.

Auswertung

Die ursprüngliche Planung sah den Abschluss der Stilllegung nach etwa 15 Jahren nach Erteilung der Stilllegungsgenehmigung vor. Zum damaligen Zeitpunkt ging man von einer einjährigen Nachbetriebsphase aus, welche sich jedoch auf drei Jahre erstreckte /STAN 1831/. Der Antrag auf Erteilung der 1. SAG wurde noch zwei Jahre nach dem ersten Antrag präzisiert und ergänzt. Ein Jahr später erfolgte ein Antrag auf Wechsel des Antragstellers und wiederum ein Jahr später die Erteilung der Genehmigung. In der Präzisierung zum Antrag zur 1. SAG war der Beginn der zweiten Abbauphase fünf Jahre und der zur dritten Abbauphase zwölf Jahre nach dem Stilllegungsbeginn vorgesehen. /STAN 2160/. Tatsächlich konnte schon drei Jahre nach dem Stilllegungsbeginn mit der zweiten Abbauphase und schon fünf Jahre mit der dritten Abbauphase begonnen werden. Hierbei muss bedacht werden, dass große Teile wie der Abbau der noch verbliebenen Systeme und Anlagenteile sowie die Dekontamination der Gebäudestrukturen der nicht vorgesehenen vierten Abbauphase zugeordnet wurden, die wiederum zehn Jahre nach Stilllegungsbeginn begonnen werden konnte. Die Hälfte der Verzögerung ergab sich aus der von einem auf drei Jahre verlängerten Nachbetriebsphase. Sofern der Abschluss der Stilllegung zum angedachten Zeitpunkt erfolgen wird, wird sich die Verzögerung auf vier Jahre belaufen.

A.15.2 Arbeits- und Personalaufwand

Der Personalaufwand der Anlage A-15, gegliedert nach Eigen- und Fremdpersonal, ist in Abb. A.53 dargestellt. Erhöhter Fremdpersonalbedarf ist an den Peaks nach dem ersten Drittel und der Hälfte des betrachteten Zeitraums festzustellen. Dieser korreliert mit dem Austausch der Dampferzeuger (siehe A.15.1) und einer ausgedehnten Revision, in deren Rahmen umfangreiche Nachrüstungen durchgeführt wurden /WIK 21/. Zu erkennen ist, dass nach dem Ende des Leistungsbetriebs das Eigenpersonal signifikant und zum Ende des Betrachtungszeitraums weiter abfällt und nur im letzten beobachteten Jahr wieder leicht gestiegen ist. Neben den typischen Fluktuationen des Fremdpersonals ist ein Anstieg während der Stilllegungsphase zu erkennen, dem zuletzt ein Rückgang und ein leichter Anstieg im letzten Beobachtungsjahr folgte.

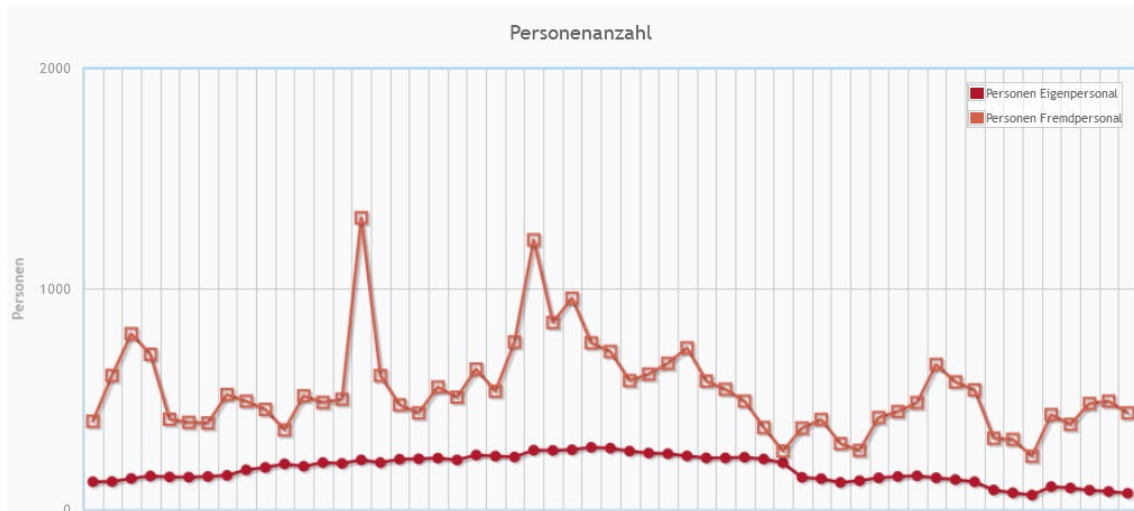


Abb. A.53 Personalbedarf in A-15 während des Leistungs- und Abbaubetriebs /WIK 21/. Etwa das letzte Viertel markiert die Stilllegungsphase.

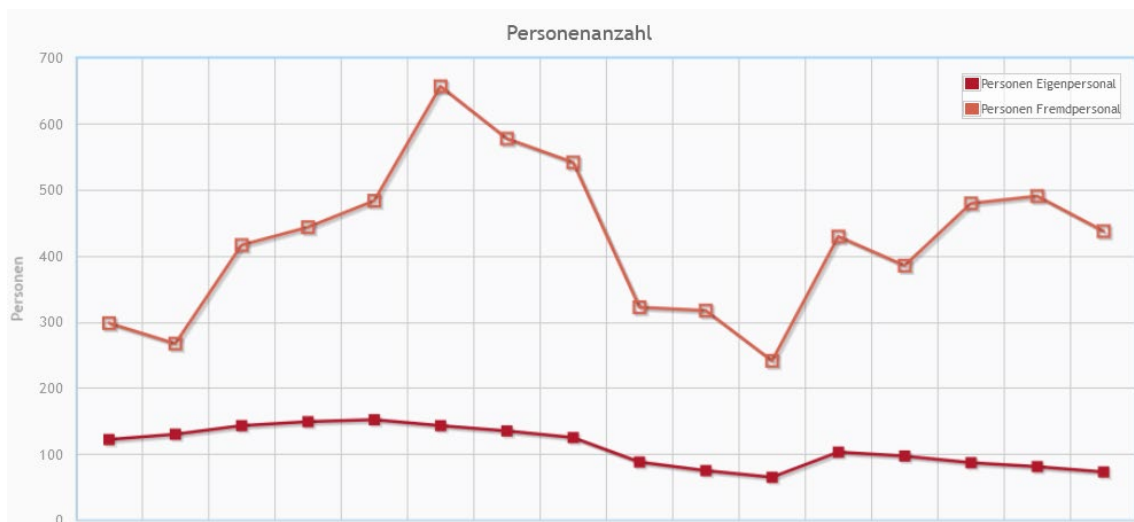


Abb. A.54 Personalbedarf in A-15 während der Stilllegung /WIK 24/

Auswertung

Summiert über die Stilllegungsjahre bis 2021 ergibt sich aus dem jährlichen Personaleinsatz ein Arbeitsaufwand von 7461 Pers.Jahren. Erkennbar ist die deutliche und auch typische Abnahme des Eigenpersonals nach der Abschaltung der Anlage. Die Zahl des Fremdpersonals erreichte zum Ende des Nachbetriebs einen ersten Peak und korrelierend mit der Zerlegung der RDB-Einbauten ein Maximum für den Stilllegungszeitraum. Mit Beginn der letzten Arbeitsschritte (Anpassung der Lüftungsanlagen, Abbau restlicher Anlagenteile, Systeme und Komponenten, Dekontamination der Gebäude) nahm die Zahl des Fremdpersonals wieder zu.

A.15.3 Kollektivdosis

Die Kollektivdosis für den gesamten Abbau beträgt 1,478 Pers.Sv. Einige wichtige Kenn-
daten zur Exposition des Personals sind in Abb. A.55 und Abb. A.56 aufgeführt.

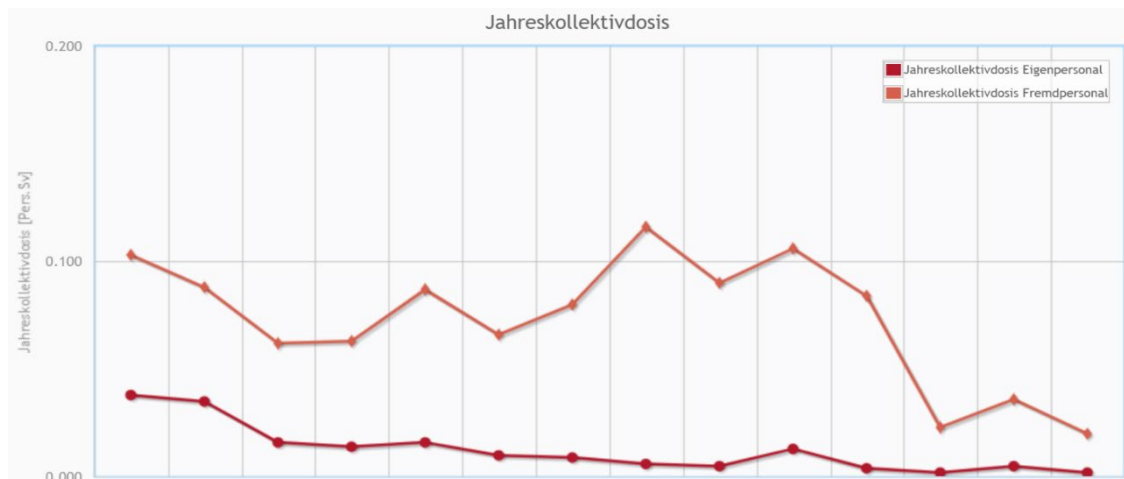


Abb. A.55 Verlauf der Jahreskollektivdosis für das Eigen- und Fremdpersonal während der Stilllegung von A-15 /WIK 21/

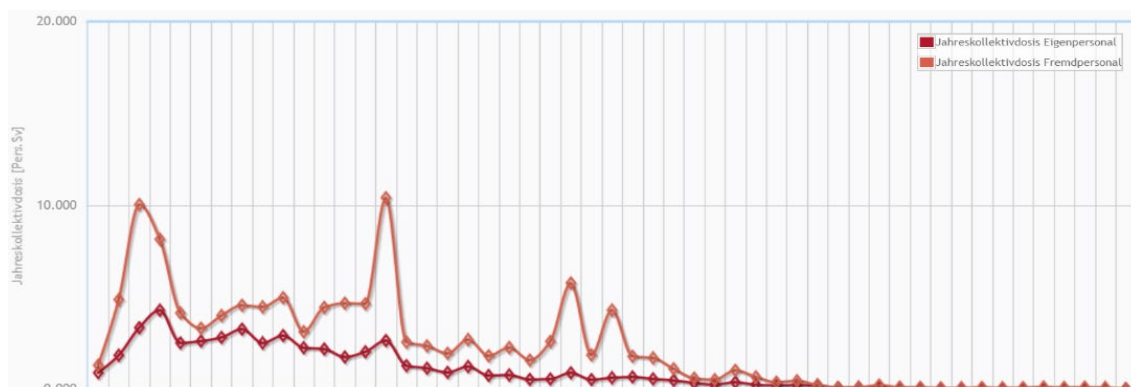


Abb. A.56 Verlauf der Jahreskollektivdosis für das Eigen- und Fremdpersonal während aller Betriebsphasen von A-15 /WIK 21/

Auswertung

Der Verlauf der Jahreskollektivdosen für die Stilllegung zeigt sowohl für das Eigen- als auch für das Fremdpersonal keine besonderen Auffälligkeiten. Die kumulierte Kollektivdosis von 1,5 Pers.Sv bis kurz vor Abschluss der Stilllegung und damit nach der Handhabung der am höchsten belasteten Anlagenteile ist in Relation zur Reaktorleistung im mittleren Spektrum sowie einer hohen zweistelligen Bruttoerzeugung (Mrd. kWh) als niedrig einzuschätzen. Im besonderen Maße haben jedoch die Arbeiten zum Tausch der

Dampferzeuger und möglicherweise auch Arbeiten im Zusammenhang mit der Zerstörung des Abwasserbehälters sowie weiterer Nachrüstmaßnahmen im Leistungsbetrieb zu starken Anstiegen der Jahreskollektivdosen für Eigen- und besonders für Fremdpersonal beigetragen.

A.15.4 Ableitungen

Die Ableitungen aus A-15 während der Stilllegungsphase sind in Abb. A.57 dargestellt. Die Genehmigungswerte wurden zu jeder Zeit deutlich unterschritten. Im dritten Jahr der Stilllegung ist eine Erhöhung der Tritiumableitung ins Wasser zu erkennen. Die Genehmigungswerte für die Tritiumableitung ins Wasser werden dabei zu knapp 1 % ausgenutzt.

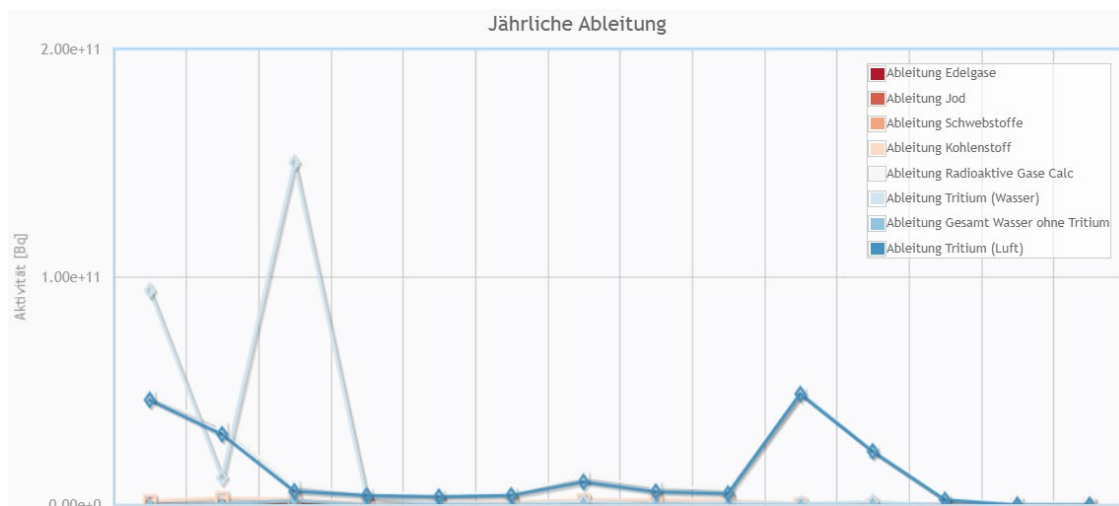


Abb. A.57 Ableitung mit der Fortluft und dem Abwasser aus der Anlage A-15 /WIK 23/

A.15.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Bis drei Jahre vor dem geplanten Stilllegungsabschluss sind insgesamt ca. 37.900 Mg Reststoffe und Abfälle angefallen. Bei ca. 1.030 Mg handelt es sich um radioaktive Abfälle. Von den Reststoffen befinden sich derzeit noch ca. 17.900 Mg in der Anlage, die restlichen 19.000 Mg wurden aus der Anlage KWO abgegeben. Hiervon wurden 11.090 Mg uneingeschränkt freigegeben und 3.630 Mg zweckgerichtet (zur Beseitigung) freigegeben. Von der in der Anlage vorhandenen Lagerkapazität von 3670 Mg waren bis drei Jahre vor dem geplanten Stilllegungsabschluss rund 90 % belegt.

Die Brennelemente wurden im Nasslagerbecken in einem benachbarten Gebäude bis zum Abtransport in 15 Castorbehältern gelagert.

Auswertung

Die Gesamtmasse der Anlage A-15 betrug 275.000 Mg. Davon fallen ca. 136.000 Mg an Massen im Kontrollbereich an und ca. 139.000 Mg außerhalb des Kontrollbereichs. Gemäß /WIK 21/ sah die Planung die direkte Entsorgung oder Nachnutzung in den konventionellen Stoffkreislauf von 263.000 Mg vor. Von insgesamt 12.100 Mg radioaktiver Reststoffe zzgl. 550 Mg radioaktiver Zusatzmassen sollten 10.900 Mg zur Reststoffbearbeitung gemäß § 29 StrlSchV freigegeben werden, ca. 500 Mg verbleiben im Stoffkreislauf der Kerntechnik. Als radioaktive Abfälle sollten 1.500 Mg zuzüglich Sekundärabfälle von 250 Mg wie Strahlmittel aus dem Stilllegungsbetrieb und dem Abbau anfallen.

Es zeigt sich, dass bereits mehr Reststoffe freigegeben werden konnten als die ursprüngliche Planung vorsah. Die bislang angefallene Masse an radioaktiven Abfällen entspricht ca. 2/3 der Planung (siehe Tab. A.12).

Tab. A.12 Erwartete Massenströme der Stilllegungsaktivitäten (ohne radioaktive Abfälle aus dem Leistungs- und Nachbetrieb) von A-15 /WIK 23/

Herkunft der Abbaumasse	Masse ca. [Mg]
Außerhalb des Kontrollbereichs	139.000
Nicht radioaktive Reststoffe (Gebäudestrukturen, Anlagenteile)	136.300
Radioaktive Reststoffe aus dem Überwachungsbereich (im Wesentlichen 1. SAG)	2.700
Kontrollbereich	136.000
Radioaktive Reststoffe aus dem Abbau von Anlagenteilen	6.800
Gemäß § 29 StrlSchV freizugebende Gebäudestrukturen und Anlagenteile	129.200
Sekundärabfälle (Strahlmittel, Strahlenschutzbekleidung, Abfälle der Abwasserbehandlung)	250
Zusatzmassen (Einrichtungen und Geräte des Abbaus im Kontrollbereich)	550
Gesamtmasse des Abbaus der Anlage	275.800

A.15.6 Zustand des Standortes nach Entlassung aus dem AtG

Im Rahmen der 1. SAG wurden Anlagenteile im Überwachungsbereich, z. B. Sekundärkreiskomponenten, abgebaut. Der mit der 2. SAG beantragte Abbau des Primärkreises ist weit fortgeschritten. Im Rahmen der 3. Abbaugenehmigung sind die RDB-Einbauten abgebaut und das RDB-Unterteil zerlegt worden. Der Abbau des biologischen Schildes ist in Vorbereitung. Der Abbau der restlichen Systeme soll dann im Rahmen der 4. Abbaugenehmigung erfolgen. Diese beinhaltet den Abbau der restlichen Systeme, deren Abbau nicht mit der 1., 2. oder 3. Abbaugenehmigung genehmigt wurde. Nicht durch die 4. Abbaugenehmigung abgedeckt ist der Abbau des Abfalllagers für radioaktive Abfälle sowie die für das Lager benötigte Infrastruktur. Die Brennelemente wurden in 15 Behältern in ein Zwischenlager verbracht. Anlage A-15 ist seitdem brennelementfrei. Erst nach Abschluss aller vier SAG kann die Entlassung des Anlagengeländes aus der atomrechtlichen Überwachung erfolgen.

B Anhang B: Stilllegungsbilanzen der B-Anlagen (endgültige Abschaltung 2011)

B.1 Anlage B-1

Das Kernkraftwerk B-1 wurde in den 1970er Jahren von Siemens/KWU gebaut und ist vom Typ DWR der 2. Generation mit einer elektrischen Bruttoleistung von ca. 1400 MW_e. Die Anlage wurde aufgrund des Atom-Moratoriums im März 2011 zunächst vorübergehend abgeschaltet und verlor infolge der 13. AtG-Novelle zum 6. August 2011 die Berechtigung zum Leistungsbetrieb.

B.1.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie

Der Antrag auf Erteilung einer Genehmigung nach § 7 Abs. 3 AtG zur Stilllegung und zum Abbau der Anlage B-1 wurde erstmalig Anfang der 2010er Jahre gestellt. Etwa ein Jahr später erfolgte eine Antragserweiterung, da die Betreiberin davon ausgehen musste, dass die Brennelementfreiheit zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der Stilllegungsgenehmigung noch nicht gegeben ist. Ab Erteilung der SAG rechnet die Betreiberin mit einer Gesamtdauer für Stilllegung und Rückbau von ca. 13 Jahren bis zur Entlassung der Anlage B-1 aus dem Atomgesetz. Weitere zwei Jahre werden für den Gebäudeabbruch und somit bis zum Erreichen des Rückbauziels „Grüne Wiese“ eingeplant.

In der Nachbetriebsphase fanden vorwiegend Anpassungs- und Entsorgungsmaßnahmen statt. Alle Brennelemente wurden in Castor V/19-Behälter verladen und im Standortzwischenlager eingelagert. Kurz nach Inanspruchnahme der Stilllegungsgenehmigung erreichte die Anlage den Status der Brennelementfreiheit. Der Status Kernbrennstofffreiheit wurde ein Jahr später erreicht /WIK 22/.

Eine Primärkreisdekontamination („Full System Decontamination“ (FSD)) wurde zu Beginn der Nachbetriebsphase durchgeführt, um im weiteren Verlauf bei der Planung sowie bei rückbauvorbereitenden- und konkreten Rückbauarbeiten von einer deutlich reduzierten Ortsdosisleistung zu profitieren. Hierbei wurden hauptsächlich kraftwerkseigene Systeme und Komponenten in Kombination mit den von AREVA entwickelten HP/CORD® UV-Verfahren und AMDA® (Automatische Modulare Dekontaminations-Anlage) eingesetzt. Durch die FSD konnte die Ortsdosisleistung in Anlagenräumen des Primärkreises um einen Faktor 100 reduziert werden. In der Konsequenz reduziert sich ebenfalls die Exposition für Eigen- und Fremdpersonal.

Zu Beginn der Stilllegungsphase bis zur Erstellung des vorliegenden Berichtes fanden Abbau- und Entsorgungsmaßnahmen statt. Hierbei sind vor allem der Abbau und die Entsorgung der RDB-Einbauten und der Hauptkühlmittelpumpen, vorbereitende Maßnahmen zum Ausbau der Dampferzeuger im Ganzen, zum Abbau des RDB und zum Aufbau des Reststoffbearbeitungszentrums zu nennen. Der Meilenstein Wasserfreiheit wurde erreicht, und die Loop-Leitungen wurden bis auf die Anschlüsse am RDB demontiert und der Entsorgung zugeführt. Demontagerbeiten an den Massengewerken und die Zerlegung der demontierten Massen verlaufen parallel.

Insgesamt verlaufen die Tätigkeiten in der Nach- und Restbetriebsphase planmäßig. Mit Blick auf die Stilllegung konnte die Anlage B-1 von dem Umstand profitieren, dass mit Beginn der Restbetriebsphase die Brennelemente weit genug abgeklungen waren, um diese im Rahmen einer CASTOR®-Beladekampagne in das vorhandene Standortzwischenlager zu überführen. Die oben beschriebenen Rückbautätigkeiten verliefen ohne zeitliche Einschränkungen, so dass die von der Betreiberin angesetzte reine Rückbauzeit von 13 Jahren als realistisch zu bewerten ist.

In der gesamten Anlagenhistorie ereigneten sich 365 Ereignisse, davon sieben in der Zeit der Stilllegung. In den 1980er Jahren führten drei Ereignisse wegen Leckagen zu Kontaminationen im Hilfsanlagen- und Reaktorgebäude, was zu möglichen Erschwernissen während der Stilllegung führen könnte.

B.1.2 Entwicklung und Bewertung des Arbeits- und Personalaufwands

Der Personalaufwand der Anlage B-1 mit Beginn des Leistungsbetrieb bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist in Abb. B.1 dargestellt. Im Vergleich dazu ist der Personalaufwand in der Stilllegung in Abb. B.2 dargestellt.

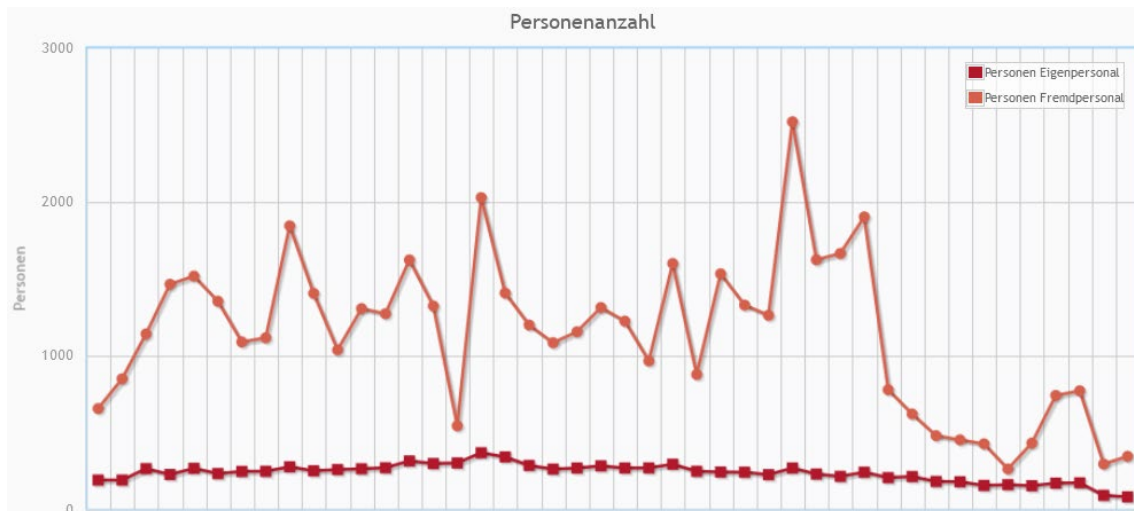


Abb. B.1 Entwicklung der Personalstruktur der Anlage B-1 über den kompletten Lebenszyklus

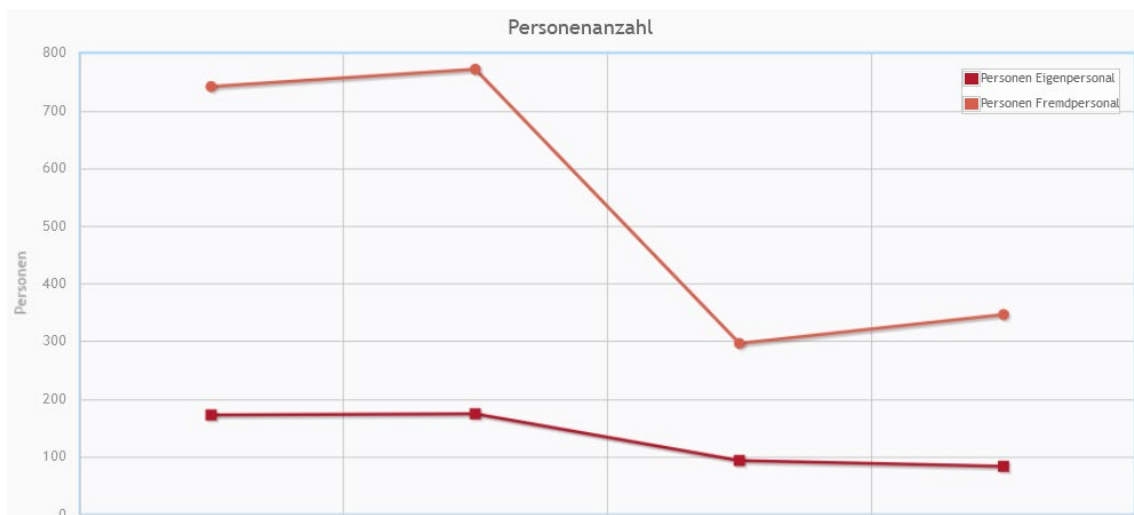


Abb. B.2 Entwicklung des Personaleinsatzes während der Stilllegung in B-1

Anhand der Entwicklung des Personalaufwands über die verschiedenen Betriebsphasen der Anlage B-1 ist zu erkennen, dass in der Phase des Leistungsbetriebes die Anzahl des Eigenpersonals im Mittel ca. 270 Personen beträgt. Mit Beginn der Nachbetriebsphase nimmt die Anzahl des Eigenpersonals jedoch stetig ab, da das Arbeits- und Tätigkeitsspektrum durch die noch gültige Betriebsgenehmigung hinsichtlich der Vorbereitung auf die kommende Stilllegung eingeschränkt ist. Mit Inanspruchnahme der Stilllegungsgenehmigung steigt der Personalaufwand erwartungsgemäß wieder geringfügig an.

Derselbe Trend ist bei der Entwicklung der Zahlen des Fremdpersonals festzustellen. In der Phase des Leistungsbetriebes waren vor allem revisionsbedingt zwischen 1000 und 2000 Personen an Fremdpersonal auf der Anlage tätig. Während des Nachbetriebes reduzierte sich die Anzahl kontinuierlich, nimmt aber mit dem Wechsel in die Phase des Restbetriebes erwartungsgemäß wieder zu.

B.1.3 Entwicklung und Bewertung der Kollektivdosis

Die Entwicklung der Jahreskollektivdosis im Leistungsbetrieb ist erkennbar gekoppelt an die Anzahl des eingesetzten Eigen- und Fremdpersonals. Für das Eigenpersonal liegen die Werte in den einzelnen Jahren durchgängig bei $< 0,60$ Pers.Sv, wohingegen die Werte für das Fremdpersonal, welches dezidierte Aufgaben und Tätigkeiten während der jährlichen Revisionen übernimmt, deutlichen Schwankungen unterliegt.

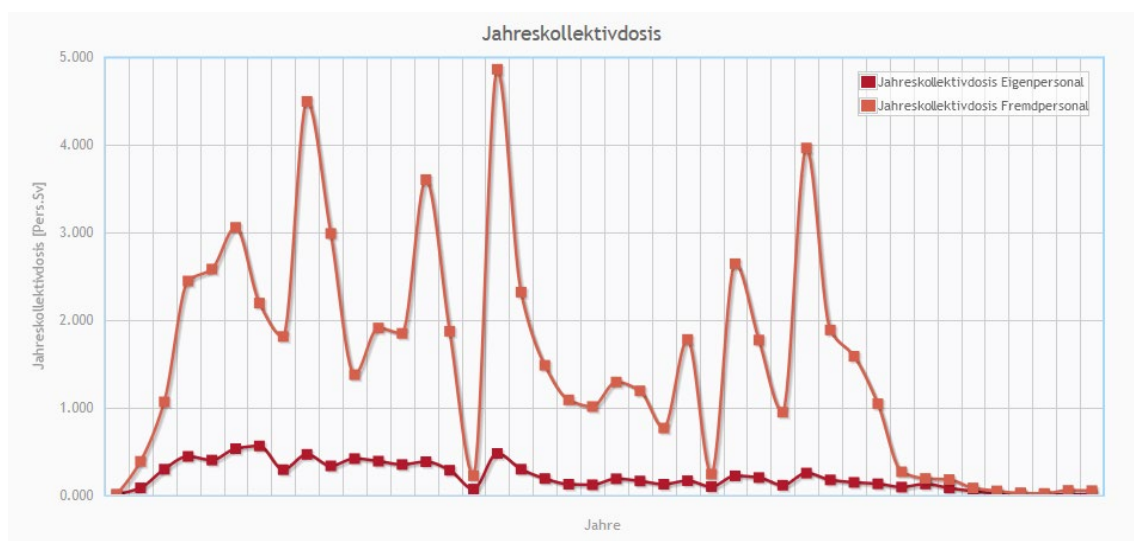


Abb. B.3 Jahreskollektivdosis des Eigen- und Fremdpersonals der Anlage B-1 während Leistungs-, Nach- und Restbetrieb

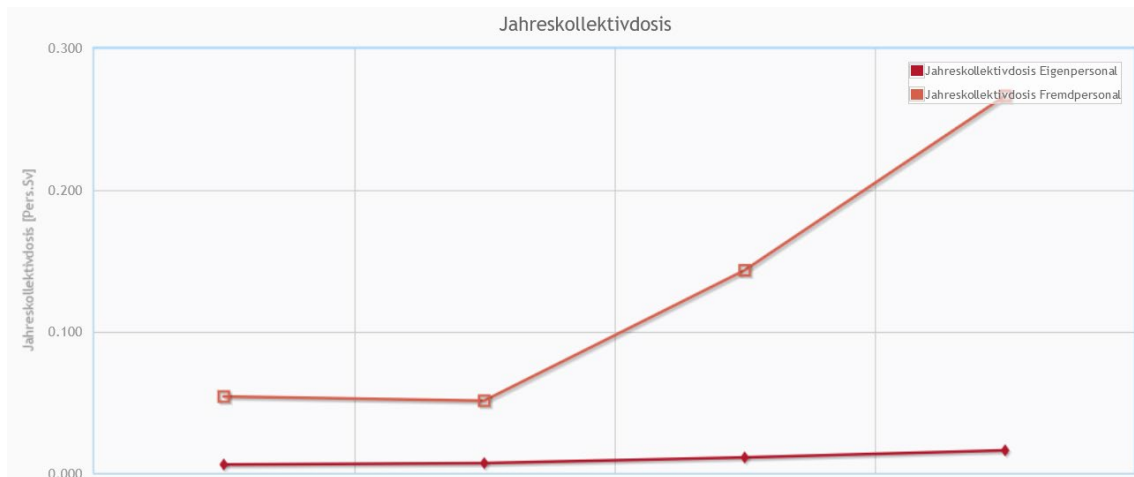


Abb. B.4 Entwicklung der Jahreskollektivdosis von B-1 während der Stilllegung

Mit der Beendigung des Leistungsbetriebes ist ein deutlicher Einbruch bei der Jahreskollektivdosis zu erkennen. Dies ist damit zu begründen, dass die dosisintensiven Tätigkeiten, die typischerweise in der Revisionsphase auftreten, komplett entfallen. Ferner ist das Aufgaben- und Tätigkeitsspektrum in der Nachbetriebsphase ebenfalls stark limitiert, so dass auch hier keine großen Expositionen im Zusammenhang mit stilllegungsvorbereitenden Maßnahmen zu erwarten sind. Mit Inanspruchnahme der Stilllegungsgenehmigung ist ein leichter Anstieg der Exposition bei dem Fremdpersonal zu erkennen, welches sich durch eine leicht erhöhte Jahreskollektivdosis im Vergleich zum Eigenpersonal zeigt. Dieser Wert für das Fremdpersonal ist jedoch immer noch um Faktor 2 niedriger, als der im Verlauf der Betriebshistorie erreichte Maximalwert des Eigenpersonals von $< 0,6$ Pers.Sv.

Seit Beginn der Stilllegung beträgt die kumulierte Jahreskollektivdosis zum Stichtag 31. Dezember 2021 für das Eigenpersonal 0,013 Pers.Sv und für das Fremdpersonal 0,105 Pers.Sv. Die jährlichen Kollektivdosen unterliegen dabei erwartungsgemäß Schwankungen in Abhängigkeit von den jeweils durchzuführenden Maßnahmen. Für den Restbetrieb und den Abbau der Anlage B-1 wird konservativ von einer Kollektivdosis von 10 Pers.Sv ausgegangen.

B.1.4 Entwicklung und Bewertung der Ableitungen

Die jährlichen Ableitungen, aufgeschlüsselt nach der jeweiligen Art der Ableitung, sind für den kompletten Lebenszyklus der Anlage B-1 in Abb. B.5 und explizit ab Beginn der Stilllegung in Abb. B.6 grafisch dargestellt.

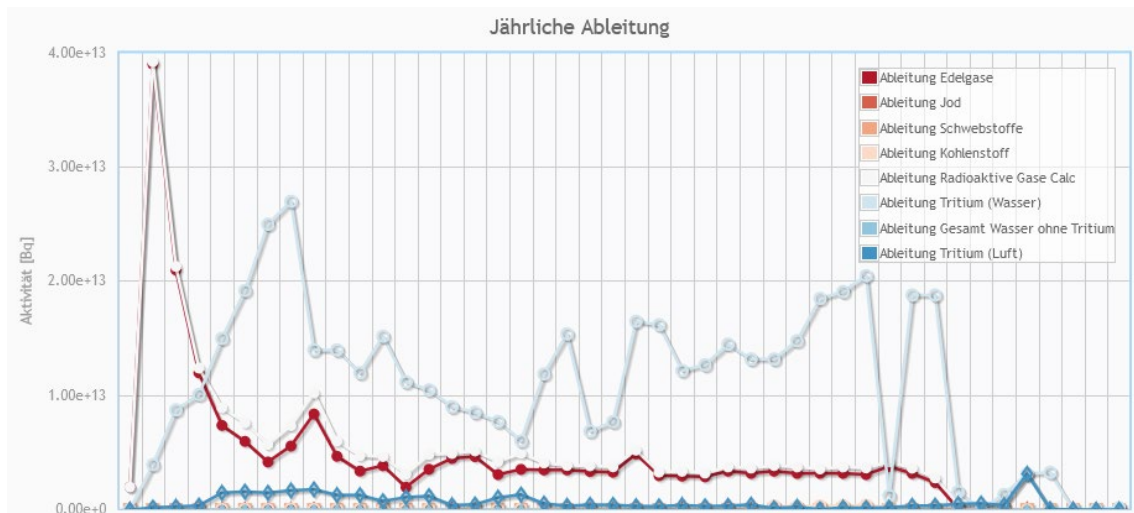


Abb. B.5 Jährliche Ableitungen aufgeschlüsselt nach der jeweiligen Art der Ableitung über den gesamten Lebenszyklus der Anlage B-1

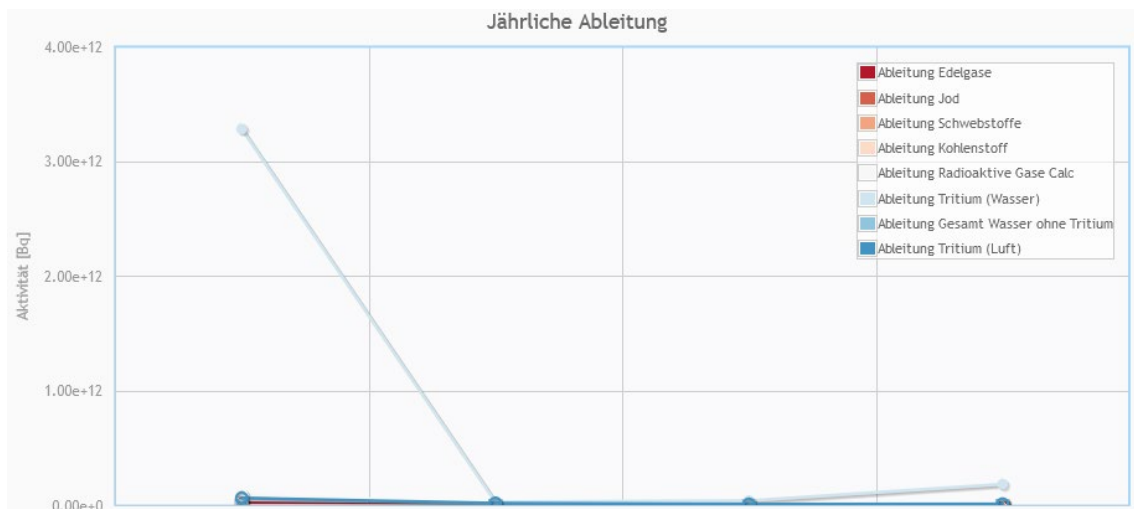


Abb. B.6 Jährliche Ableitungen aufgeschlüsselt nach der jeweiligen Art der Ableitung ab Stilllegungsbeginn der Anlage B-1

Die Entwicklung der Ableitungen der Anlage B-1 verlaufen erwartungsgemäß. Mit Beendigung des Leistungsbetriebs nehmen die Ableitungen, insbesondere bei den Edelgasen und bei Tritium, signifikant ab. Die lokalen Maxima bei der Ableitung von Tritium mit der Abluft und dem Abwasser ab Beendigung des Leistungsbetriebes können konkreten Maßnahmen zugeordnet werden. Die genehmigten Ableitungen wurden zu jeder Zeit deutlich unterschritten.

B.1.5 Entwicklung und Bewertung des Reststoff- und Abfallaufkommens

Die Anlage B-1 besitzt eine Gesamtmasse von ca. 675.000 Mg. Davon entfallen ca. 193.000 Mg auf Abbaumassen aus dem Kontrollbereich und ca. 482.000 Mg auf Massen nicht-nuklearer Gebäude und Anlagen. Der überwiegende Teil der bei einem direkten Abbau anfallenden Anlagenteile und Stoffe, ist weder aktiviert noch kontaminiert. Voraussichtlich werden von den Massen aus dem Kontrollbereich

- 176.900 Mg Reststoffe zur uneingeschränkten Freigabe (Hauptteil bilden die Gebäudemassen des Kontrollbereichs, ansonsten Stahl und sonstige Reststoffe),
- 11.900 Mg nach Konditionierung zur Beseitigung oder Verwertung freigegeben (Deponie/Verbrennung/Einschmelzen),
- 3.800 Mg als radioaktiver Abfall zwischen- bzw. endgelagert (z. B. RDB-Teile, Beton, etc.) und
- 400 Mg nach Konditionierung im RBZ als radioaktiver Abfall zwischen- bzw. endgelagert.

Da der GRS zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Berichts keine konkreten Angaben zum Reststoff- und Abfallaufkommen der Anlage B-1 vorlagen, kann hierzu kein Vergleich mit Planungswerten erfolgen.

B.2 Anlage B-2

Bei der Anlage B-2 handelt es sich um einen SWR der Baulinie 69. Dieser wurde Anfang der 1970er Jahre durch die Kraftwerk Union (KWU) errichtet. Nach über 30 Betriebsjahren wurde die Anlage aufgrund des Atom-Moratoriums am 6. August 2011 außer Betrieb genommen. In seiner Betriebszeit erzeugte das Kraftwerk insgesamt ca. 200 TWh Strom (brutto). Ein erster Antrag auf Stilllegung wurde durch die Betreiberin zeitnah nach der endgültigen Abschaltung der Anlage bei der zuständigen Aufsichtsbehörde eingereicht.

B.2.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie

Im Zuge des Atom-Moratoriums 2011 wurde die Anlage B-2 heruntergefahren und aufgrund der 13. AtG-Novelle auch nicht wieder in Betrieb genommen. Die Betreiberin beantragte zeitnah die 1. SAG für den Rückbau. Zu Beginn der Nachbetriebsphase wurden vor allem Arbeiten im Maschinenhaus (Demontage und Zerlegung HD- und ND-Turbine),

Detailplanungen zur Dekontamination von Anlagenteilen, Vorbereitungsarbeiten und Durchführung einer FSD am Nachkühlstrang durchgeführt, sowie Planungen zum raumorientierten Rückbau entwickelt. Im weiteren Verlauf der Nachbetriebsphase erfolgte der Ausbau der Steuerelementführungsrohre und die Zerlegung der Steuerelemente.

Mit Erteilung der SAG Ende der 2010er Jahre wurden innerhalb des Sicherheitsbehälters Abisolationsarbeiten, die Beprobungen von RDB und RDB-Einbauten sowie die HD-Reinigung von Leitungen mit großen Nennweiten durchgeführt. Ebenfalls wurde mit der umfangreichen Demontage von Sicherheitsbehältereinbauten und der Inbetriebsetzung neuer Anlagen und Einrichtungen begonnen. Hierzu zählt z. B. die Inbetriebsetzung neuer Abgabeleitungen, eines neuen betrieblichen Bedien- und Beobachtungssystems für den Rückbau und eine neue Kaltwassererzeugungsanlage. Mit Beginn der 2020er Jahre wurde der Abtransport der Brennelemente aus der Anlage in das Standortzwischenlager abgeschlossen. Im Anschluss wurden auf der Beckenflurebene Vorbereitungen zur Demontage der RDB-Einbauten, des RDB-Deckels und der BE-Lagergestelle getroffen. Demontagearbeiten in der Kondensationskammer, im Steuerstabantriebsraum und bei den Massengewerken im Reaktorgebäude verlaufen planmäßig. Mit der Beantragung und Zusammenstellung relevanter Unterlagen zum Erhalt der 2. SAG wurde begonnen.

In der gesamten Anlagenhistorie ereigneten sich 292 Ereignisse, davon drei in der Zeit der Stilllegung. Diverse Ereignisse von den späten 1970er bis in die 2010er Jahre zeigten dabei ein Potenzial für Folgen, die zu Erschwerissen beim Rückbau führen könnten:

- Leckage an der Verdampferanlage im Reaktorgebäude führte zu Kontamination
- Einsatz von Asbest im Speisewassersystem
- Defekte Fässer aufgrund Radiolyse und Druckaufbau, sowie Korrosion
- Leckage am Kondensatreinigungssystem im Maschinenhaus führte zu Kontamination
- Schwelbrand einer Fasstrocknungsanlage führte zu Kontamination

Mit derzeitigem Stand ist festzuhalten, dass die Rückbauarbeiten ohne nennenswerte Abweichungen planmäßig verlaufen.

B.2.2 Entwicklung und Bewertung des Arbeits- und Personalaufwands

Die Entwicklung der Personalstruktur zeigt einen typischen Verlauf für ein Kernkraftwerk. Über alle Betriebsphasen hinweg ist die Anzahl an tätigem Eigenpersonal konstant und pendelt sich bei ca. 370 Personen ein. Mit Ende der Phase des Leistungsbetriebs nimmt die Anzahl an Eigenpersonal kontinuierlich ab. Die Anzahl tätigen Fremdpersonals auf der Anlage unterliegt den typischen Schwankungen und ist im Wesentlichen konkreten Tätigkeiten während der Revision zuzuordnen. In der Nachbetriebsphase der Anlage ist die Anzahl an tätigem Fremdpersonals konstant und liegt im Mittel bei 740 Personen. Erst mit Beginn der Restbetriebsphase ist ein Trend erkennbar, dass die Fremdpersonalzahlen wieder ansteigen. Die Entwicklung der Personalstruktur ist in Abb. B.7 und Abb. B.8 (nur Stilllegung) grafisch dargestellt.

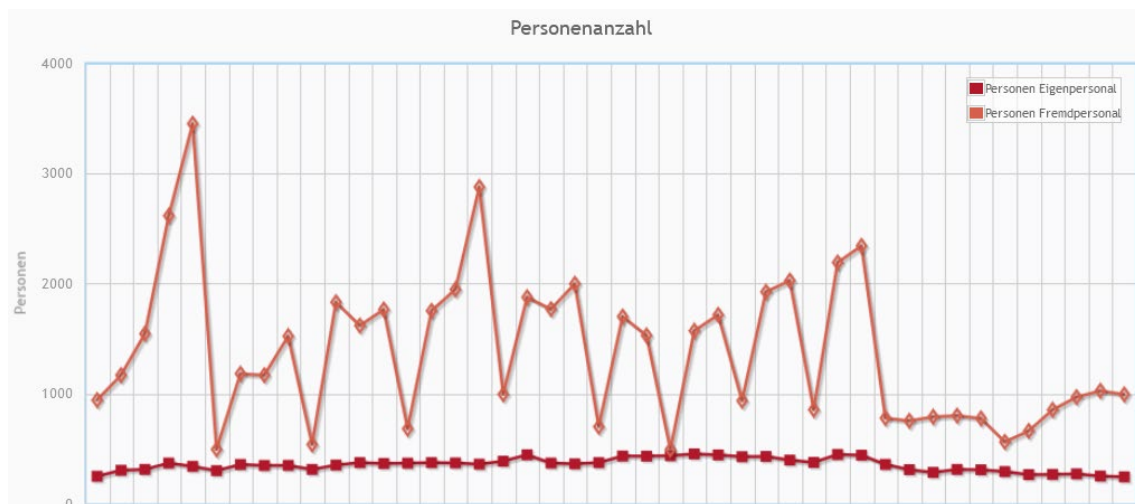


Abb. B.7 Entwicklung der Personalstruktur der Anlage B-2 in allen Betriebsphasen

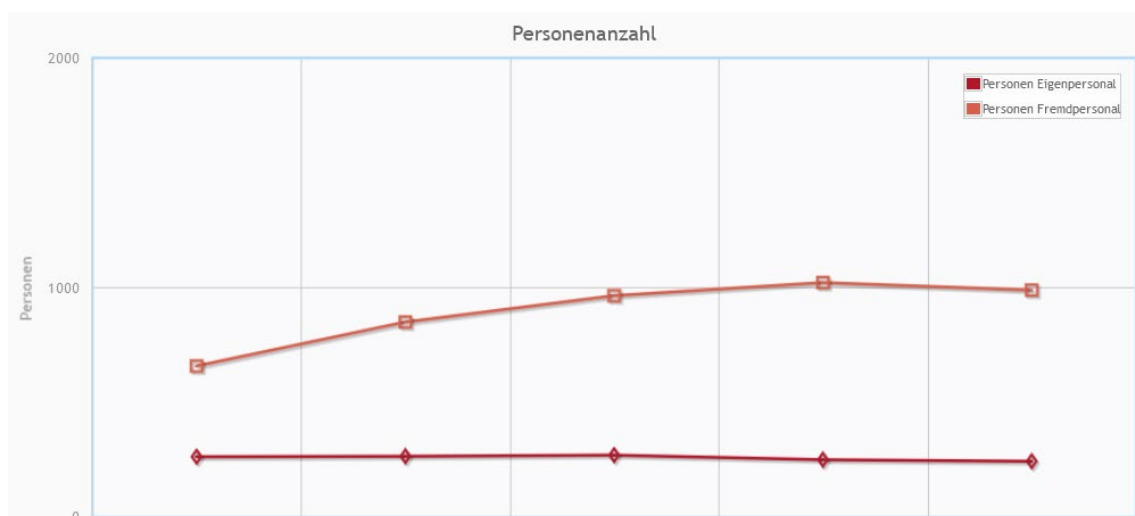


Abb. B.8 Entwicklung der Personalstruktur der Anlage B-2 während der Stilllegung

B.2.3 Entwicklung und Bewertung der Kollektivdosis

Die Jahreskollektivdosis des eingesetzten Eigen- und Fremdpersonals über alle Betriebsphasen der Anlage betrachtet ist in Abb. B.9 dargestellt. Insbesondere in der ersten Hälfte des Lebenszyklus der Anlage B-2 korreliert die Jahreskollektivdosis des Fremdpersonals mit der Anzahl der tatsächlich auf der Anlage tätigen Personen sehr gut. In der zweiten Hälfte des Lebenszyklus der Anlage B-2 hingegen fällt auf, dass die Jahreskollektivdosis des Fremdpersonals im Schnitt deutlich unter 1 Pers.Sv und für das Eigenpersonal deutlich unter 0,5 Pers.Sv liegt, was im Wesentlichen auf optimierte und kontinuierlich verbesserte Betriebsabläufe zurückzuführen ist.

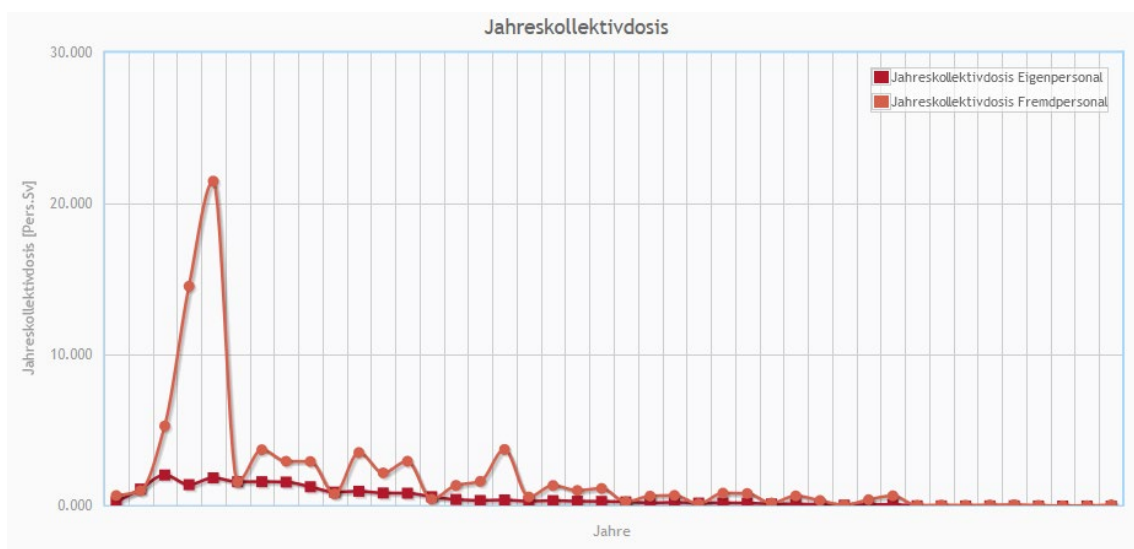


Abb. B.9 Jahreskollektivdosis des Eigen- und Fremdpersonals der Anlage B-2 in allen Betriebsphasen

Die Entwicklung der Jahreskollektivdosis des auf der Anlage tätigen Personals seit Beginn der Stilllegung ist in nachfolgender Abb. B.10 graphisch dargestellt. Für den Restbetrieb und den Abbau der Anlage B-2 wird in Planungsunterlagen /WIK 23/ von einer Kollektivdosis von ca. 10 Sv ausgegangen.

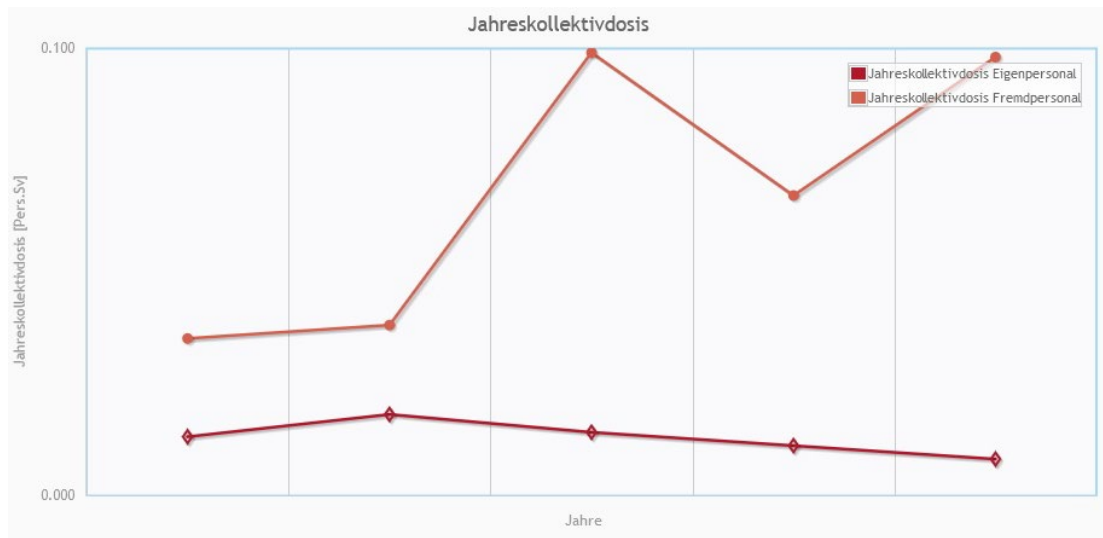


Abb. B.10 Jahreskollektivdosis des Eigen- und Fremdpersonals der Anlage B-2 seit Beginn der Stilllegung

Die kumulierte Jahreskollektivdosis seit Beginn der Stilllegung beträgt für das Eigenpersonal 0,064 Pers.Sv. Für das Fremdpersonal beträgt die kumulierte Jahreskollektivdosis 0,337 Pers.Sv. Insgesamt verläuft die Entwicklung der Kollektivdosis den Erwartungen entsprechend und nimmt mit Beendigung der Leistungsbetriebsphase (vgl. Abb. B.9) noch einmal signifikant ab.

B.2.4 Entwicklung und Bewertung der Ableitungen

Eine Darstellung der Ableitungen der Anlage B-2 über alle Betriebsphasen, aufgeschlüsselt nach der Art der Ableitung ist Abb. B.11 zu entnehmen. Die Ableitungen seit Beginn der Stilllegung sind in Abb. B.12 dargestellt. Mit Blick auf die genehmigten jährlichen Ableitungswerte in den unterschiedlichen Betriebsphasen ist festzustellen, dass lediglich zu Beginn des Leistungsbetriebs die Genehmigungswerte für die Ableitung von Tritium über den Wasserpfad zu ca. 16 % ausgeschöpft wurden. Alle anderen Arten der Ableitungen bewegen sich deutlich unter 5 %. Lokale Maxima für die Ableitung von Tritium mit dem Abwasser können konkreten Maßnahmen im Betriebsablauf der Anlage B-2 zugeordnet werden. Mit Inanspruchnahme der Stilllegungsgenehmigung erkennt man ein globales Maximum der Ableitung von Tritium über den Wasserpfad, welches allerdings im Hinblick auf die Ausschöpfung des für die Stilllegung von B-2 genehmigten Ableitungswertes lediglich ca. 1,5 % ausmacht.

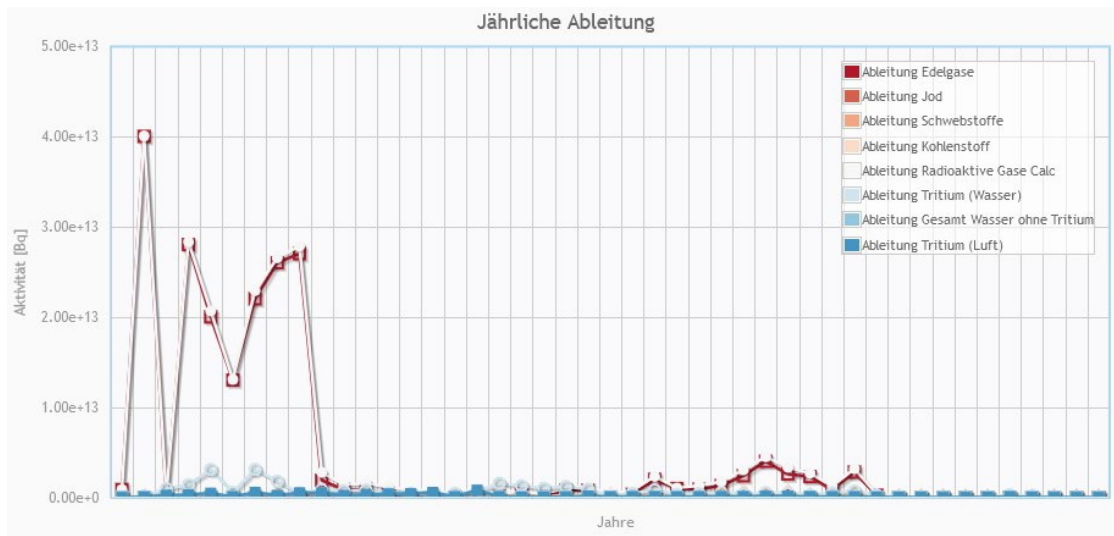


Abb. B.11 Jährliche Ableitungen der Anlage B-2, aufgeschlüsselt nach der Art der Ableitung

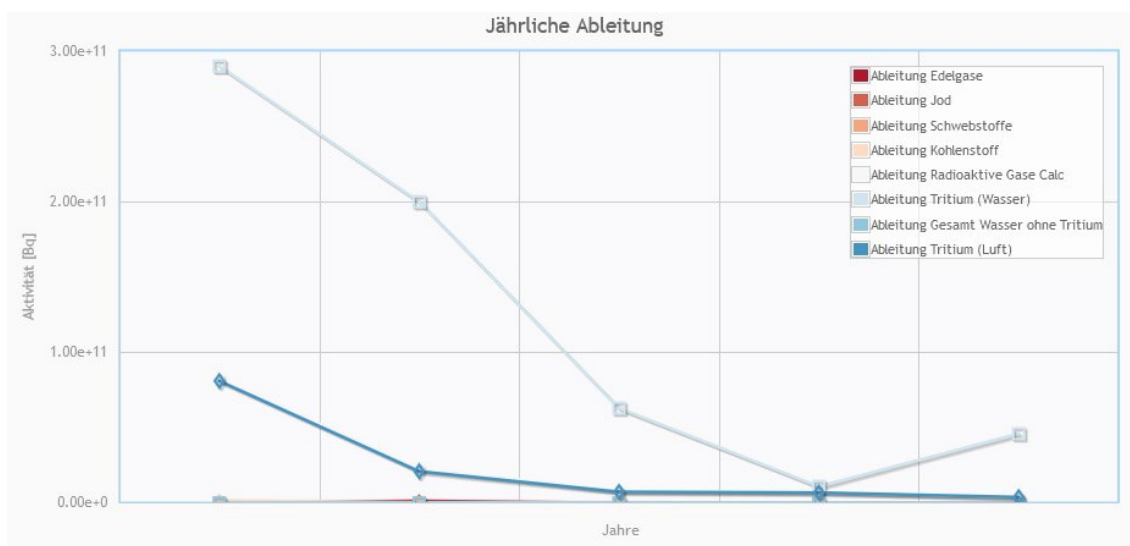


Abb. B.12 Jährliche Ableitung der Anlage B-2 mit Beginn der Stilllegung

B.2.5 Entwicklung und Bewertung des Reststoff- und Abfallaufkommens

Konkrete Daten zum Reststoff- und Abfallaufkommen der Anlage B-2 liegen der GRS zum Zeitpunkt der Berichterstellung nicht in ausreichender Detailtiefe vor. Aus diesem Grund wird im Folgenden das Reststoffmanagement und die zugrunde liegenden planerischen Stoffströme betrachtet.

Die Betreiberin geht bei den Planungen des Abbaus der Anlage B-2 davon aus, dass insgesamt ca. 224.000 Mg radioaktive Reststoffe aus dem Kontrollbereich und den um-

gebenden Baustrukturen anfallen werden. Bezüglich des Verbleibs dieser radioaktiven Reststoffe werden unterschiedliche geordnete Entsorgungspfade geprüft:

- Die Freigabe gemäß §§ 31 - 42 StrlSchV mit den Optionen
 - uneingeschränkte Freigabe
 - Freigabe zur Beseitigung
 - Freigabe zur Rezyklierung
 - Freigabe von Gebäuden zum Abriss
 - Freigabe von Gebäuden zur Wieder- und Weiterverwendung
- Kontrollierte Verwendung im kerntechnischen Sektor
- Direkte Wiederverwendung im Bereich einer anderen atomrechtlichen Genehmigung
- Radioaktiver Abfall zur Endlagerung

Die nachfolgende Tab. B.1 zeigt eine Abschätzung der beim Abbau anfallenden radioaktiven Reststoffe (Primärmassen). Unter dem Begriff der Primärmasse versteht man in diesem Zusammenhang die Summe aller der für den Leistungsbetrieb der Anlage installierten Anlagenteile, einschließlich der Gebäude.

Tab. B.1 Abschätzung der beim Abbau anfallenden Primärmassen der Anlage B-2

Entsorgungsweg	Masse [Mg]
• Uneingeschränkte Freigabe • Freigabe zur Beseitigung/Rezyklierung • Wiederverwertung im kerntechnischen Bereich	20.600
Radioaktiver Abfall zur Endlagerung	3.400
Gebäudemassen	200.000
Gesamtmasse	224.000

B.3 Anlage B-3

Die Anlage B-3 wurde Anfang der 1970er Jahre durch die KWU errichtet und besitzt einen DWR der 2. Generation. Als Folge der 13. AtG-Novelle wurde die Anlage B-3 nach 35 Jahren Betriebsdauer und ca. 200 TWh erzeugter elektrischer Energie aus

politischen Gründen ab März 2011 zunächst vorübergehend und zum 6. August 2011 durch die Änderung des Atomgesetzes endgültig abgeschaltet. Ein erster Antrag auf Stilllegung und Abbau wurde durch die Betreiberin zeitnah nach der endgültigen Abschaltung bei der zuständigen Aufsichtsbehörde gestellt.

B.3.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie

Die 1. SAG wurde Anfang der 2010er Jahre beantragt und Ende der 2010er Jahre durch die zuständige Aufsichtsbehörde erteilt. Der Antrag auf Erteilung einer 2. Abbaugenehmigung wurde ebenfalls Ende der 2010er Jahre beantragt. Im Zeitraum der Nachbetriebsphase fanden vor allem stilllegungsvorbereitende Maßnahmen statt. Bereits zu Beginn der Nachbetriebsphase wurde eine FSD durchgeführt. Im Anschluss erfolgte die Zerlegung von Core-Schrotten im BE-Lagerbecken, eine weitere Reinigung und Ausspülung radioaktiver Rückstände aus der FSD und die Entfernung von „Hot Spots“. Weitere rückbauvorbereitende Maßnahmen umfassen umfangreiche Abisolierarbeiten im Bereich der Hauptkühlmittelleitungen und der Dampferzeuger. Der Bereich der Reaktorgrube wurde ebenfalls einer Sanierung unterzogen.

Mit Inanspruchnahme der 1. SAG befanden sich sowohl Brennelemente als auch einzelne Brennstäbe noch im BE-Lagerbecken. Die Loop-Leitungen wurden getrennt und verschlossen, die Dampferzeuger freigeschnitten, die Hauptkühlmittelpumpen demontiert und mit ersten Demontearbeiten im Reaktorhilfsanlagengebäude begonnen. Die Reaktorgrube wurde für die Zerlegung aktivierter Bauteile vorbereitet. Sowohl die Brennelemente als auch einzelne Sonderbrennstäbe wurden Ende der 2010er aus der Anlage entfernt. Das BE-Lagerbecken wurde im Anschluss außer Betrieb genommen und die Lagergestelle im HD-Verfahren gereinigt und demontiert. Bis zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichtes umfassten die durchgeführten Rückbauarbeiten vor allem

- die Zerlegung und Verpackung des RDB-Unterteils,
- den Abbau der Frischdampfleitungen,
- den Abbau von Anlagenteilen in den großen Anlagenräumen und Ringbühnen,
- die Demontage der Zwischenkühlwassersysteme sowie der Nachwärmekühler,
- den Abbau der Harzabfallbehälter und Borsäurespeicher sowie
- die Demontage der Dampferzeugerabschlämmung und die Inbetriebnahme der Containerschleusstation im Reaktorhilfsanlagengebäude.

Mit Beginn der 2020er Jahre wurde der Ausbau der Großkomponenten des Primärkreislaufs (Dampferzeuger, Druckhalter, RDB-Deckel und RDB sowie Hauptkühlmittelpumpe) abgeschlossen. Insgesamt ist festzustellen, dass der Rückbau der Anlage B-3 nach Plan verläuft und keine unvorhergesehenen Ereignisse aufgetreten sind, die zu einer Verzögerung im Planungsablauf geführt hätten.

Insgesamt ereigneten sich in Anlage B-3 467 Ereignisse, davon fünf in der Zeit der Stilllegung. Vom Ende der 1970er bis Anfang der 1990er Jahre traten drei Leckagen auf, die zu Kontaminationen im Reaktorgebäude und Reaktorhilfsanlagegebäude geführt hatten und einen potenziell rückbauerschwerenden Einfluss hatten.

B.3.2 Entwicklung und Bewertung des Arbeits- und Personalaufwands

Der Personalaufwand der Anlage B-3 zeigt den zu erwartenden Verlauf. Im Rahmen statistischer Schwankungen kann die Anzahl des Eigenpersonals über alle Betriebsphasen als konstant angesehen werden. Bezüglich des Fremdpersonals ist ebenfalls erwartungsgemäß festzustellen, dass mit Ende des Leistungsbetriebs die Anzahl eingesetzter Personen deutlich abnimmt. Mit Inanspruchnahme der Stilllegungsgenehmigung nimmt die Anzahl eingesetzten Fremdpersonals ebenfalls wieder zu, erreicht allerdings nicht mehr die Spitzen, die im Leistungsbetrieb während der jährlichen Revisionen zu verzeichnen waren.

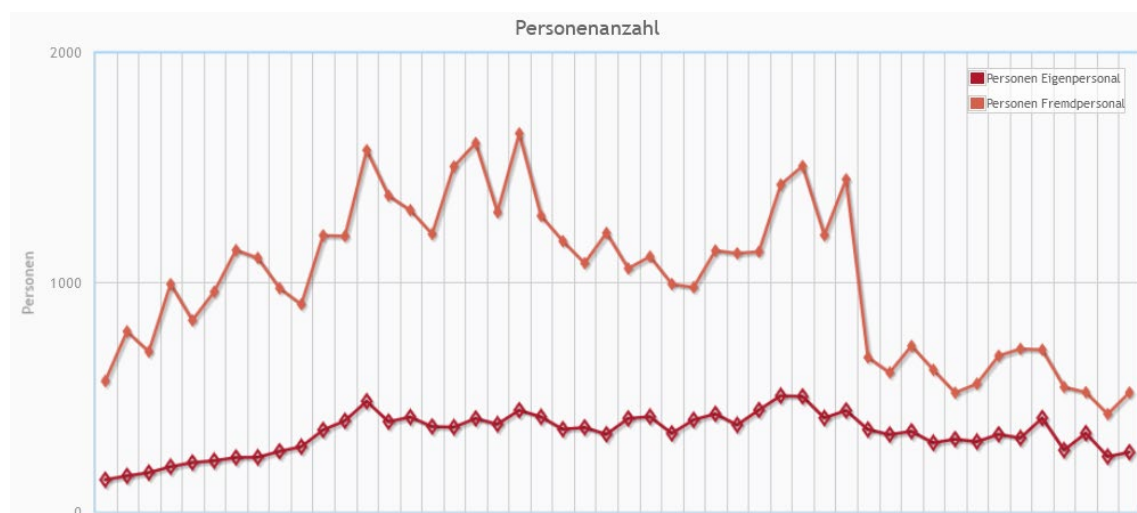


Abb. B.13 Entwicklung der Personenzahl der Anlage B-3

B.3.3 Entwicklung und Bewertung der Kollektivdosis

In Abb. B.14 ist grafisch die Entwicklung der Jahreskollektivdosis für Eigen- und Fremdpersonal der Anlage B-3 über alle Betriebsphasen dargestellt. Mit Ende des Leistungsbetriebs ist der typische Einbruch der Jahreskollektivdosis deutlich zu erkennen. Diese Entwicklung korreliert erwartungsgemäß mit der Personenanzahl (vgl. Abb. B.13).

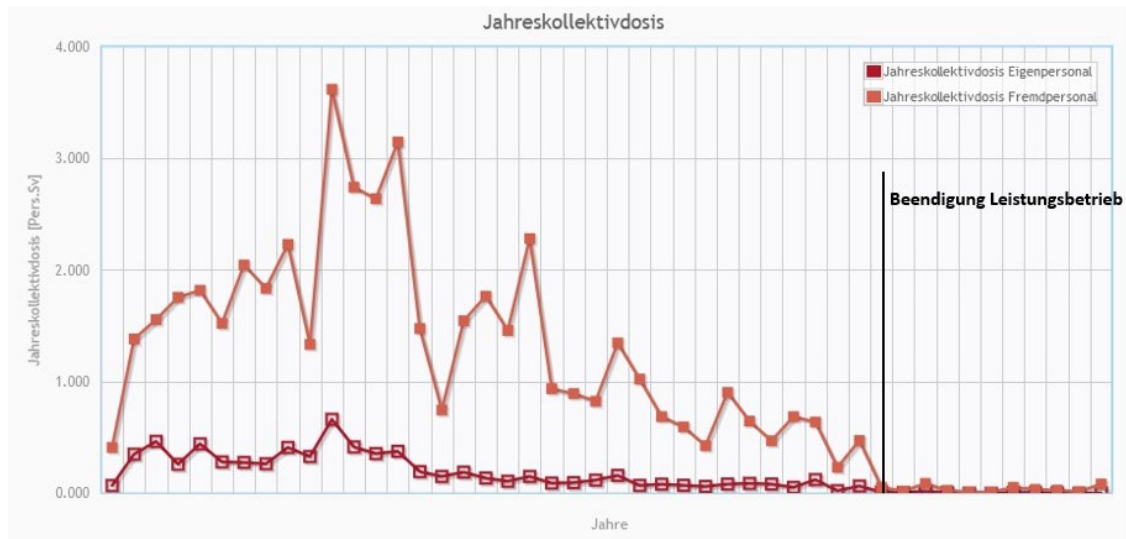


Abb. B.14 Jahreskollektivdosis des Eigen- und Fremdpersonals der Anlage B-3

Für den Zeitraum der Stilllegung ist die Entwicklung der Jahreskollektivdosis in nachfolgender Abb. B.15 dargestellt. Die kumulierte Jahreskollektivdosis für diesen Zeitraum beträgt für das Eigenpersonal 0,04 Pers.Sv und für das Fremdpersonal 0,238 Pers.Sv. Für den Restbetrieb und die Durchführung des Abbaus von Anlagenteilen wird von einer Kollektivdosis von ca. 3 Pers.Sv ausgegangen.

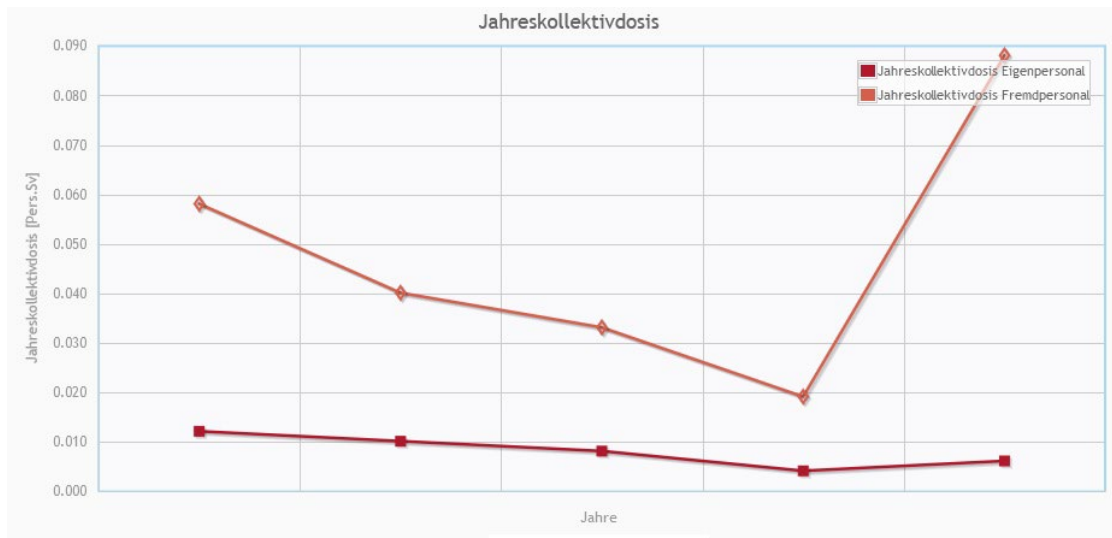


Abb. B.15 Jahreskollektivdosis des Eigen- und Fremdpersonals der Anlage B-3 seit Beginn der Stilllegung

B.3.4 Entwicklung und Bewertung der Ableitungen

Eine Darstellung der Ableitungen der Anlage B-3 über alle Betriebsphasen, aufgeschlüsselt nach der Art der Ableitung, ist in Abb. B.16 dargestellt. Mit Beendigung des Leistungsbetriebes zeigt sich erwartungsgemäß ein deutlicher Rückgang der Tritium-Ableitungen über den Wasserpfad. Aus Gründen der Übersicht werden die jährlichen Ableitungen mit Beginn der Stilllegung separat dargestellt (vgl. Abb. B.17). Die in den jeweiligen Betriebsphasen zugrunde gelegten Genehmigungswerte für Ableitungen über den Luft- und Wasserpfad wurden durch die Anlage B-3 zu keinem Zeitpunkt überschritten.

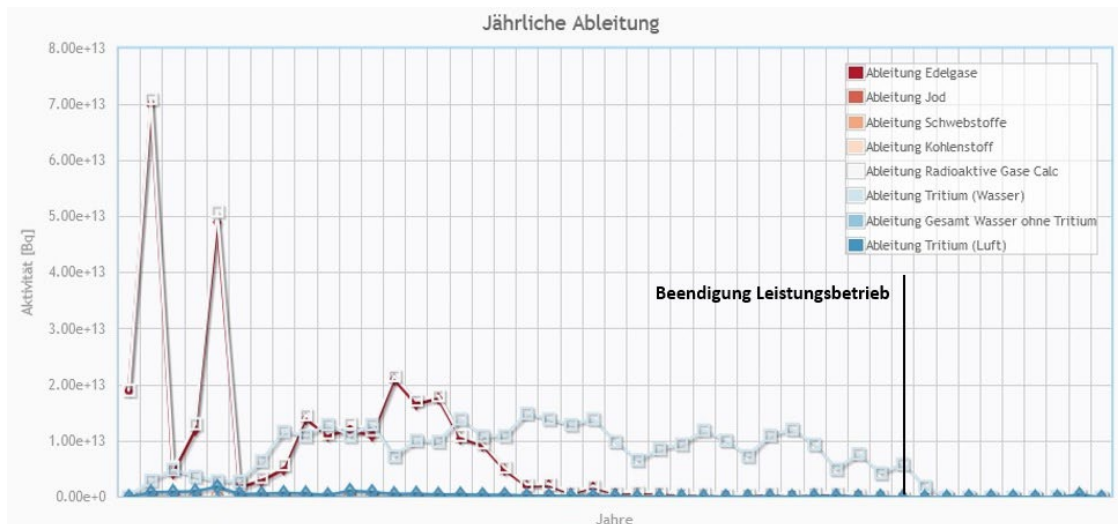


Abb. B.16 Jährliche Ableitungen der Anlage B-3 aufgeschlüsselt nach der Art der Ableitung

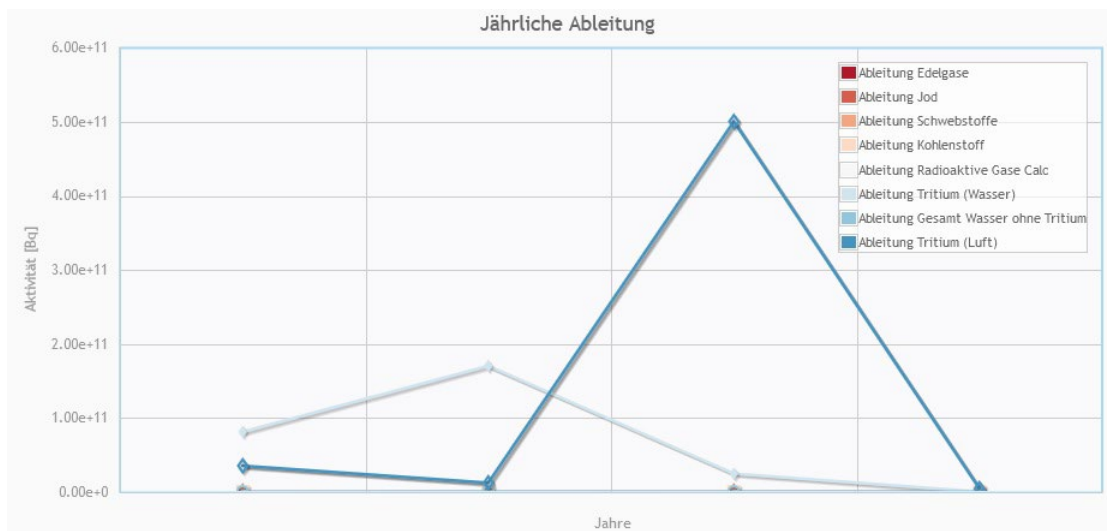


Abb. B.17 Jährliche Ableitung der Anlage B-3 mit Beginn der Stilllegung

B.3.5 Entwicklung und Bewertung des Reststoff- und Abfallaufkommens

Konkrete Angaben zu Reststoffen und Abfällen können zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht gegeben werden, da der GRS diese Angaben in der hierzu relevanten Detailtiefe nicht vorliegen. Daher wird im Folgenden ein kurzer Überblick über die Planungswerte der im Rahmen des Abbaus zu erwartenden Reststoffe und Abfälle gegeben.

Die Anlage B-3 besitzt eine Gesamtmasse von ca. 331.000 Mg. Der überwiegende Teil davon besteht aus Gebäuden bzw. Gebäudeteilen, die an der stehenden Struktur im

Rahmen des Freigabeverfahrens freigegeben bzw. herausgegeben werden können. Von der Masse der zum Abbau vorgesehenen Anlagenteilen sind voraussichtlich ca. 13.000 Mg den radioaktiven Reststoffen zuzuordnen. Von diesen sollen ca. 9.700 Mg der Freigabe gemäß §§ 31 - 42 StrlSchV und ca. 300 Mg dem kerntechnischen Stoffkreislauf zugeführt werden. Gegenwärtige Planungswerte gehen davon aus, dass in der Summe ca. 2.800 Mg als radioaktive Abfälle geordnet zu beseitigen sind.

Die Herkunft der Abbaumassen für die Anlage B-3 ist in nachfolgender Tab. B.2 zusammenfassend dargestellt.

Tab. B.2 Herkunft und Abschätzung der Abbaumassen

Herkunft der Abbaumasse	Masse ca. [Mg]
Außerhalb des Kontrollbereichs	203.000
Nicht radioaktive Reststoffe (Gebäudestrukturen, Anlagenteile)	305.500
Kontrollbereich	128.000
Radioaktive Reststoffe aus dem Abbau von Anlagenteilen	11.125
Gemäß § 31 StrlSchV freizugebende Gebäudestrukturen/Anlagenteile	119.200
Sekundärabfälle (Strahlmittel, Abfälle aus der Abwasserbehandlung, etc.)	200
Zusatzmassen (Einrichtungen und Geräte des Abbaus im Kontrollbereich)	75
Gesamtmasse des Abbaus der Anlage B-3	331.000

B.4 Anlage B-4

Anfang der 1970er Jahre wurde mit der Errichtung der Anlage B-4 begonnen. Bis zur ersten Kritikalität der Anlage Anfang der 1980er Jahre wurden die verschiedenen Bau- und Anlagenteile im Rahmen von mehreren atomrechtlichen Teilerrichtungsgenehmigungen genehmigt und errichtet. Am Ende der nicht-nuklearen Inbetriebsetzungsphase wurde die 1. Betriebsgenehmigung erteilt. Nach vier Betriebszyklen erhielt die Anlage Ende der 1980er Jahre die unbefristete 2. Betriebsgenehmigung. Für die Anlage B-4 erlosch die Berechtigung zum Leistungsbetrieb mit der 13. AtG-Novelle vom 6. August 2011.

B.4.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie

Die Anlage B-4 befindet sich im Nachbetrieb. In der Mitte der 2010er Jahre hat die Betreiberin den Antrag nach § 7(3) AtG auf Stilllegung und Abbau gestellt. Zeitnah wurde der Antrag dahingehend präzisiert, dass Stilllegung und Abbau bis hin zum Nachweis der Freigabefähigkeit der Gebäude in nur einer atomrechtlichen Abbaugenehmigung erfolgen sollen. Alle Brennelemente wurden aus dem Lagerbecken in ein neu gebautes Zwischenlager verbracht.

Noch unter Bedingungen der gültigen Betriebsgenehmigung wurde Ende der 2010er Jahre im Rahmen einer Core-Schrott-Kampagne die Inbetriebsetzung der Zerlege- und Verpackungsanlage im Lagerbecken abgeschlossen. Anschließend erfolgte der Zerlegebetrieb. Mit der Zerlege- und Verpackungsanlage wurden im Lagerbecken alle BE-Kästen, das BE-Skelett, der überwiegende Teil der Steuerelemente (komplett), alle Steuerelemente (ohne Fuß) sowie einige Steuerelementeinzelnblätter zerlegt und entsorgungsgerecht in Einsatzkörben bzw. Einstellmagazinen konditioniert. Bis zum Erhalt der SAG erfolgen fortlaufend

- Anpassungen des Betriebsreglements (BHB) an die Anforderungen für die Restbetriebsphase,
- Planung und Vorbereitungen der Entsorgung von RDB-Einbauten und des RDB,
- die Entsorgung von Core-Schrotten sowie
- die dauerhafte Außerbetriebnahme von Systemen.

Die Dauer der Nachbetriebsphase der Anlage B-4 ist im direkten Vergleich mit anderen, sog. Moratoriumsanlagen lang. Dies ist mitunter darauf zurückzuführen, dass die Betreiberin nur sukzessive, auch unter Berücksichtigung der im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung eingegangenen Einwendungen, weitere Antragsunterlagen zur Prüfung einreicht. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist daher nicht abschätzbar, wann mit dem Erhalt der SAG zu rechnen ist. Das Stilllegungsziel ist die „Grüne Wiese“. Dieses Ziel soll nach Angaben der Betreiberin nach 12 bis 18 Jahren ab Erteilung der Genehmigung erreicht sein. Der veranschlagte Zeithorizont ist als realistisch zu bewerten, insbesondere vor dem Hinblick, dass bereits umfangreiche Tätigkeiten und Vorbereitungen in der Nachbetriebsphase durchgeführt wurden.

In der gesamten Betriebshistorie ereigneten sich 359 Vorkommnisse.

B.4.2 Entwicklung und Bewertung des Arbeits- und Personalaufwands

In nachfolgender Grafik, Abb. B.18, ist die Entwicklung der Personenzahl der Anlage B-4, aufgeschlüsselt nach Eigen- und Fremdpersonal dargestellt. Auch hier zeigt sich der für Kernkraftwerke typische Trend, dass die Anzahl des tätigen Eigenpersonals über alle Betriebsphasen nahezu konstant ist und sich im Falle der Anlage B-4 im Mittel bei ca. 260 Beschäftigten befindet. Die Anzahl des tätigen Fremdpersonals unterliegt erwartungsgemäß Schwankungen.

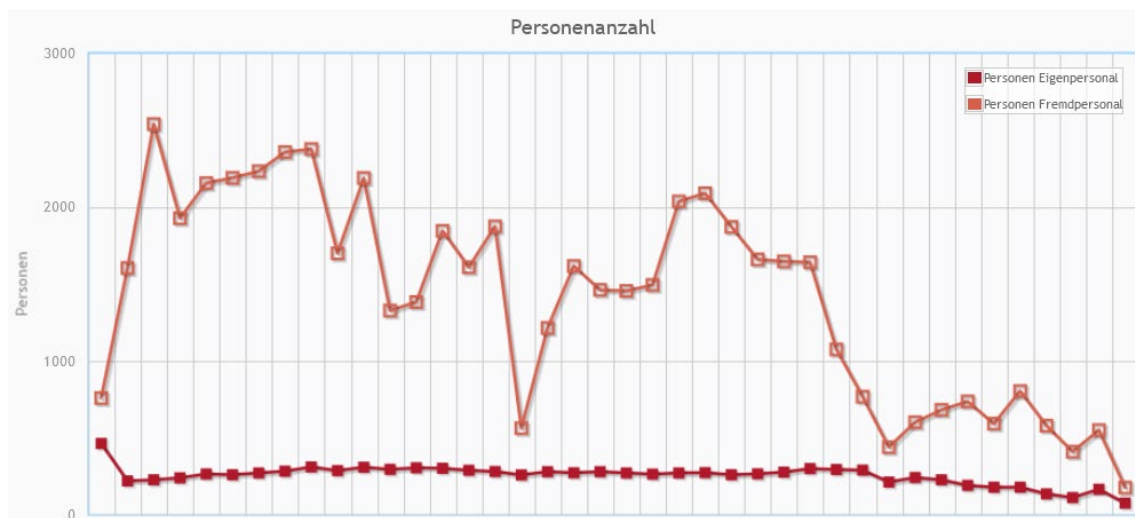


Abb. B.18 Entwicklung der Personalstruktur der Anlage B-4

Mit Beendigung des Leistungsbetriebes nimmt die Anzahl des Fremdpersonals zwar stetig ab, diese nimmt aber auch während der Nachbetriebsphase wieder signifikant zu, was ebenfalls anhand konkreter Tätigkeiten (z. B. BE-Entladekampagne, Core-Schrott-Kampagne etc.) zu begründen ist. Insgesamt zeigt die Entwicklung der Personalstruktur einen erwartungsgemäßen Verlauf.

B.4.3 Entwicklung und Bewertung der Kollektivdosis

Die Entwicklung der Jahreskollektivdosis über den Lebenszyklus der Anlage B-4 ist in nachfolgender Abb. B.19 dargestellt. Die Jahreskollektivdosis verläuft sowohl für das Eigen- als auch für das Fremdpersonal weitgehend idealtypisch. Der deutliche Abfall der (mittleren) Jahreskollektivdosis in der zweiten Hälfte des Lebenszyklus der Anlage B-4 ist im Wesentlichen auf umfangreiche Nachrüstungen zurückzuführen. Mit Ende des Leistungsbetriebs fällt bei beiden Personengruppen die Jahreskollektivdosis noch einmal signifikant ab. Bei dem Fremdpersonal sind die revisionsbedingten lokalen Maxima

deutlich sichtbar. Die z. T. deutlichen Unterschiede in der Höhe können konkreten betrieblichen Tätigkeiten zugeordnet werden. Planungswerte der kumulierten Kollektivdosis für die Phase der Stilllegung wurden durch die Betreiberin nicht veröffentlicht. Verfolgt man jedoch die Planungswerte von anderen Kernkraftwerken, so kann auch für die Anlage eine Plan-Kollektivdosis von ca. 3 bis 10 Pers.Sv angenommen werden.

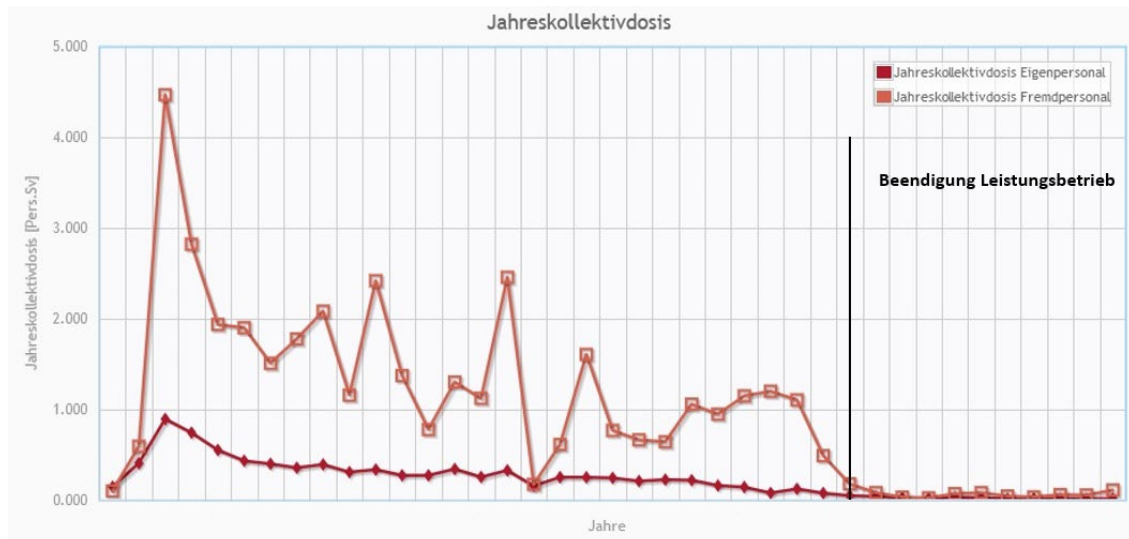


Abb. B.19 Jahreskollektivdosis des Eigen- und Fremdpersonals der Anlage B-4

B.4.4 Entwicklung und Bewertung der Ableitungen

Die in Abb. B.20 dargestellten Ableitungen der Anlage B-4, insbesondere mit Blick auf die Daten nach Beendigung des Leistungsbetriebes sind erwartungsgemäß unauffällig.

Da sich die Anlage seit über zehn Jahren im Nachbetrieb befindet und mittlerweile sowohl brennelement- als auch kernbrennstofffrei ist, können mit Blick auf die Stilllegungen Ableitungen über den Luftpfad (mit Ausnahme von Tritium) ausgeschlossen werden. Ableitungen von Tritium, sowohl über den Luft- als auch über den Wasserpfad sind zwar grundsätzlich denkbar, allerdings zeigt die Erfahrung, dass die hierbei zu erwarten Emissionen weit unterhalb der für die Stilllegung genehmigten Werte liegt.

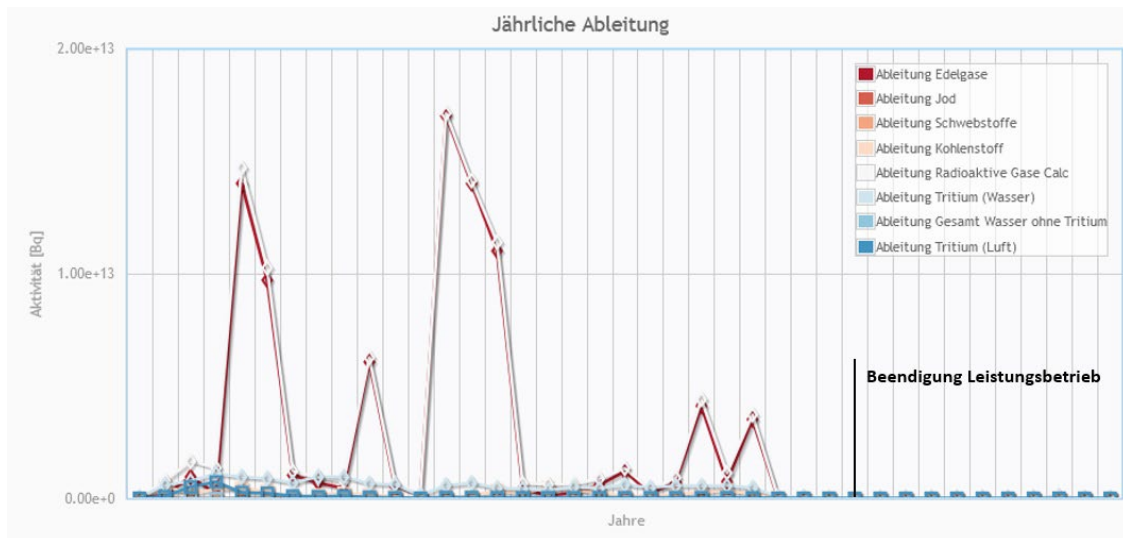


Abb. B.20 Jährliche Ableitungen der Anlage B-4, aufgeschlüsselt nach Art der Ableitung /WIK 23/

B.4.5 Entwicklung und Bewertung des Reststoff- und Abfallaufkommens

Da die Anlage B-4 noch im Restbetrieb ist, existieren keine Angaben zu Reststoff- und Abfallaufkommen aus der Stilllegung. An dieser Stelle werden daher nur Planungswerte und Abschätzungen dargestellt.

Die Gesamtmasse der Anlage B-4 beträgt ca. 541.000 Mg. Erwartungsgemäß entfällt hiervon der überwiegende Anteil auf Gebäudestrukturen, welche weitestgehend freigegeben bzw. herausgegeben werden können. Dies entspricht einer Masse von ca. 495.000 Mg. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt geht die Betreiberin noch davon aus, dass mit ca. 8.000 Mg radioaktiven Abfällen zu rechnen ist, welche geordnet der Endlagerung zugeführt werden müssen.

B.5 Anlage B-5

Der Antrag zur Errichtung und zum Betrieb der Anlage B-5 wurde Anfang der 1970er Jahre gestellt. Die 1. Teilerrichtungsgenehmigung wurde Ende der 1970er Jahre erteilt. Nach Vorliegen der 2. Teilbetriebsgenehmigung erfolgte kurz darauf die erste Stromabgabe an das Netz. Der kommerzielle Leistungsbetrieb begann Anfang der 1980er Jahre. Die unbefristete Betriebsgenehmigung wurde zeitnah erteilt.

Während der Betriebszeit wurde die Anlage mehrfach nachgerüstet. Während des bisherigen Betriebs der Anlage B-5 traten keine Ereignisse auf, die auf das Abbaukonzept, das Entsorgungskonzept sowie den weiteren Restbetrieb einen relevanten Einfluss haben könnten.

B.5.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie

Die Anlage B-5 verlor im Zuge der 13. AtG-Novelle 2011 die Berechtigung zum Leistungsbetrieb. Die Betreiberin stellte zeitnah den Antrag auf Stilllegung und Abbau der Anlage B-5. Bis zur Erteilung und Inanspruchnahme der vollziehbaren Genehmigung auf Stilllegung der Anlage B-4 befand sich diese in der Nachbetriebsphase, in welcher der Abtransport der Brennelemente vollzogen wurde und die Anlage den Status der Kernbrennstofffreiheit erreichte. Die übergeordneten Planungen der Betreiberin sehen vor, die Anlage auf Basis von zwei Genehmigungen zurückzubauen. Der Antrag der 2. Abbaugenehmigung wurde ca. ein halbes Jahr nach der Inanspruchnahme der 1. Abbaugenehmigung bei der zuständigen Aufsichtsbehörde eingereicht und umfasst u. a. den Abbau

- des biologischen Schildes,
- des Brennelementelagerbeckens und des Flutraums sowie
- weiterer unter der Baugenehmigung aufgeführter tragender und aussteifender Bauteile innerhalb von Gebäuden.

Die 2. Abbaugenehmigung wurde Anfang der 2020er Jahre erteilt.

Während der Nachbetriebsphase wurden umfangreiche stilllegungsvorbereitende Maßnahmen durchgeführt. Hierzu zählen insbesondere

- der Transport aller Brennelemente in das Standortzwischenlager,
- die Durchführung einer Systemdekontamination (FSD)
- Aktivierungsberechnungen und Probennahmen innerhalb des Sicherheitsbehälters, des RDB und der RDB-Einbauten,
- Ausbau, Zerlegung und Verpackung von Steuerstäben, inklusive Erstkern-Steuerstäbe, sowie von LDV-Lanzen sowie

- die Durchführung von Abisolierarbeiten und Entfernung von Betriebsmedien im Maschinenhaus und im Reaktorgebäude.

Mit Inanspruchnahme der Stilllegungsgenehmigung lag der Schwerpunkt der Abbautätigkeiten im Maschinenhaus und im Reaktorgebäude. Einhergehend mit den Abbautätigkeiten erfolgt die dauerhafte Außerbetriebnahme von Systemen, welche für den Restbetrieb der Anlage nicht weiter benötigt wurden. Bei den Abbautätigkeiten im Reaktorgebäude sind vor allem zu nennen

- der Abschluss der Zerlegung aller RDB-Einbauten,
- die abgeschlossene Zerlegung des RDB-Deckels,
- der Abschluss des Ausbaus aller Steuerstabführungsrohre und
- Arbeiten am und im SHB, wie z. B. Zerlegung der Druckschale, Zerlegung Splitter-schutzbeton etc.

Im Bereich des Maschinenhauses wurden bis zum Zeitpunkt der Berichterstellung nachfolgende Rückbautätigkeiten durchgeführt:

- umfangreiche Demontagetätigkeiten an den ND-Turbinen und Wasserzuführungen
- Beginn der Demontage Frischdampf-Umleitstation
- Demontage und Zerlegung von Kondensatkühlern und eines Kondensatordoms

Bei der Anlage B-5 verlaufen die Maßnahmen zur Stilllegung planmäßig. Die Länge der Nachbetriebsphase ist für Anlagen, die aufgrund des Moratoriums und der 13. AtG-Novelle ihre Berechtigung zum Leistungsbetrieb verloren haben, typisch.

Insgesamt ereigneten sich in Anlage B-5 412 Ereignisse, wovon 19 in der Zeit der Stilllegung auftraten. In den 1980er, 1990er und 2000er Jahren ereigneten sich jeweils zwei Ereignisse und in den 2010er Jahren ein Ereignis, die Potential für Erschwernisse bei Rückbau haben. Zu diesen zählen

- defekte Brennelemente aufgrund von Pellet-Cladding-Interaction und Kontamination infolgedessen,
- diverse Kontaminationen wegen Leckagen im Maschinenhaus und Reaktorgebäude und

- Austritt von Schwefelsäure im Notfallbatteriesystem.

B.5.2 Entwicklung und Bewertung des Arbeits- und Personalaufwands

Mit dem Ende des Leistungsbetriebs (siehe Abb. B.21) wurde das Fremdpersonal auf rund 1.000 Personen abgestockt, während das Eigenpersonal vergleichsweise konstant gehalten wurde. In den bisher aufgezeichneten Stilllegungsjahren (siehe Abb. B.22) betrug der Personalaufwand rund 6.900 Pers.Jahre. Im Vergleich zu anderen Anlagen derselben Leistungsklasse erfolgt der Abbau mit etwas überdurchschnittlicher Personalmenge. Planungsdaten zum Personalaufwand sowie zum (geplanten) Arbeitsaufwand in Personenstunden liegen der GRS derzeit nicht vor. Eine weitergehende Bewertung ist aufgrund der kurzen Stilllegungsphase nicht sinnvoll möglich.

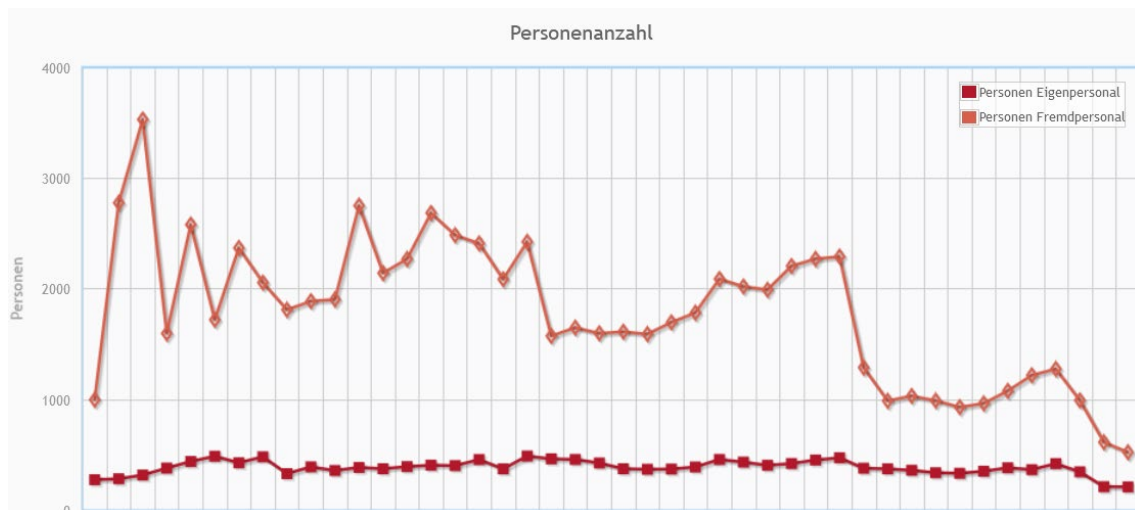


Abb. B.21 Entwicklung der Personalstruktur der Anlage B-5 /WIK 23/

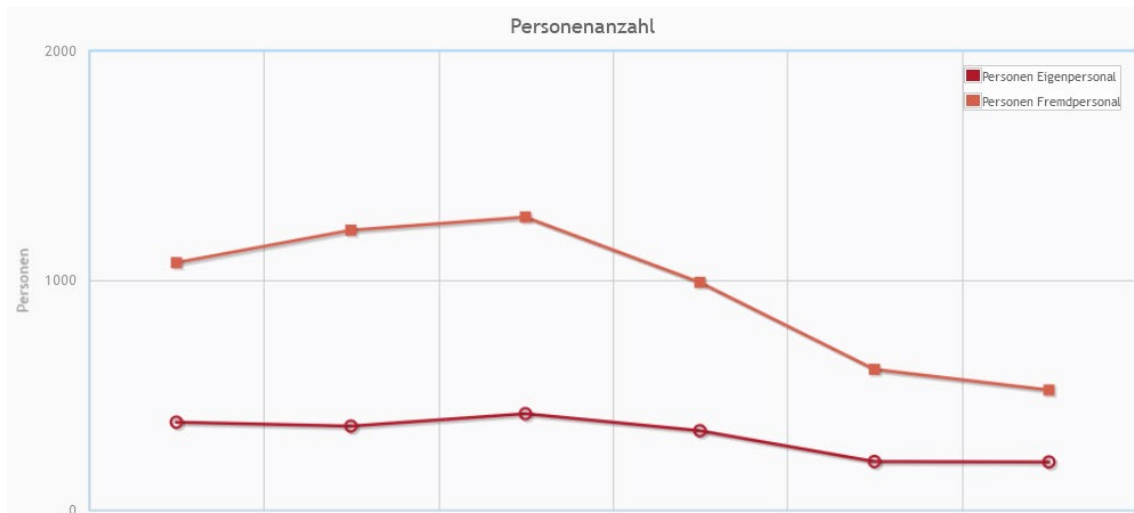


Abb. B.22 Entwicklung der Personalstruktur in der Anlage B-5 während der Stilllegung /WIK 23/

B.5.3 Entwicklung und Bewertung der Kollektivdosis

Auch die Entwicklung der Jahreskollektivdosis für das in der Anlage B-5 tätige Personal entspricht den Erwartungen. Insbesondere in der ersten Hälfte des Leistungsbetriebszyklus fallen die lokalen Maxima der Jahreskollektivdosis des Fremdpersonals auf. Die Ausprägung dieser Maxima halbiert sich nahezu für die zweite Hälfte der Leistungsbetriebsphase aufgrund umfangreicher Optimierungen im Betriebsreglement und stetiger technischer Weiterentwicklungen zur Reduzierung der tätigkeitsbezogenen Exposition. Mit Ende des leistungsbetriebs nähert sich die Jahreskollektivdosis des Fremdpersonals der des Eigenpersonals an.

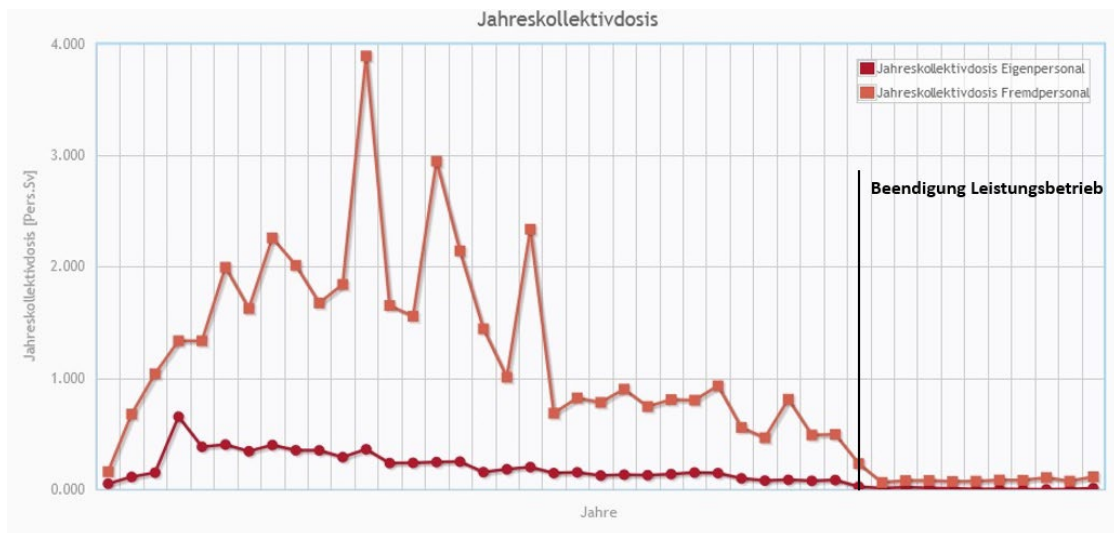


Abb. B.23 Jahreskollektivdosis des Eigen- und Fremdpersonals der Anlage B-5

Für den Restbetrieb und die Durchführung des Abbaus von Anlagenteilen der Anlage B-5 geht die Betreiberin von einer Kollektivdosis von insgesamt ca. 4 Pers.Sv. aus. Bis zum Zeitpunkt der Berichterstellung betrug für die Restbetriebsphase die kumulierte Jahreskollektivdosis für das Eigenpersonal 0,058 Pers.Sv und für das Fremdpersonal 0,499 Pers.Sv. Eine grafische Darstellung der Entwicklung der Jahreskollektivdosis für die Stilllegung ist in Abb. B.24 gezeigt.

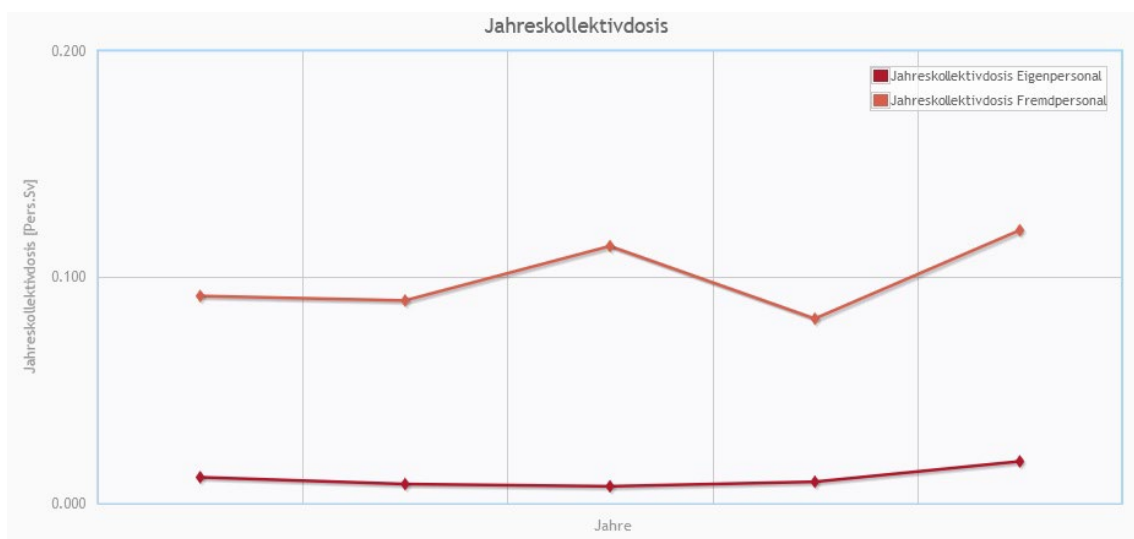


Abb. B.24 Jahreskollektivdosis des Eigen- und Fremdpersonals der Anlage B-5 seit Beginn der Stilllegung

B.5.4 Entwicklung und Bewertung der Ableitungen

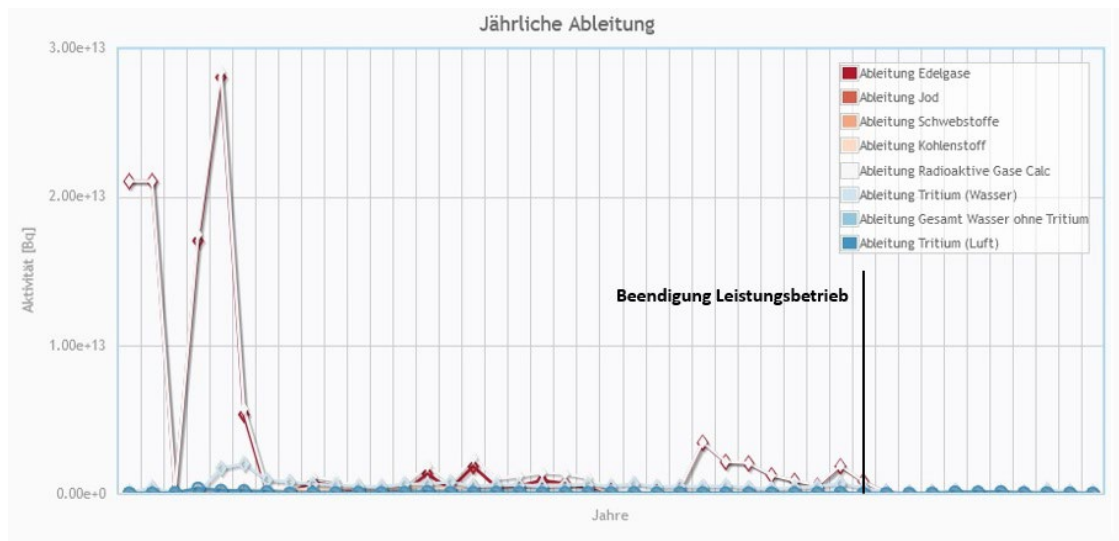


Abb. B.25 Jährliche Ableitungen der Anlage B-5 aufgeschlüsselt nach der Art der Ableitung

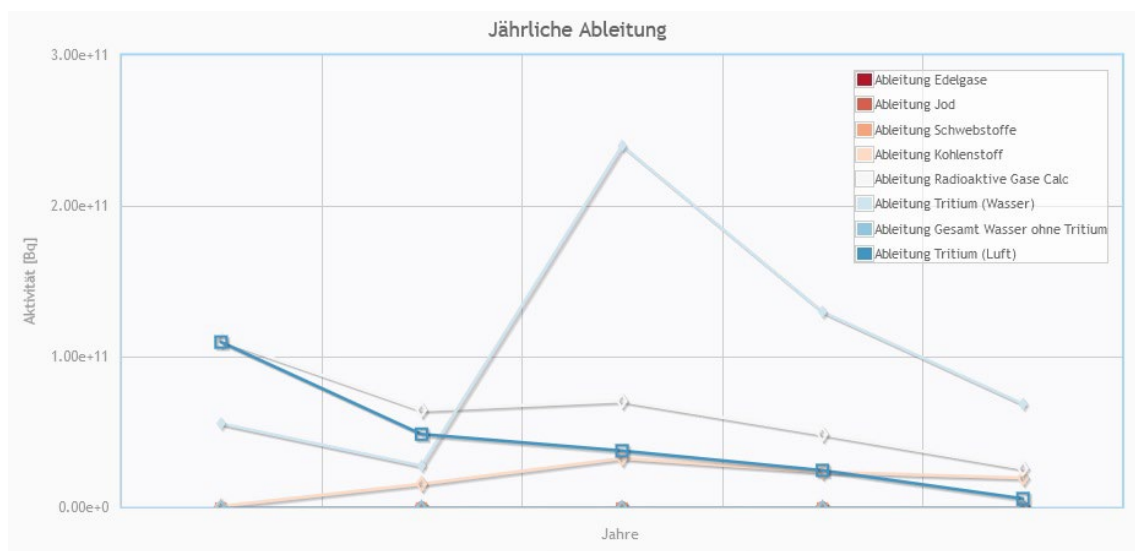


Abb. B.26 Jährliche Ableitung der Anlage B-5 mit Beginn der Stilllegung

B.5.5 Entwicklung und Bewertung des Reststoff- und Abfallaufkommens

Die Anlage B-5 hat eine Gesamtmasse von ca. 397.400 Mg. Hiervon entfallen ca. 222.500 Mg auf Gebäude, Anlagen und Anlagenteile, Systeme und Komponenten des

Kontrollbereichs und ca. 174.900 Mg auf Gebäude, Anlagen, Anlagenteile, Systeme und Komponenten außerhalb des Kontrollbereichs.

B.6 Anlage B-6

Die Anlage B-6 war ein Kernkraftwerk mit SWR im elektrischen Leistungsbereich von 500 bis 1000 MWe. Der Leistungsbetrieb begann Mitte der 1970er Jahre und endete im Jahr 2011. Im Folgejahr wurde ein Antrag auf eine SAG gestellt, die nach rund sechs Jahren erteilt wurde.

B.6.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie

Während der rund 35-jährigen Leistungsbetriebsphase kam es zu häufigen Nichtverfügbarkeiten, die in Summe zu etwa 55 % Leistungsverfügbarkeit führte. Auch zum Zeitpunkt der formalen Abschaltung war die Anlage bereits seit einigen Jahre nicht im Leistungsbetrieb, was Auswirkungen auf die in der Stilllegung vorhandene Aktivitätskonzentration von Radionukliden hat.

Im Betrieb kam es Ende der 1970er Jahre zu einem Ereignis im Maschinenhaus (Leckage), das zu Kontaminationen des Kamins und der dorthin führenden Rohrleitungen führte. Anfang der 2000er Jahre führte der Bruch einer Leitung im Reaktorgebäude zur Kontamination in der Anlage. Beide Ereignisse lassen erwarten, dass sie Einfluss auf die Stilllegung haben werden und den Aufwand der Dekontaminationsarbeiten erhöhen.

Der Abbau ist in zwei Phasen mit zwei Abbaugenehmigungen geplant. Bisher ist die 1. Genehmigung in Kraft, welche u. a. den Abbau der RDB-Einbauten vorsieht. Ein Zwischenlager für Stilllegungsabfälle wurde genehmigt und erbaut.

Der Abbau des RDB selbst sowie des biologischen Schilts, aller übrigen Systeme (des Restbetriebs) und die Dekontamination und Freimessung der Gebäude und des Geländes werden Gegenstand einer zweiten Phase und Stilllegungsgenehmigung sein. Hierzu wurde etwa zwei Jahre nach Abbaubeginn ein zweiter Antrag gestellt.

Gemäß der Planungsdaten der Betreiberin soll die gesamte Stilllegung zwischen 12 und 18 Jahren, inklusive Gebäudeabriss dauern. Das Ende des Abbaus würde damit Mitte der 2030er Jahre sein.

Der Abbau von B-6 begann vorwiegend am RDB. Der Dampftrockner wurde zerlegt und verpackt. Nachfolgend wurde das obere Kerngitter, der Dampf-Wasser-Abscheider, der Speisewasserverteiler und Teile des Sicherheitsbehälters abgebaut. Auch aktuell konzentrieren sich die Arbeiten auf RDB-Einbauten und Komponenten des Wasser-Dampf-Kreislaufs. Damit findet der Abbau von B-6 „von innen nach außen“ statt.

In der gesamten Betriebshistorie ereigneten sich 549 Ereignisse, davon 33 in der Zeit der Stilllegung. In den 1970er Jahren ereigneten sich drei Ereignisse, in den 2000er Jahren vier und in den 2010er Jahren zwei weitere Ereignisse, die sich potenziell erschwerend auf den Rückbau auswirken könnten. Hierzu zählen

- diverse Kontaminationen im Reaktorgebäude und Maschinenhaus aufgrund verschiedener Leckagen (Fehlauslösungen, Montagefehler, Fehlmessung durch Defekte, Verschleiß und fehlerhafte Ersatzteile für Konditionierungsequipment) und eine Explosion durch Ansammlung und Zündung von Radiolysegas im Reaktorwasserreinigungssystem,
- Fehler an der Brennelementlademaschine,
- Chlorideintrag aufgrund von Asbestdichtungen und
- defekte Fässer.

Insgesamt befindet sich B-6 noch am Beginn des Abbaus. Soweit erkennbar liegen die Arbeiten im Plan.

B.6.2 Entwicklung und Bewertung des Arbeits- und Personalaufwands

Die Entwicklung des Personalaufwands in der Anlage B-6 während der Stilllegung ist in Abb. B.27 dargestellt. Bislang ist der Personaleinsatz recht konstant und mit ca. 800 Personen des Fremdpersonals recht hoch. Die Kontinuität deutet an, dass das Personal gut ausgelastet wurde, so dass der Abbau bisher ungehemmt stattfinden konnte. Das Eigenpersonal wurde von ca. 200 auf rund 150 Personen abgebaut. Mit dem Wegfall von weiteren Systemen des Restbetriebs ist eine weitere Reduktion in den nächsten Jahren zu erwarten, sofern das Eigenpersonal nicht für Abbauarbeiten genutzt wird.

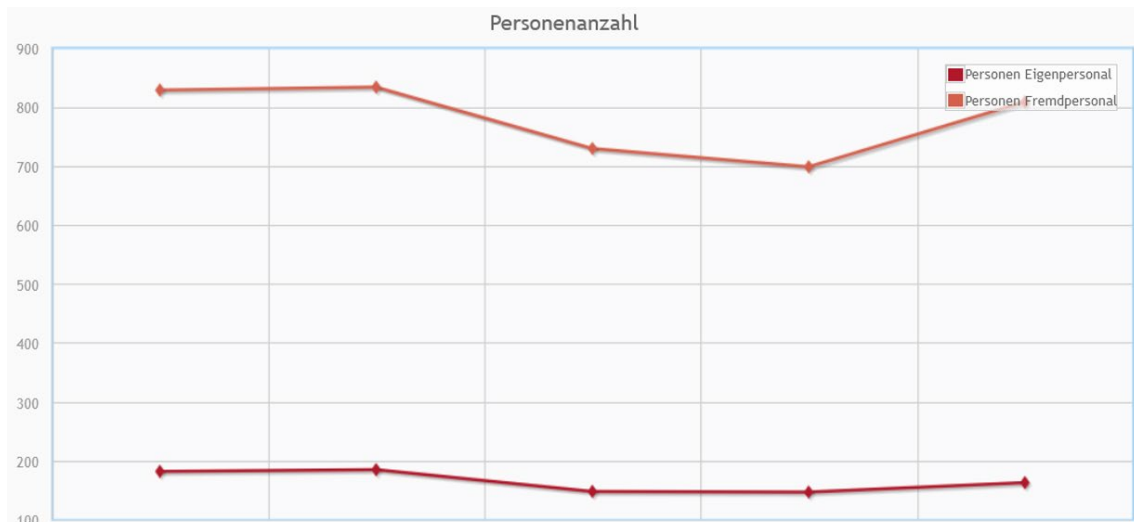


Abb. B.27 Entwicklung des Personaleinsatzes in B-6 während der Stilllegung
/WIK 24/

Planungsdaten sowie Informationen zum geplanten und tatsächlichen Arbeitsaufwand in Pers.h liegen der GRS derzeit nicht vor.

Der kumulierte Arbeitsaufwand in fünf Stilllegungsjahren beträgt bisher 4.731 Pers.Jahre.

B.6.3 Entwicklung und Bewertung der Kollektivdosis

Die Entwicklung der Jahreskollektivdosis während der Stilllegung von B-6 ist in Abb. B.28 dargestellt. Die Kollektivdosen für das Eigenpersonal sind sehr konstant über die dargestellte Zeitspanne, beim Fremdpersonal ist sie zuletzt gesunken. Insgesamt bewegen sich die kumulierten Dosen auf einem sehr niedrigen Niveau. Da in den dargestellten Jahren Abbautätigkeiten an den RDB-Einbauten stattfanden, deutet letzteres auf einen guten Strahlenschutz und/oder fernhantierte Zerlegetechniken hin.

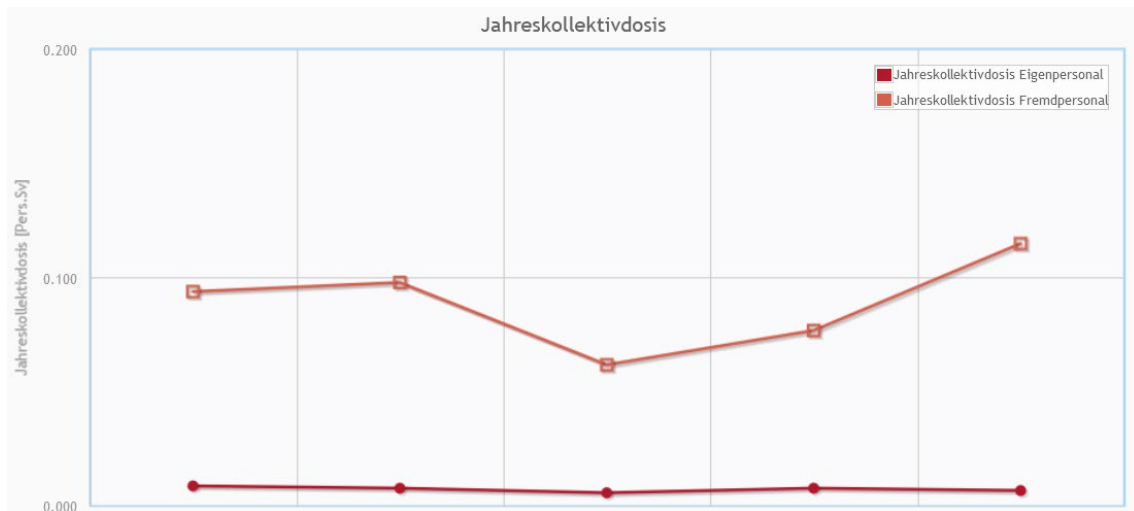


Abb. B.28 Verlauf der Jahreskollektivdosis in der Stilllegung für die Anlage B-6 /WIK 23/

Nach dem letzten der GRS vorliegenden Stand beläuft sich die kumulierte Gesamtersonendosis über alle Stilllegungsjahre bisher auf 0,362 Pers.Sv.

B.6.4 Entwicklung und Bewertung der Ableitungen

Die Ableitungen aus der Anlage B-6 während der Stilllegung sind in Abb. B.29 dargestellt. Die Werte liegen weit unterhalb der maximal zulässigen Ableitungen.

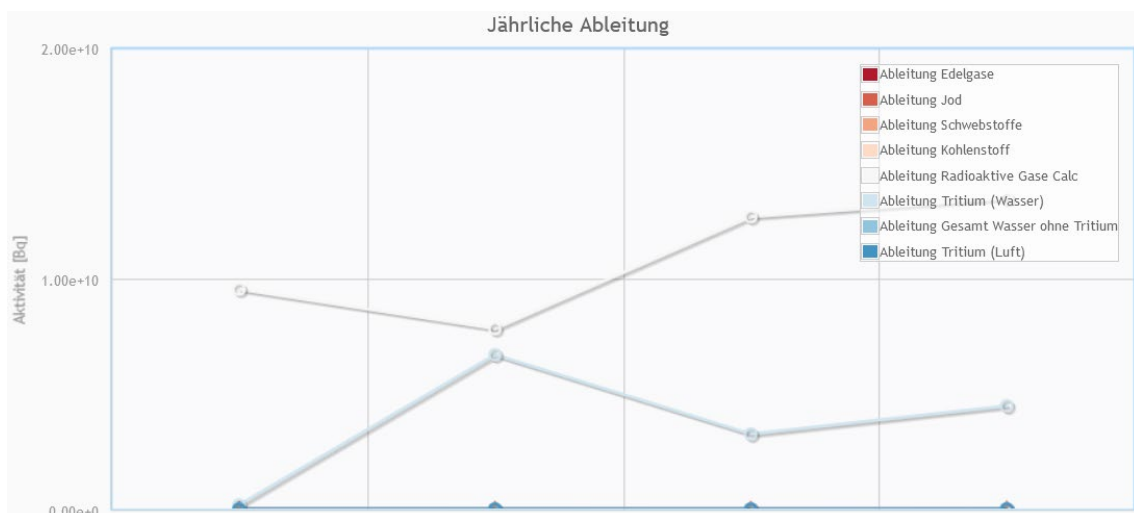


Abb. B.29 Jährliche Ableitungen aus B-6 in der Stilllegungsphase /WIK 24/

In der Stilllegungsgenehmigung sind die zulässigen Ableitungen mit dem Abwasser unverändert gegenüber der Betriebsgenehmigung (Leistungsbetrieb) geblieben. Die Ableitungen mit der Fortluft wurden reduziert genehmigt (siehe Tab. B.3).

Tab. B.3 Genehmigte Ableitungen mit der Fortluft aus B-6

Genehmigte Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft über den Fortluftkamin (Bq)			
Nuklide	pro Kalenderjahr	an 26 aufeinanderfolgenden Wochen	pro Woche
Radioaktive Aerosole mit HWZ > 8 d	1,48E10	7,4E09	7,4E08
Radioaktive Gase inkl. H-3 und C-14	1,48E15	7,4E14	-

B.6.5 Entwicklung und Bewertung des Reststoff- und Abfallaufkommens

Die Gesamtmasse des Kernkraftwerkes B-6 beträgt ca. 300.000 Mg. Davon fällt der überwiegende Anteil auf die Gebäudestrukturen, die weitestgehend freigegeben bzw. herausgegeben werden können. Mit einer radiologischen Charakterisierung wurde in der Nachbetriebsphase begonnen. Von der Gesamtmasse radioaktiver Reststoffe können ca. 93 % uneingeschränkt freigegeben werden, ca. 5 % zur Beseitigung freigegeben werden und ca. 2 % müssen als radioaktive Abfälle entsorgt werden. Insgesamt werden weniger als 6000 Mg als radioaktive Abfälle aus der Stilllegung zu entsorgen sein. In Form konditionierter Abfälle samt Behältern wird ein Volumen von rund 10.000 m³ im Schacht Konrad dafür benötigt werden.

Bis Ende 2020 betrug die gesamte Abbaumasse rund 79 Mg (größtenteils RDB-Einbauten).

B.7 Anlage B-7

B-7 ist ein Kernkraftwerk mit DWR und rund 1200 MW elektrischer Bruttoleistung. Die Anlage ging Mitte der 1970er Jahre in Betrieb. Nach über 35 Jahren Leistungsbetrieb wurde die Anlage 2011 abgeschaltet. Nach rund einem Jahr wurde die 1. SAG beantragt, die ca. fünf Jahre später erteilt wurde.

B.7.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie

Die Anlage B-7 erreichte in ihrer Leistungsbetriebsphase eine Arbeitsverfügbarkeit von 68,3 %. Im Betrieb kam es zu folgenden potenziell stilllegungsrelevanten Störfällen:

- Kurz nach Inbetriebnahme kam es durch Leckagen zur Kontamination des Kamins und dorthin führender Rohrleitungen sowie zu Kontaminationen in der Anlage.
- Durch Korrosion kam es in den 1990er Jahren zu Schäden an Abwasserleitungen, welche zur Kontamination des Erdbodens und des Grundwassers führte.

Beide Störfälle lassen erwarten, dass sie den Aufwand bei den abschließenden Dekontaminationsarbeiten zur Freigabe erhöhen könnten.

In der Nachbetriebsphase wurde eine Systemdekontamination durchgeführt. Die Stilllegung ist in mindestens zwei Genehmigungsschritten geplant. Gemäß Antrag wurde der Abbaubeginn mit in der Anlage befindlichen Brennelementen vorgesehen. Das Ziel der Brennelement- und auch der Kernbrennstofffreiheit konnte jedoch vor Erteilung der 1. SAG erreicht werden. Bereits vor Abbaubeginn wurde auch ein zweiter Antrag auf Abbaugenehmigung gestellt, welche rund zwei Jahre später erteilt wurde. Insgesamt sieht die Abbauplanung einen Abbau von hochaktivierten und -kontaminierten Teilen hin zu gering kontaminierten Teilen (von innen nach außen) vor.

Nach Baustelleneinrichtung und Schaffung der Abbau-Infrastruktur wurden u. a. Loop-Leitungen abgebaut und es wurde mit dem Dampferzeuger-Abbau begonnen. Anschließend begann deren Zerlegung. Außerdem wurden die RDB-Einbauten abgebaut und mit dem RDB-Abbau im Rahmen der 2. Abbaugenehmigung begonnen.

In Anlage B-7 ereigneten sich insgesamt 465 Ereignisse, davon neun in der Zeit der Stilllegung. Drei Ereignisse haben Potenzial für Erschwernisse beim Rückbau. Bei zwei Ereignissen führten Leckagen in der Kühlmittellagerung und dem nuklearen Abwassersystem zu Kontaminationen im Hilfsanlagegebäude und außerhalb der Anlage. Bei der Systemdekontamination führte ein ungeeignetes Verfahren zu Schäden an Primärkreis-komponenten.

Mit Inanspruchnahme der Stilllegungsgenehmigung rechnet die Betreiberin mit einer Gesamtdauer der Stilllegung von ca. 15 Jahren mit dem Ziel, die Gebäude aus dem Atomgesetz zu entlassen. Derzeit ist aus GRS-Sicht keine Verzögerung erkennbar.

B.7.2 Entwicklung und Bewertung des Arbeits- und Personalaufwandes

Der Personaleinsatz in der Anlage B-7 hat sich während der Stilllegung wie in Abb. B.30 dargestellt entwickelt. Das Eigenpersonal wird (vermutlich für den Restbetrieb) relativ konstant bei über 200 Personen gehalten. Das Fremdpersonal wurde ab Stilllegungsbeginn aufgestockt auf knapp 900 Personen. In den dargestellten Jahren betrug der kumulierte Personalaufwand bisher 4.067 Pers.Jahre. Informationen zum Arbeitsaufwand (in Pers.h) liegen der GRS nicht vor. Auch liegen keine Informationen zum geplanten Personalaufwand vor. Zu beachten ist bei B-7, dass am Standort ein weiterer Reaktor stillgelegt wird, mit dem ggfs. Personal (insbesondere Fremdpersonal) geteilt werden kann und dass dieses nicht unbedingt ganzjährig arbeitet. Im Vergleich zu anderen Kernkraftwerken dieser Leistungsklasse ist der Personalaufwand etwas überdurchschnittlich.

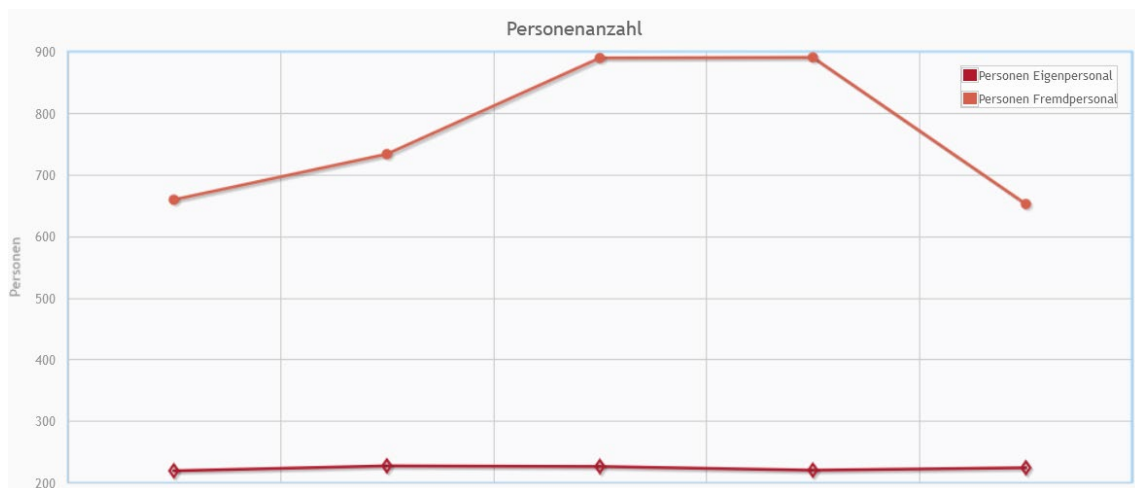


Abb. B.30 Anzahl jährlich eingesetzter Personen während der Stilllegung von B-7

B.7.3 Entwicklung und Bewertung der Kollektivdosis

Die Jahreskollektivdosis in B-7 hat sich während der Stilllegung bisher wie in Abb. B.31 dargestellt entwickelt. Das Eigenpersonal weist eine sehr niedrige und konstante Exposition aus. Das Fremdpersonal, das mutmaßlich die wesentlichen Abbaumaßnahmen durchführt, zeigt Schwankungen, die von den jeweiligen Tätigkeiten abhängig sind.

Bisher kumuliert sich die Personendosis des Gesamtpersonals auf 0,8 Pers.Sv, von denen der Großteil auf das Fremdpersonal entfällt. Planungswerte für die Exposition des Personals während der gesamten Stilllegung, mit denen der Ist-Wert verglichen werden könnte, liegen der GRS derzeit nicht vor.

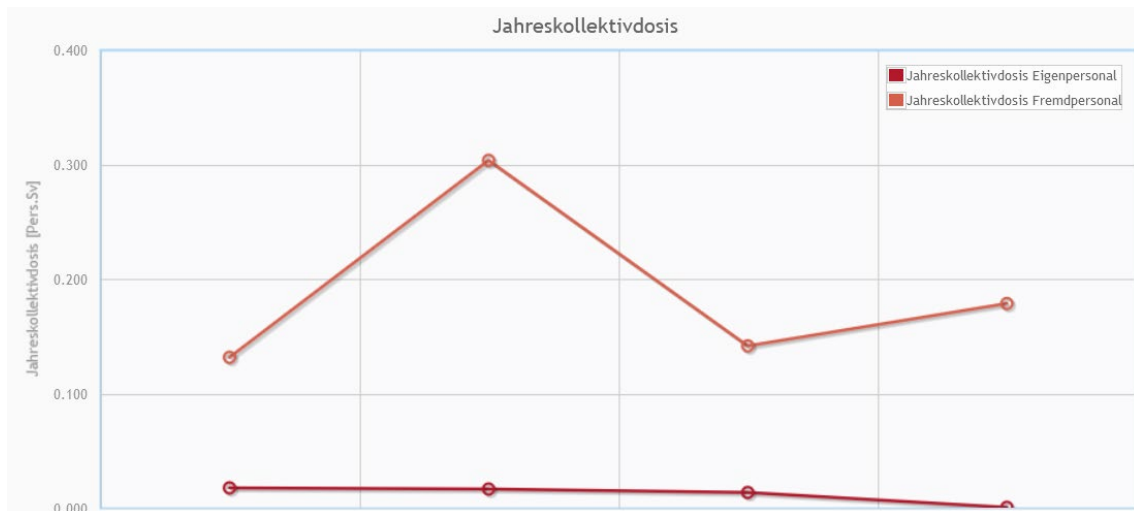


Abb. B.31 Entwicklung der jährlichen Kollektivdosen in der Anlage B-7 /WIK 23/

B.7.4 Entwicklung und Bewertung der Ableitungen

Daten zu Ableitungen aus B-7 mit Fortluft und Abwasser liegen der GRS derzeit nur für einen einzigen Jahrgang vor, weshalb hier keine Grafik gezeigt wird. Der Genehmigungswert für Tritium mit dem Abwasser wurde zu ca. 10 % ausgeschöpft. Alle anderen Ableitungen waren noch erheblich geringer. Eine Bewertung ist an dieser Stelle nicht möglich.

B.7.5 Entwicklung und Bewertung des Reststoff- und Abfallaufkommens

Beim Abbau der Anlage B-7 fällt eine Gesamtmasse von ca. 170.000 Mg an Reststoffe an. Hiervon entfallen ca. 31.500 Mg radioaktive Reststoffe auf die Demontage im Kontrollbereich, wovon ca. 25.000 Mg ohne nennenswerten Dekontaminationsaufwand der Freigabe zugeführt und anschließend konventionell entsorgt werden sollen. Etwa 138.500 Mg entfallen auf Gebäudestrukturen, die voraussichtlich an der stehenden Struktur freigegeben werden können.

Vor der Freigabe müssen ca. 3.950 Mg mittels verschiedener Dekontaminationsverfahren gereinigt werden. Etwa 2.900 Mg können voraussichtlich nicht freigegeben werden und sind somit als radioaktiver Abfall in ein Endlager zu verbringen. Hinzu kommen noch ca. 325 Mg radioaktive Abfälle, die beim Restbetrieb und beim Abbau durch zusätzlich in die Anlage eingebrachte Materialien bzw. bei der Verarbeitung von radioaktiven Reststoffen oder bei der Behandlung von radioaktiven Abfällen entstehen, sog. Sekundär-

abfälle. Bis zur Endlagerung werden die Abfälle im Wesentlichen in einem Standortzwischenlager gelagert.

Aktuelle Informationen zu den bisher abgebauten und zu entsorgenden Reststoffmassen liegen der GRS nicht vor.

B.8 Anlage B-8

Die Anlage B-8 ist ein Kernkraftwerk mit DWR und über 1200 MW elektrischer Bruttoleistung. Die Anlage ging Mitte der 1970er Jahre in Betrieb. Nach rund 35 Jahren Leistungsbetrieb wurde die Anlage 2011 abgeschaltet. Nach rund einem Jahr wurde die 1. SAG beantragt, die ca. fünf Jahre später erteilt wurde.

B.8.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Während der Leistungsbetriebsphase kam es zu folgenden zwei Vorkommnissen, die ggfs. Einfluss auf die Stilllegung haben können:

- Noch in den 1970er Jahren kam es zu einer erhöhten Kontamination des Fortluftkamins und der dorthin führenden Leitungen während eines Brennelementwechsels.
- In den 2000er Jahren führte eine Leckage während des Ausbaus einer Armatur, die zu Kontaminationen im Hilfsanlagegebäude führte.

Beide Vorkommnisse erhöhen potenziell den Dekontaminations- und Charakterisierungsaufwand in der Stilllegung. In der Anlage B-8 ereigneten sich insgesamt 469 Ereignisse, davon zehn in der Zeit der Stilllegung.

Erst nach Erhalt der 1. Stilllegungsgenehmigung wurde eine Systemdekontamination durchgeführt, die das radioaktive Inventar deutlich reduzieren konnte (mittlerer Dekontaminationsfaktor ca. 100). In der Regel wird diese Form der Dekontamination schon in der Nachbetriebsphase durchgeführt.

Die Stilllegung erfolgt in insgesamt zwei Phasen und mit zwei separaten SAGs, wobei sich die beiden Phasen überlappen. Gemäß Antrag wurde der Beginn des Abbaus mit in der Anlage befindlichen Brennelementen vorgesehen. Die Brennelement- und Kernbrennstofffreiheit wurde tatsächlich erst nach Erteilung der 1. Stilllegungsgenehmigung

erreicht. Bis zum Erreichen dieses Meilensteins wurden vorwiegend abbauvorbereitende, infrastrukturelle Maßnahmen durchgeführt. Der Abbau der Loop-Leitungen gehörte zu den ersten Abbaumaßnahmen und entfiel auf dieselbe Phase, in der die letzten Kernbrennstoffe aus der Anlage entfernt wurden.

Nach Baustelleneinrichtung und Schaffung der Abbau-Infrastruktur wurde u. a. der fernhantierte Abbau der Kerneinbauten in Angriff genommen. Die 2. Abbaugenehmigung wurde 2,5 Jahre nach Antragstellung und rund drei Jahre nach Erteilung der 1. SAG erteilt. Diese beinhaltet den Abbau von RDB, des biologischen Schildes sowie der Umschließung des äußeren Sicherheitsbereichs.

Der Beginn substanzieller Abbaumaßnahmen erfolgte mit einer Verzögerung von etwa zwei Jahren nach Erteilung der 1. SAG, als die Anlage kernbrennstofffrei wurde. Genehmigungsrechtlich wäre ein früherer Beginn möglich gewesen. Die Betreiberin hat sich aus logistischen Gründen für den verzögerten Beginn entschieden. Für das übergeordnete Ziel der Entlassung der Gebäude aus der atomrechtlichen Aufsicht, wird von einer Dauer von ca. 15 Jahren ausgegangen. Abgesehen von der beabsichtigten Verzögerung zu Beginn erscheint der Abbau von B-8 aus GRS-Sicht im Plan.

B.8.2 Entwicklung und Bewertung des Arbeits- und Personalaufwands

Der Personaleinsatz in der Anlage B-8 hat sich während der Stilllegung, wie in Abb. B.32 dargestellt, entwickelt. Das Eigenpersonal wird (vermutlich für den Restbetrieb) relativ konstant bei etwa 200 Personen gehalten.

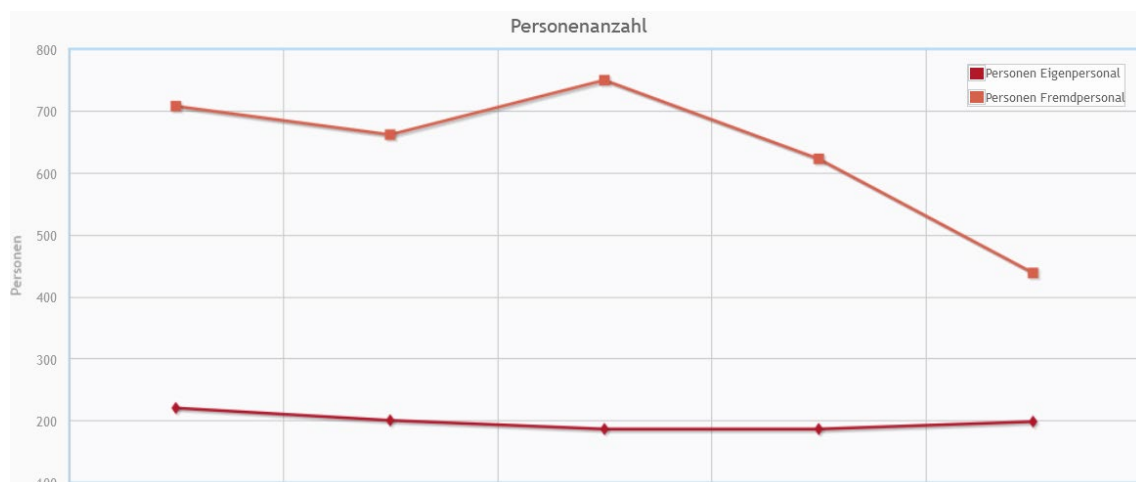


Abb. B.32 Entwicklung des Eigen- und Fremdpersonaleinsatzes in B-8 während der Stilllegung /WIK 23/

Auch das Fremdpersonal wird seit Stilllegungsbeginn konstant bei etwa 700 Personen gehalten. In den dargestellten Jahren betrug der kumulierte Personalaufwand bisher 3536 Pers.Jahre. Informationen zum Arbeitsaufwand (in Pers.h) liegen der GRS nicht vor. Auch liegen keine Informationen zum geplanten Personalaufwand vor. Zu beachten ist bei B-8, dass am Standort ein weiterer Reaktor stillgelegt wird, mit dem ggfs. Personal (insbes. Fremdpersonal) geteilt werden kann und dass dieses nicht unbedingt ganzjährig arbeitet. Im Vergleich zu anderen Kernkraftwerken dieser Leistungsklasse ist der Personalaufwand etwas überdurchschnittlich.

B.8.3 Entwicklung und Bewertung der Kollektivdosis

Mit der endgültigen Abschaltung der Anlage B-8 sinken die Jahreskollektivdosen für Fremd- und Eigenpersonal signifikant. Nach Erteilung der 1. SAG steigen diese erwartungsgemäß für das Fremdpersonal wieder etwas an. Überwiegend fanden vorbereitende Arbeiten für die Abbaulogistik statt. Im Jahr des Maximums wurden die Hauptkühlmittelleitungen abgebaut. Insgesamt zeigt der Verlauf für die Stilllegung keine Auffälligkeiten. Weitere Bewertungen schließen sich aufgrund der kurzen Abbauphase derzeit aus.

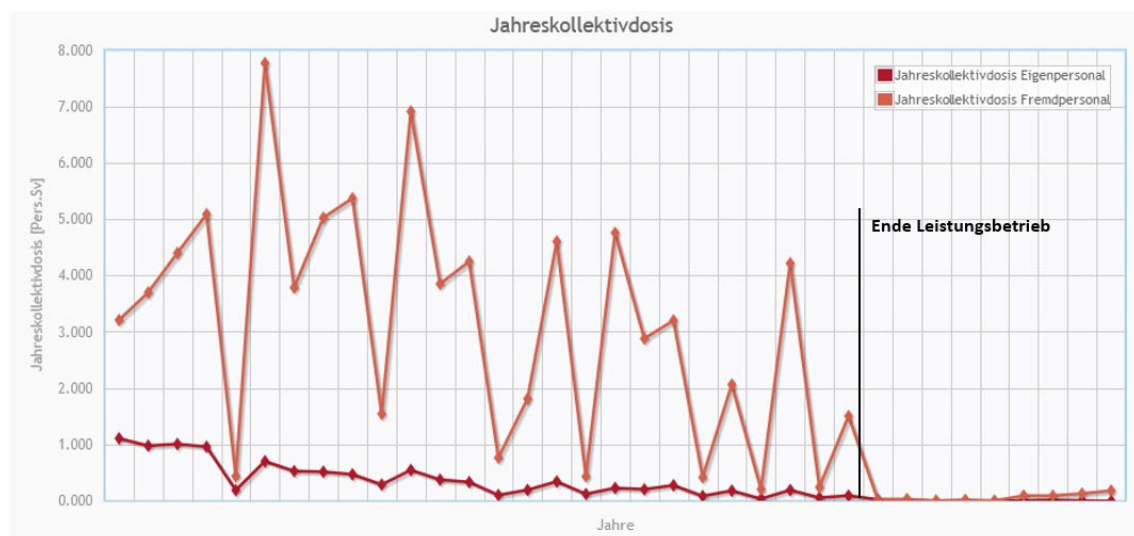


Abb. B.33 Jahreskollektivdosis des Eigen- und Fremdpersonals der Anlage B-8 während Betrieb und Stilllegung

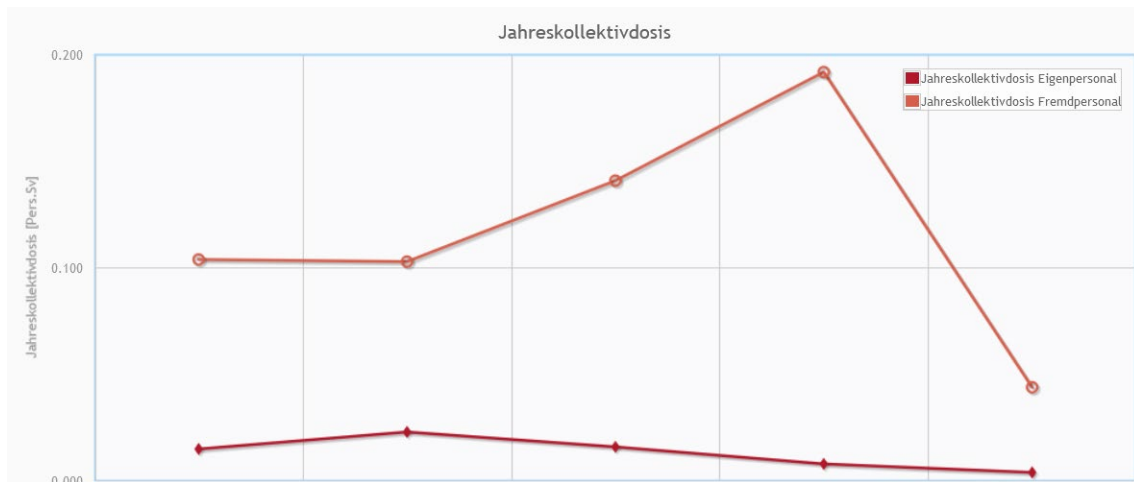


Abb. B.34 Jahreskollektivdosis des Eigen- und Fremdpersonals der Anlage B-8 während der Stilllegung

B.8.4 Entwicklung und Bewertung der Ableitungen

Die jährlichen Ableitungswerte für die Anlage B-8 mit Blick auf die unterschiedlichen Ableitungsarten ab Beginn des Leistungsbetriebs in den 1970er Jahren sind in Abb. B.35 grafisch dargestellt. Der hohe Ableitungswert für Edelgase und radioaktive Gase in den ersten Jahren des Leistungsbetriebs lässt sich, wie bereits in Abschnitt B.8.1 erwähnt, einem konkreten Ereignis zuordnen. Im weiteren Betriebsverlauf entsprechen die Ableitungswerte dem störungsfreien Betrieb der Anlage und damit den Erwartungen. Der Übersicht halber sind die jährlichen Ableitungen mit Beginn der Inanspruchnahme der 1. Stilllegungsgenehmigung in Abb. B.36 dargestellt.

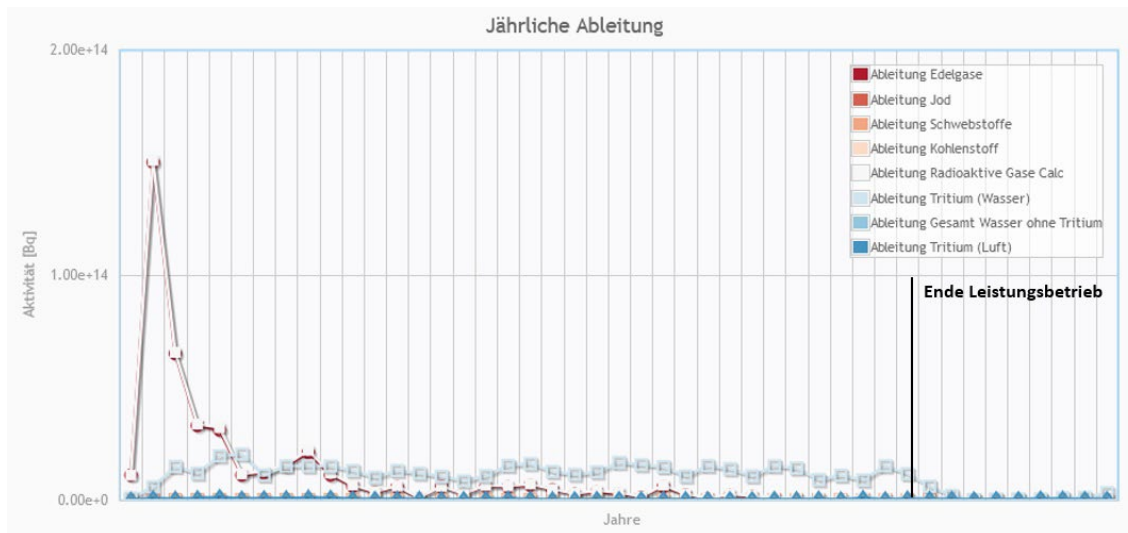


Abb. B.35 Jährliche Ableitungen der Anlage B-4, aufgeschlüsselt nach der Art der Ableitung

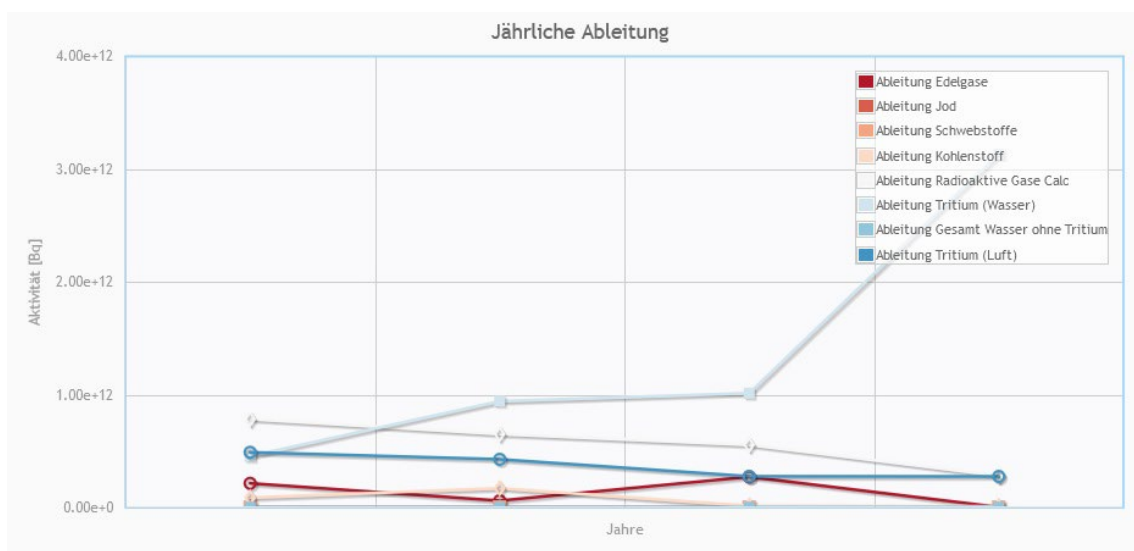


Abb. B.36 Jährliche Ableitungen der Anlage B-4, aufgeschlüsselt nach der Art der Ableitung mit Beginn der Stilllegung

B.8.5 Entwicklung und Bewertung des Reststoff- und Abfallaufkommens

Beim Abbau der Anlage B-8 fallen, mit Ausnahme der stehenden Gebäudestrukturen, eine Gesamtmasse von ca. 170.000 Mg Reststoffe an. Hiervon entfallen ca. 31.500 Mg radioaktive Reststoffe auf die Demontage im Kontrollbereich, wovon ca. 24.650 Mg ohne nennenswerten Dekontaminationsaufwand bzw. durch einfache Dekontaminationsmaßnahmen der Freigabe zugeführt und anschließend konventionell entsorgt werden sollen.

Etwa 138.500 Mg entfallen auf Gebäudestrukturen, die voraussichtlich an der stehenden Struktur freigegeben werden können.

Vor der Freigabe müssen ca. 3.950 Mg mittels verschiedener Dekontaminationsverfahren gereinigt werden. Etwa 2.900 Mg können voraussichtlich nicht freigegeben werden und sind somit als radioaktiver Abfall in ein Endlager zu verbringen. Hinzu kommen noch ca. 325 Mg radioaktive Abfälle, die beim Restbetrieb und beim Abbau durch zusätzlich in die Anlage eingebrachte Materialien bzw. bei der Verarbeitung von radioaktiven Reststoffen oder bei der Behandlung von radioaktiven Abfällen entstehen, sog. Sekundärabfälle.

Die Gebäudemassen der Anlage B-8 werden, abzüglich der nicht nach Strahlenschutzverordnung freizugebenden aktivierten Bereiche des biologischen Schildes auf insgesamt ca. 156.500 Mg geschätzt. Ein Teil dieser Masse (z. B. Betonriegel, Setzsteine, Bauschutt) kann direkt oder nach Dekontaminationsmaßnahmen der Freigabe zugeführt werden. Der überwiegende Teil der Gebäudemassen mit einer Masse von ca. 138.500 Mg wird größtenteils an der stehenden Struktur gemäß Strahlenschutzverordnung freigegeben werden.

C Anhang C: Stilllegungsbilanzen der C-Anlagen (endgültige Abschaltung nach 2011)

C.1 Anlage C-1

C.1.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Die Anlage C-1 wurde in den 1970er Jahren gebaut und in den 1980er Jahren in Betrieb genommen. Nach über 30 Jahren wurde die Anlage endgültig abgeschaltet und außer Betrieb genommen. Die elektrische Leistung lag etwas über 1 GWe. Aufgrund des gesetzlich festgelegten Termins für die dauerhafte Außerbetriebnahme, konnte auch der erste Antrag auf Stilllegung und Abbau der Anlage rechtzeitig erfolgen. Hierdurch kam es nur zu einer kurzen Nachbetriebsphase.

Der Abbau der Anlage C-1 soll in zwei Phasen erfolgen, deren atomrechtliche Genehmigungen jeweils gesondert nach § 7 Abs. 3 AtG beantragt werden und sich zeitlich überlagern. Das Stilllegungsziel ist die Entlassung des Standortes aus der atomrechtlichen Überwachung. Während in der ersten Phase der Abbau der RDB-Einbauten erfolgen soll und Dampferzeuger, Druckhalter etc. abgebaut werden, erfolgt der Abbau von RDB und Bioschild sowie weiterer Systeme und Anlagenteile unter einer 2. Stilllegungsgenehmigung.

Die Abbauphase 1 soll hierbei in folgende drei Zeitabschnitte unterteilt werden:

- Abschnitt 1A: Es befinden sich noch bestrahlte Brennelemente und einzelne Sonderbrennstäbe im Lagerbecken.
- Abschnitt 1B: Einzelne Sonderbrennstäbe sind noch im BE-Lagerbecken vorhanden. Sie erfordern nach Abtransport der Brennelemente eine angemessene Wasserüberdeckung zur Abschirmung.
- Abschnitt 1C: Die Anlage ist frei von Kernbrennstoff.

Aktuell befindet sich die Anlage C-1 im Zustand der Kernbrennstofffreiheit (1C). In den ersten Stilllegungsjahren befand sich noch Kernbrennstoff in der Anlage. Seit Stilllegungsbeginn wurden rund 60 % der Komponenten stillgesetzt. Unter anderem wurden Frischdampfleitungen demontiert, ebenso wie Druckspeicher und Lademaschine. BE-

Gestelle wurden gezogen und Dampferzeuger freigeschnitten. Mit dem Abbau des oberen Kerngerüsts wurde bereits begonnen. Wie im Abbaukonzept vorgesehen, wird also mit der Demontage hoch aktivierter und kontaminierter Bauteile begonnen. Dadurch ist für kommende Jahre mit einer Verringerung der jährlichen Exposition zu rechnen.

Die Antragsunterlagen für die zweite Abbauphase sind eingereicht und werden geprüft. Aus GRS-Sicht ist der Abbau von C-1 derzeit im Zeitplan. Insgesamt ereigneten sich in C-1 242 Ereignisse, davon eines in der Zeit der Stilllegung.

C.1.2 Arbeits- und Personalaufwand

In den ersten vier Jahren der Stilllegung ist ein starker Anstieg der Fremdpersonalstärke bei annähernd gleichbleibender Eigenpersonalstärke zu erkennen (siehe Abb. C.1).

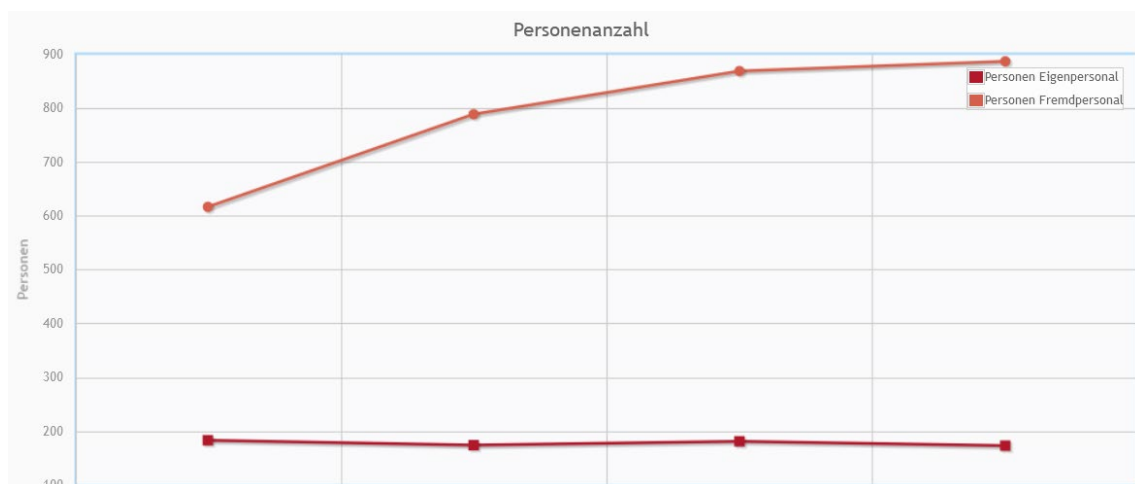


Abb. C.1 Entwicklung der Personenzahl in C-1 während der Stilllegung /WIK 23/

Trend und Personenzahl (ca. 200 Personen Eigenpersonal und Aufbau von ca. 900 Personen Fremdpersonal) entsprechen damit dem für diese Leistungsklasse üblichen Maß.

C.1.3 Kollektivdosis

Bis Ende 2021 befand sich C-1 erst einige Jahre in der Stilllegungsphase. In dieser Zeit kumulierte sich eine Kollektivdosis von 0,42 Pers.Sv für Fremd- und Eigenpersonal, wobei der deutlich überwiegende Teil auf das Fremdpersonal entfiel.

Während die jährlichen Kollektivdosen für das Eigenpersonal recht konstant über die Jahre bleiben, schwanken diese beim Fremdpersonal und stiegen zuletzt an.

Hinsichtlich der für das Abbaupersonal zu erwartenden Kollektivdosis während der Stilllegung werden in den Planungsunterlagen zu C-1 keine Angaben gemacht.

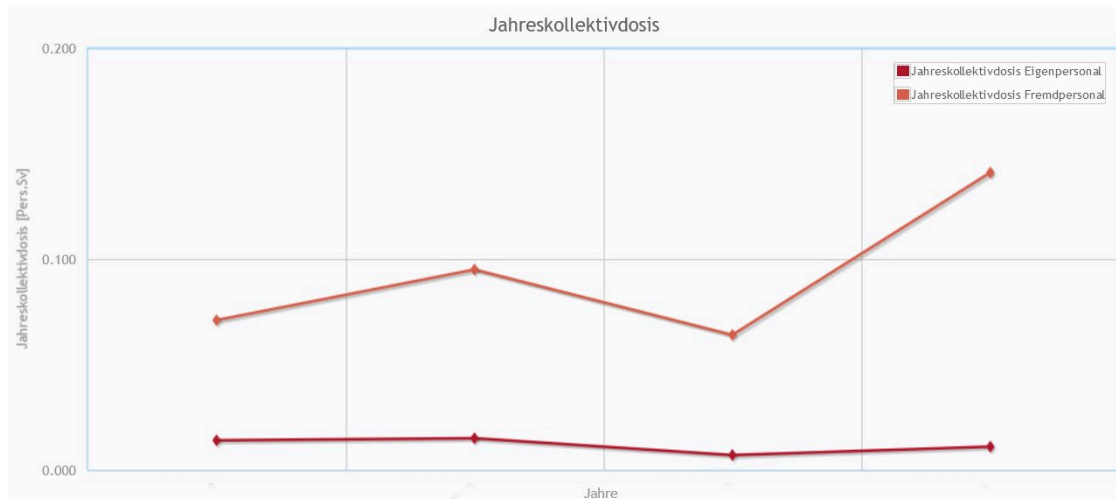


Abb. C.2 Entwicklung der Kollektivdosis in C-1 während der Stilllegung /WIK 23/

Mit Beginn des Jahres 2021 haben etwa ein Viertel aller Mitarbeiter neue Aufgaben und Positionen übernommen, da die Stärke des früheren Schichtpersonals mit Erreichen der Kernbrennstofffreiheit weiter reduziert werden konnte.

C.1.4 Ableitungen

In der 1. SAG wurden folgende Ableitungswerte für die Fortluft und Abwasser erteilt.

Tab. C.1 Genehmigte Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser

Radioaktive Aerosole (ohne I-131, HWZ < 8d)	
Innerhalb eines Kalenderjahres	3,7E10 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	3,7E8 Bq
Radioaktive Gase	
Innerhalb eines Kalenderjahres	1,11E15 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	1,11E13 Bq
Ableitungen mit dem Abwasser pro Kalenderjahr	
Ohne Tritium	5,55E10 Bq
Tritium	4,07E13 Bq

In den wenigen Stilllegungsjahren wurden die Genehmigungswerte zu unter 2 % ausgeschöpft, wobei Tritium (via Wasser) den größten Aktivitätsbeitrag lieferte.

C.1.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Das konservativ angenommene Aktivitätsinventar in C-1 von ca. $1\text{E}+19$ Bq wird bis zum Ende der Abbauphase 1B zu mehr als 99 % durch die Aktivität in den Brennelementen bestimmt. Nach Abtransport aller Brennelemente ist der überwiegende Teil der dann noch vorhandenen Aktivität (Größenordnung: ca. $1\text{E}+17$ Bq) als Aktivierung in Materialien von RDB, RDB-Einbauten und biologischem Schild fest eingebunden und somit nicht unmittelbar freisetzbar.

Basierend auf Erfahrungen, die die Betreiberin aus Anlagen mit nahezu gleichem Aufbau und hinreichend gleicher Leistungshistorie gemacht hat, wurde davon ausgegangen, dass die aktivierten Reaktor- und Anlagenteile aus Stahl zum Zeitpunkt des Beginns des Restbetriebs (Bezugsdatum zwei Jahre nach Reaktorabschaltung) eine Gesamtaktivität an Co-60 von typischerweise ca. $1\text{E}+16$ Bq aufweisen. Der überwiegende Anteil der radioaktiven Kontamination, mit einer Größenordnung von ca. $1\text{E}+13$ Bq befindet sich in Rohrleitungen, Behältern, o. ä. und ist ebenfalls nicht unmittelbar freisetzbar. Die Kontamination auf äußeren Oberflächen von Komponenten und Gebäudestrukturen innerhalb des Kontrollbereichs bewegt sich in der Größenordnung von ca. $1\text{E}+12$ Bq.

Insgesamt wird mit einer Gesamtmasse von 331.500 Mg und 32.000 Mg im Kontrollbereich gerechnet. Hiervon ist der überwiegende Teil weder aktiviert noch kontaminiert.

Die Planungswerte sind:

- 23.500 Mg gemäß § 29 StrlSchV uneingeschränkt freigebbar
- 4.000 Mg gemäß § 29 StrlSchV zur Beseitigung bzw. Rezyklierung freigebbar
- 3.500 Mg endlagergerecht konditionierter radioaktiver Abfall, der ggf. zwischengelagert wird
- 500 Mg Reststoffe für die kontrollierte Verwertung

Wesentlicher Bestandteil der ersten Abbauphase ist die Zerlegung und Demontage der RDB-Einbauten. Diese bestehen aus dem oberen Kerngerüst (OKG), dem unteren Kerngerüst (UKG) und dem Kernschemel und haben eine Gesamtmasse von ca. 141 Mg.

Der RDB-Deckel hat eine Masse von ca. 100 Mg und die vier Dampferzeuger von jeweils ca. 365 Mg.

Geplant war der Abtransport von insgesamt 35 Castor-V/19-Behältern zum Ende der 2010er Jahre in das BE-Zwischenlager. Der Zeitplan wurde eingehalten, und die Anlage ist somit kernbrennstofffrei.

Die Inbetriebnahme sowie die Einlagerung der ersten Reststoffe in die seit 2018 im Bau befindliche Bereitstellungshalle erfolgte im Jahr 2021.

C.2 Anlage C-2

C.2.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitrahmen)

Die Anlage C-2 wurde in den 1970er Jahren gebaut und in den 1980er Jahren in Betrieb genommen. Nach über 30 Jahren wurde die Anlage endgültig abgeschaltet und außer Betrieb genommen. Die elektrische Nettoleistung lag über 1 GW. Mit einer Vorlaufzeit wurde der Antrag auf eine Stilllegung des gesamten Anlagengeländes eingereicht und nach insgesamt fünf Jahren Bearbeitungszeit genehmigt.

Die Stilllegung und der Abbau der Anlage C-2 wird in drei Teilvorhaben untergliedert. Im Rahmen des ersten Teilvorhabens werden bereits erste Systeme stillgelegt und demonstriert, sofern diese keinen Einfluss auf die Sicherheit der Anlage haben und deren Rück-

wirkungsfreiheit zweifelsfrei nachgewiesen ist. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich planmäßig noch Brennelemente im Reaktorblock. Die ersten Arbeiten werden planmäßig im Maschinenhaus durchgeführt und erst später auf das Reaktorgebäude ausgeweitet.

Planmäßig soll erst gegen Ende der 2020er Jahre mit den Arbeiten im RDB und dem biologischen Schild begonnen werden.

Insgesamt traten 127 Ereignisse in C-2 auf, davon sieben in der Zeit der Stilllegung. Drei Ereignisse in den 1990er und 2000er Jahren führten zu Kontaminationen und damit zu möglichen Rückbauerschwernissen innerhalb der Anlage.

Aufgrund einer Leckage von 150 Liter eines Gemisches aus verbrauchten Pulverharzen aus der Reaktorwasser-/Lagerbeckenreinigungsanlage und von 400 Liter Spülwasser mit Resten von Pulverharzsuspension, kam es zu Kontaminationen im Sperr- und Kontrollbereich innerhalb des Nuklearen Hilfsanlagegebäudes. Eine weitere Leckage von Spülwasser gemischt mit Schlamm aufgrund von Korrosion an einer Rohrleitung des Kühlmittelaufbereitungssystems führte zur Kontamination im Hilfsanlagegebäude.

C.2.2 Arbeits- und Personalaufwand

Zum gegenwertigen Zeitpunkt befinden sich viele der Arbeiten noch in der Detailplanung, weswegen nur sehr begrenzt Aussagen über Arbeits- und Personalaufwand gemacht werden können. Verglichen mit anderen Anlagen dieser Größe ist (noch) viel Eigenpersonal im Einsatz. Das Fremdpersonal schwankt mit den Stilllegungstätigkeiten und ist insgesamt unterdurchschnittlich besetzt.

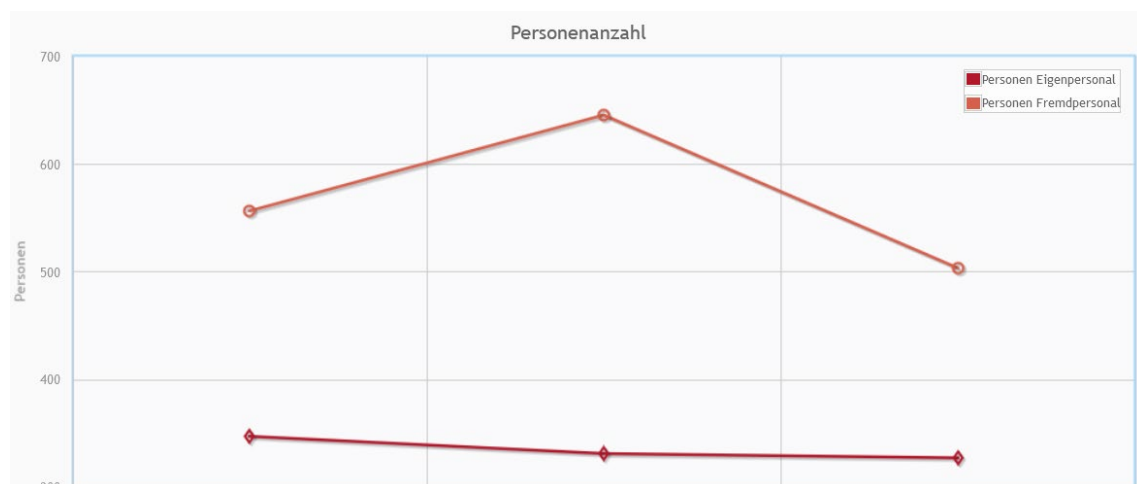


Abb. C.3 Personalentwicklung in C-2 in den ersten Stilllegungsjahren /WIK 23/

C.2.3 Kollektivdosis

Die laufenden Planungen der Arbeiten und Tätigkeiten zur Stilllegung der Anlage berücksichtigen stets das ALARA-Prinzip und versuchen die zu erwartenden Kollektivdosen so gering wie möglich zu halten. Als Beispiel hierfür eignet sich eine Abwägung zwischen einer fernhantierten und einer manuellen Demontagetätigkeit. Nach eingehender Analyse der Möglichkeiten und der damit verbundenen Exposition für die Arbeiter wurde sich für eine manuelle Demontage entschieden. Der Grund ist, dass für eine fernhantierte Demontage zunächst entsprechende Technik in den Bereichen installiert werden müsste. Diese Tätigkeiten wären jedoch nur von einer sehr kleinen Anzahl speziell geschulter und ausgebildeter Mitarbeiter umzusetzen. Hierdurch wäre die individuelle Exposition dieser Arbeiter deutlich höher als bei einer manuellen Umsetzung des Vorhabens, da dort die Arbeit von einer Vielzahl an Mitarbeitern erledigt werden kann.

Die bisherige Entwicklung der Jahreskollektivdosis ist in Abb. C.4 dargestellt. Im Vergleich zu vielen älteren Anlagen bewegen sich die Werte auf niedrigem Niveau. Weitergehende Aussagen sind zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht sinnvoll möglich.

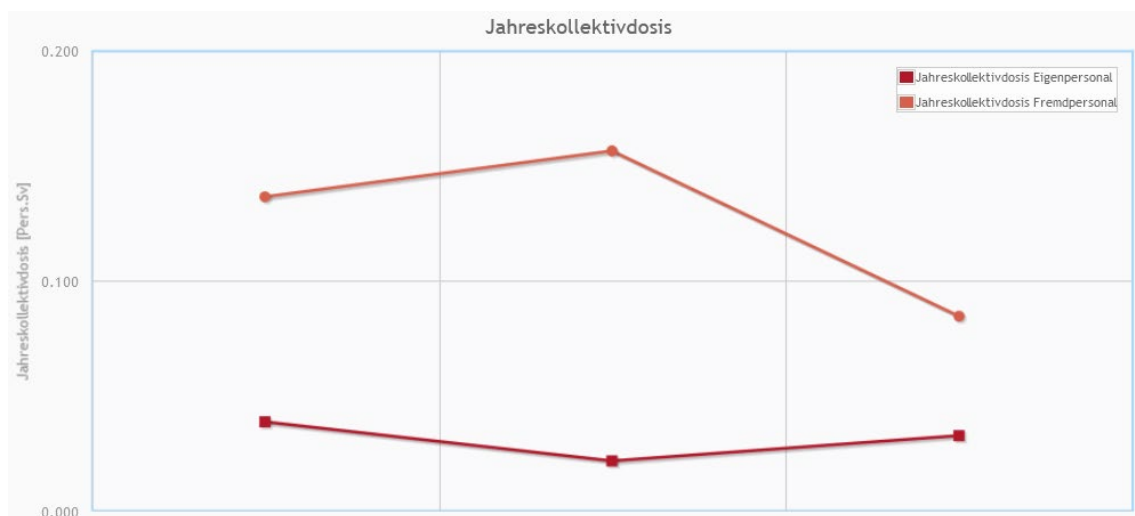


Abb. C.4 Entwicklung der Jahreskollektivdosis von C-2 in den ersten Stilllegungsjahren /WIK 23/

C.2.4 Ableitungen

In der 1. SAG wurden folgende Ableitungswerte für die Fortluft und Abwasser erteilt (siehe Tab. C.2). Die Ableitungen in den ersten drei Stilllegungsjahren sind in Abb. C.5

dargestellt. Die maximal zulässigen Werte wurden jederzeit weit unterschritten und die Daten sind unauffällig.

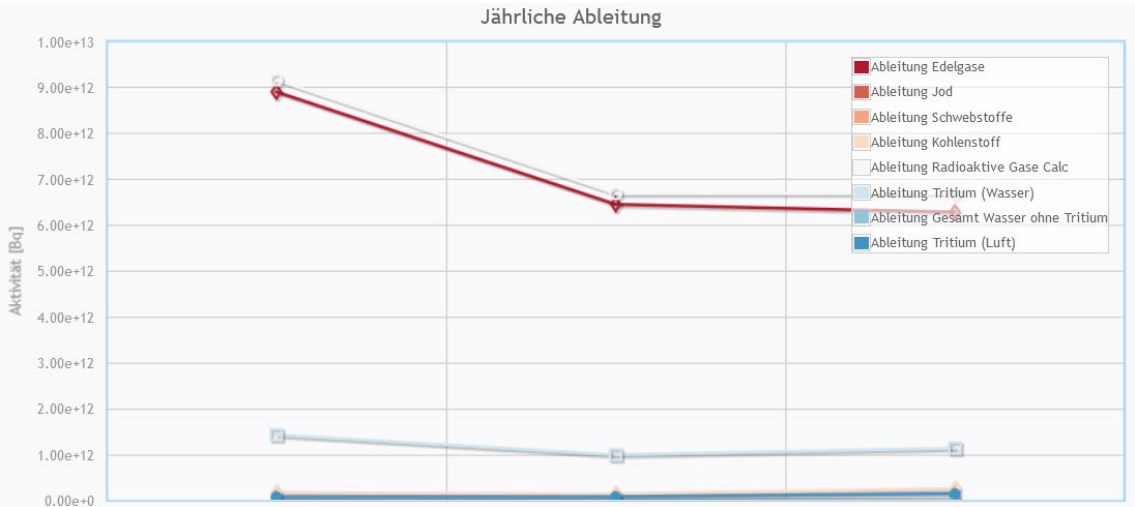


Abb. C.5 Ableitungen aus der Anlage C-2 während der Stilllegung /WIK 24/

Tab. C.2 Genehmigte Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser /WIK 23/

Mit BE auf der Anlage	Radioaktive Aerosole (ohne I-131, HWZ < 8d)	
	Innerhalb eines Kalenderjahres	3,7E10 Bq
	Radioaktive Gase	
	Innerhalb eines Kalenderjahres	1,85E15 Bq
Ohne BE auf der Anlage (zu beantragen in folgen- der AG)	Radioaktive Aerosole (ohne I-131, HWZ < 8d)	
	Innerhalb eines Kalenderjahres	1,0E10 Bq
	Radioaktive Gase	
	Innerhalb eines Kalenderjahres	0 Bq
Mit BE auf der Anlage	Ableitungen mit dem Abwasser pro Kalenderjahr (übernommen aus Betriebszeit)	
	Ohne Tritium	Aus Betrieb
	Tritium	Aus Betrieb
	Ableitungen mit dem Abwasser pro Kalenderjahr (Übernommen aus Betriebszeit)	
Ohne BE auf der Anlage	Ohne Tritium	5,0E10 Bq
	Tritium	1,5E13 Bq

C.2.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Die Planungen zur Stilllegung und Demontage der Anlage C-2 sehen eine Gesamt-De-
montagemasse von ca. 45.000 Mg (ohne Grundstrukturen der Gebäude) vor, inklusive

der zu erwartenden Sekundärabfälle. Von dieser Gesamtmasse werden etwa 13 % radioaktive Abfälle übrigbleiben, welche zur Lagerung verpackt und abtransportiert werden müssen. Unter Einbeziehung aller Massen im Kontrollbereich sind ca. 365.500 Mg abzubauen und der geplante Anteil radioaktiver Abfälle beträgt 1,6 % /WIK 2024/.

C.3 Anlage C-3

Anlage C-3 wurde in den 1970er Jahren gebaut und in den 1980er Jahren in Betrieb genommen. Nach über 30 Jahren wurde die Anlage endgültig abgeschaltet und außer Betrieb genommen. Die elektrische Leistung lag über 1 GW. Aufgrund des festgelegten Termins für die dauerhafte Außerbetriebnahme, konnte auch der erste Antrag auf Stilllegung und Abbau der Anlage rechtzeitig erfolgen. Hierdurch kam es nur zu einer kurzen Nachbetriebsphase.

C.3.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Die Planung sieht zwei separate Schritte mit je einer separaten Genehmigung für die Stilllegung und den Abbau der Anlage vor. Hierbei ist die Demontage folgender Komponenten geplant:

- Großkomponenten des Primärkreises bevorzugt im Ganzen oder in großen Teilen mit Hilfe des Reaktorgebäudekrans und/oder weiterer spezieller Lasthebeeinrichtungen aus der Einbauposition und aus dem Reaktorgebäude.
- Biologischer Schild, BE-Lagerbecken sowie Reaktor- und Abstellraum soweit erforderlich vollständig oder teilweise. Außerdem:
 - Frischdampf- und Speisewassersysteme
 - Neben- und Hilfssysteme des Primärkreislaufes
 - Not- und Nachkühlsysteme
 - Versorgungssysteme, z. B. Lüftung, E- und Leittechnik
 - Brandschutzsysteme

- Beckenkühlsysteme
 - Anlagenteile zum Umgang mit Brennelementen, z. B. Brennelement-Lademaschine

Insgesamt traten 300 Ereignisse in C-3 auf, davon acht in der Zeit der Stilllegung. Eine Leckage im Volumenregelsystem führte gegen Ende des Betriebszeitraums zur Kontamination im Reaktorhilfsanlagegebäude. Ein Sicherheitsventil wurde revisionsbedingt ausgebaut, aber kein Blindflansch gesetzt. Die Leckagemenge betrug ca. 25 m³.

C.3.2 Arbeits- und Personalaufwand

Das Maximum des Personalbedarfs lag sowohl für Eigen- als auch Fremdpersonal im ersten Jahr der Stilllegung (siehe Abb. C.6). Dies korreliert mit dem Aufwand und den Tätigkeiten zur Vorbereitung und Durchführung der Sprengung der Kühltürme und der Primärkreisdekontamination in diesem Jahr. In den beiden folgenden Jahren fiel die Personalzahl deutlich ab. Neben der Demontage kleinerer Anlagenteile lag das Hauptaugenmerk auf der Herrichtung von Pufferlagerflächen. Mit dem Abbau der RDB-Einbauten, der sehr wahrscheinlich zu einem Anstieg der Personalstunden führen wird, wurde bislang nicht begonnen.

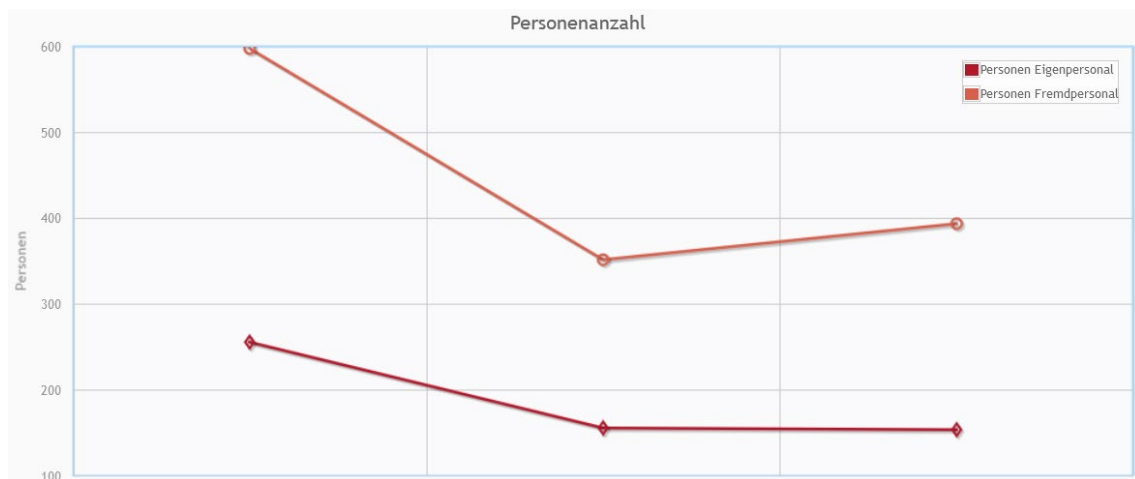


Abb. C.6 Entwicklung der Personenanzahl in C-3 während der Stilllegung /WIK 23/

C.3.3 Kollektivdosis

Nach der Entladung des RDB und der Primärkreisdekontamination (zusammen ca. 46 mSv Dosis) im ersten Jahr der Stilllegung fiel die Jahreskollektivdosis im darauffol-

genden Jahr. Ein Großteil der Jahreskollektivdosis des Fremdpersonals im dritten Jahr der Stilllegung entfielen auf die Abfertigung der Köcher mit Sonderbrennstäben (ca. 75 mSv). Insgesamt betrachtet liegen die Werte im üblichen Rahmen.

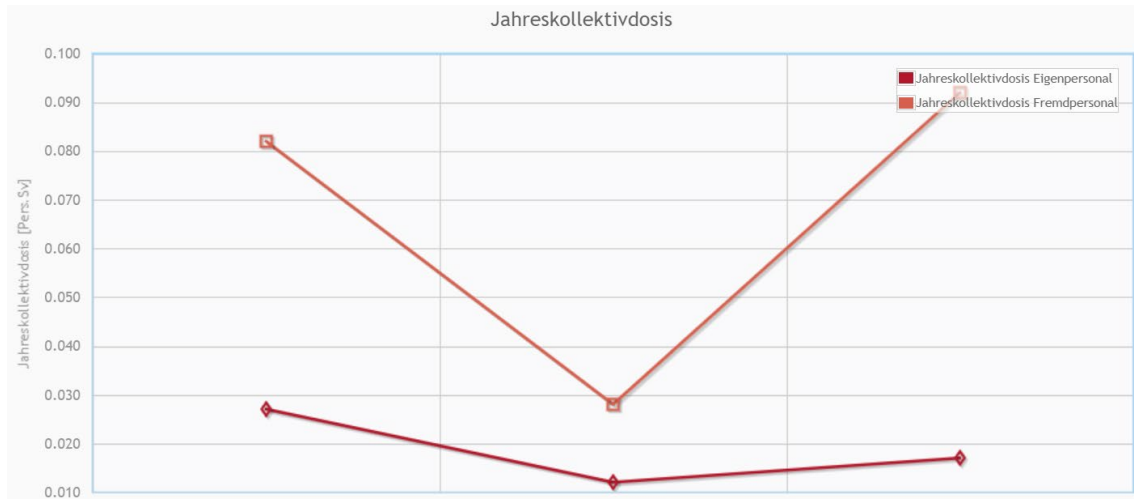


Abb. C.7 Jahreskollektivdosis des Eigen- und Fremdpersonals der Anlage C-3
/WIK 23/

C.3.4 Ableitungen

Für die Höchstwerte der zulässigen Ableitungen wurden folgende Werte in der 1. SAG beantragt. Die tatsächlichen Ableitungen der radioaktiven Aerosole und Gase lagen in den ersten drei Jahren der Stilllegung mindestens zwei Größenordnungen unter den genehmigten Werten. Der Genehmigungswert für die Ableitung mit dem Abwasser mit Tritium wurde mit bis zu 16,8 % ausgenutzt.

Tab. C.3 Genehmigte Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser der Anlage C-3

Radioaktive Aerosole (ohne I-131, HWZ < 8d)	
Innerhalb eines Kalenderjahres	1,0E10 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	1,0E8 Bq
Radioaktive Gase	
Innerhalb eines Kalenderjahres	2,0E13 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	2,0E11 Bq
Ableitungen mit dem Abwasser pro Kalenderjahr (übernommen aus Betriebszeit)	
Ohne Tritium	5,5E10 Bq
Tritium	4,8E13 Bq

C.3.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Die Gesamtmasse der Anlage C-3 beträgt 782.500 Mg. Die Masse im Kontrollbereich beläuft sich auf ca. 214.500 Mg, wovon Anlagenteile im Kontrollbereich ca. 12.300 Mg ausmachen. Von den Reststoffen aus dem Abbau des Kontrollbereichs wird der Großteil an stehender Struktur freigegeben. Von gut 15.000 Mg, die zunächst als radioaktive Reststoffe aus dem Abbau zu behandeln sind, resultieren inklusive Zusatzmasse und dem Sekundärabfall

- ca. 11.600 Mg, freigebbare Reststoffe,
- ca. 500 Mg, die dem kerntechnischen Stoffkreislauf zugeführt werden sollen und
- ca. 4.150 Mg, die als radioaktiver Abfall entsorgt werden sollen.

Damit beträgt der geplante Anteil an zu entsorgendem radioaktivem Abfall ca. 0,5 % der Gesamtmasse und ca. 2 % der Kontrollbereichsmasse.

C.4 Anlage C-4

C.4.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Die Anlage C-4 wurde in den 1970er Jahren gebaut und in den 1980ern in Betrieb genommen. Nach 37 Jahren wurde die Anlage endgültig abgeschaltet und außer Betrieb

genommen. Die elektrische Leistung lag über 1 GW. Mit einer Vorlaufzeit von zwei Jahren wurde der Antrag auf die Stilllegung des gesamten Anlagengeländes eingereicht und noch vor dem Ende des Leistungsbetriebs genehmigt.

Die Stilllegung und der Abbau der Anlage C-4 wird in drei Teilvorhaben untergliedert. Das erste Teilvorhaben dient zur Vorbereitung der Stilllegungstätigkeiten. Im zweiten Teilvorhaben werden erste Systeme stillgelegt und demontiert, sofern diese keinen Einfluss auf die Sicherheit der Anlage haben und deren Rückwirkungsfreiheit zweifelsfrei nachgewiesen ist. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich planmäßig noch Brennelemente im Reaktorblock. Die ersten Arbeiten werden planmäßig im Maschinenhaus durchgeführt und erst später auf das Reaktorgebäude ausgeweitet. Im dritten Teilvorhaben sollen sämtliche noch vorhandenen Systeme und Anlagenteile sukzessive unter Einhaltung der betrieblichen Festlegungen dauerhaft außer Betrieb genommen und abgebaut werden. Dazu gehören z. B.

- die BE-Becken mit Hilffsystemen,
- der RDB,
- der biologische Schild,
- blockgemeinsame Systeme (nukleare Wasseraufbereitung, Lüftung),
- Einrichtungen zur Stromversorgung sowie
- die Infrastruktur (Hebezeuge, Brandschutz- und Objektschutzeinrichtungen).

Nach Durchführung der „Insgesamt geplanten Maßnahmen“ (Teilvorhaben 1 bis 3) wird die Anlage aus der atomrechtlichen Überwachung entlassen.

Planmäßig soll erst gegen Ende der 2020er Jahre mit den Arbeiten am RDB und dem biologischen Schild begonnen werden.

C.4.2 Arbeits- und Personalaufwand

Der GRS liegen keine Informationen zum geplanten Arbeits- und Personalaufwand für die Stilllegung vor. Da aktuell nur ein Datenpunkt aus der Stilllegungsphase zum Personalaufwand vorliegt, wird auf ein Diagramm verzichtet. Das Eigenpersonal liegt in der Anzahl noch auf dem Niveau des Nachbetriebs. Der Fremdpersonaleinsatz liegt im Bereich von 400 Personen.

C.4.3 Kollektivdosis

Der GRS liegen keine Informationen zur Kollektivdosis in der Stilllegung vor.

C.4.4 Ableitungen

In der 1. SAG wurden folgende Ableitungswerte für die Fortluft und das Abwasser genehmigt (siehe Tab. C.4).

Tab. C.4 Genehmigte Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser /STAN 3839/

Mit BE auf der Anlage	Radioaktive Aerosole (ohne I-131, HWZ < 8d)	
	Innerhalb eines Kalenderjahres	3,7E10 Bq
	Radioaktive Gase	
	Innerhalb eines Kalenderjahres	1,85E15 Bq
	Iod-131 (bis 180 Tage nach Ende des Leistungsbetriebs aller Anlagen)	2,2E10 Bq
Ohne BE auf der Anlage (zu beantragen in folgender AG)	Radioaktive Aerosole (ohne I-131, HWZ < 8d)	
	Innerhalb eines Kalenderjahres	1,0E10 Bq
	Radioaktive Gase	
	Innerhalb eines Kalenderjahres	0 Bq
	Tritium	2,2E13 Bq
Mit BE auf der Anlage	Ableitungen mit dem Abwasser pro Kalenderjahr (übernommen aus Betriebszeit)	
	Ohne Tritium	Aus Betrieb
	Tritium	Aus Betrieb
Ohne BE auf der Anlage	Ableitungen mit dem Abwasser pro Kalenderjahr (übernommen aus Betriebszeit)	
	Ohne Tritium	5,0E10 Bq
	Tritium	1,5E13 Bq

C.4.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Die Planungen zur Stilllegung und Demontage der Anlage C-2 sehen eine Gesamt-Demontagemasse von ca. 45.000 Mg (ohne Grundstrukturen der Gebäude) vor, inklusive der zu erwartenden Sekundärabfälle. Von dieser Gesamtmasse werden etwa 13 % radioaktive Abfälle übrigbleiben, welche zur Lagerung verpackt und abtransportiert werden

müssen. Unter Einbeziehung aller Massen im Kontrollbereich sind ca. 365.500 Mg abzubauen, und der geplante Anteil radioaktiver Abfälle beträgt 1,6 % /WIK 24/.

C.5 Anlage C-5

C.5.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Die Anlage C-5 ging Mitte der 1980er Jahre in den Leistungsbetrieb und wurde nach fast 40 Jahren Betriebszeit endgültig abgeschaltet.

Aufgrund der steigenden Erfahrung aus diversen Stilllegungsprojekten sieht der Antrag auf Stilllegung von Anlage C-5 einen Beginn der Stilllegungstätigkeiten mit Brennelementen und Sonderbrennstäben auf der Anlage vor. Deren Abtransport hat eine hohe Priorität, dennoch ist aufgrund der sehr kurzen Nachbetriebsphase ein vollständiger Abtransport nicht zu erreichen.

Die Stilllegung und der Abbau der Anlage ist in zwei Phasen geplant, welche gesondert beantragt werden, sich jedoch zeitlich überlagern können.

Die erste Abbauphase ist hierbei in drei Zeitabschnitte unterteilt. Im ersten Abschnitt sind noch sowohl Brennelemente als auch Sonderbrennstäbe auf der Anlage vorhanden. Dieser Abschnitt endet so bald alle Brennelemente aus der Anlage entfernt wurden. Im zweiten Abschnitt sind dann nur noch Sonderbrennstäbe auf der Anlage, aber auch diese erfordern eine ausreichende Wasserüberdeckung im BE-Lagerbecken. Der dritte Abschnitt beginnt, sobald die Kernbrennstofffreiheit erreicht wurde.

Die 1. Abbauphase umfasst im Wesentlichen

- den Abbau, die Zerlegung und die Verpackung der RDB-Einbauten,
- die Zerlegung und die Verpackung des RDB-Deckels,
- den Abbau und die Verpackung der Dampferzeuger, des Druckhalters mit Abblasebehälter, der Hauptkühlmittelleitungen, der Hauptkühlmittelpumpen, des Rekuperativ-Wärmetauschers und der HD-Kühler,
- die Zerlegung und Verpackung von Rohrleitungen und Komponenten, wie z. B. Speisewasserleitungen, Frischdampfleitungen, Kühlwasserleitungen und Druckspeicher,

- den Abbau von weiteren radioaktiv kontaminierten/aktivierten Anlagenteilen im Kontrollbereich,
- den Abbau von Anlagenteilen außerhalb des Kontrollbereichs, die der atomrechtlichen Überwachung unterliegen,
- den Abbau von kontaminierten/aktivierten Betonstrukturen und deren Entsorgung sowie ggf. den Einbau statischer Ersatzmaßnahmen und
- die Dekontamination von kontaminierten Betonstrukturen.

Die 2. Abbauphase umfasst den Abbau des RDBs und des biologischen Schildes. Der Beginn der zweiten Phase ist an zwei Bedingungen geknüpft. Zum einen muss die Anlage kernbrennstofffrei sein und zum anderen muss die 2. Abbaugenehmigung erteilt worden und in Kraft getreten sein.

Insgesamt traten in C-5 283 Ereignisse auf. Mitte der 2000er und zu Beginn der 2010er Jahre kam es zu folgenden zwei Ereignissen, die zu Kontaminationen im Hilfsanlagengebäude von C-5 geführt haben:

- Aufgrund einer undichten Rückschlagklappe traten 1 m³ im Bereich der Konzentratbehälteramaturenkammer aus.
- Die Ursache der zweiten Kontamination war eine Verstopfung der Schlammableitung, die zum Rückstau und Druckaufbau und letztlich zu einer Leckage von 7,5 m³ über die Gehäuseabdichtung in den Raum für Separator/Dekanter führte.

C.5.2 Arbeits- und Personalaufwand

Der GRS liegen keine Informationen zum geplanten Arbeits- und Personalaufwand für die Stilllegung vor.

C.5.3 Kollektivdosis

Der GRS liegen keine Informationen zur erwarteten Kollektivdosis für die Stilllegung vor. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung befand sich die Anlage C-5 noch im Nachbetrieb.

C.5.4 Ableitungen

Mit der Genehmigung zur Stilllegung und zum Abbau wurden folgende maximal zulässige Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser festgeschrieben (siehe Tab. C.5).

Tab. C.5 Beantragte Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser

Radioaktive Aerosole (ohne Jod)	
Innerhalb eines Kalenderjahres	3,0E10 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	1,5E10 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	2,0E8 Bq
Radioaktive Gase	
Innerhalb eines Kalenderjahres	9,0E14 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	4,5E14 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	4,0E12 Bq
Ableitungen mit dem Abwasser pro Kalenderjahr	
Ohne Tritium	5,55E10 Bq
Tritium	4,80E13 Bq

Die Aktivitätsableitung mit dem Abwasser innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen darf maximal 50 % der jeweiligen Jahreshöchstwerte betragen.

C.5.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Aus den Maßnahmen im Rahmen des Abbaus der Gebäude und Einrichtungen des Kontrollbereichs von C-5 werden ca. 270.000 Mg an Material anfallen. Bei einem Großteil dieser Massen (ca. 250.500 Mg) handelt es sich um nicht-radioaktive Gebäudestrukturen, die durch Freigabe aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen und, soweit keine Wieder-/Weiterverwendung erfolgt, im Rahmen der Regelungen des konventionellen Baurechts abgebrochen werden. Von den beim Abbau im Kontrollbereich anfallenden Reststoffen, die nicht als „an der stehenden Struktur freigebbar“ zuzuordnen sind (ca. 19.500 Mg), können voraussichtlich

- 11.400 Mg gemäß § 35 StrlSchV uneingeschränkt freigegeben,
- 1.900 Mg gemäß § 36 StrlSchV zur Beseitigung freigegeben,
- 1.700 Mg gemäß § 36 StrlSchV zum Recycling freigegeben und

- 4.500 Mg als radioaktiver Abfall fachgerecht verpackt an den Bund zur Zwischen- oder Endlagerung abgegeben werden.

Zusammen mit den außerhalb des Kontrollbereichs befindlichen Gebäudestrukturen und Einrichtungen, die durch Herausgabe aus der atomrechtlichen Überwachung entlassen werden, können die Massenströme folgendermaßen aufgeschlüsselt werden. Mit 97,2 % hat die Frei- und Herausgabe von Gebäudestrukturen und Einrichtungen den größten Anteil am Massenstrom. Die restlichen 2,8 % (ca. 19.500 Mg) resultieren zu 1,6 % aus der uneingeschränkten Freigabe der Abfälle sowie zu 0,3 % aus der Freigabe zur Beseitigung auf Deponien oder durch Verbrennung und zu 0,2 % aus Abfällen, die zum Recycling eingeschmolzen werden. 0,7 % des gesamten Abfalls ist radioaktiver Abfall /WIK 23/.

C.6 Anlage C-6

Die Anlage befindet sich derzeit im Nachbetrieb. Die Betreiberin bereitet mit diversen Maßnahmen bis zum Erhalt der 1. SAG die Stilllegung vor. Hierzu zählen seither:

- Die Abgabe von 3,6 t Bor mit einer Aktivität von $1,12 \times 10^8$ Bq (1,3 % des Jahresabgabe-Grenzwertes) innerhalb der ersten sechs Monate der Nachbetriebsphase
- Die Primärkreisdekontamination (FSD) wurde mit drei Dekontaminationszyklen gegen Ende des ersten Nachbetriebsjahres abgeschlossen.

Derzeit befinden sich alle Brennelemente im BE-Lagerbecken und das Dichtschütz ist gesetzt /WIK 23/.

C.6.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Anlage C-6 nahm den Leistungsbetrieb in der Mitte der 1980er Jahre auf und absolvierte bis zum Erlöschen der Betriebsgenehmigung 33 Betriebszyklen.

Seitdem befindet sich die Anlage im Nachbetrieb und bereitet mit diversen Maßnahmen bis zum Erhalt der 1. SAG die Stilllegung vor.

Planung

Die Betreiberin plant den Abbau in zwei Phasen, die sich zeitlich überlappen. Zu Beginn der Stilllegung erfolgen erste Abbaumaßnahmen unter Anwesenheit der Brennelemente im Lagerbecken (ca. 750 bestrahlte Brennelemente und ca. 300 Sonderbrennstäbe). Die Abbauphase 1 umfasst dabei im Wesentlichen

- den Abbau, die Zerlegung und die Verpackung der RDB-Einbauten,
- die Zerlegung und die Verpackung des RDB-Deckels,
- den Abbau und die Verpackung der Dampferzeuger, des Druckhalters mit Abblasebehälter, der Hauptkühlmittelleitungen, der Hauptkühlmittelpumpen, des Rekuperativ-Wärmetauschers und der HD-Kühler,
- die Zerlegung und Verpackung von Rohrleitungen und Komponenten, wie z. B. Speisewasserleitungen, Frischdampfleitungen, Kühlwasserleitungen und Druckspeicher,
- den Abbau von weiteren radioaktiv kontaminierten/aktivierten Anlagenteilen im Kontrollbereich,
- den Abbau von Anlagenteilen außerhalb des Kontrollbereichs, die der atomrechtlichen Überwachung unterliegen,
- den Abbau von kontaminierten und aktivierten Betonstrukturen und deren Entsorgung sowie ggf. den Einbau statischer Ersatzmaßnahmen und
- die Dekontamination von kontaminierten Betonstrukturen und Gebäudeteilen.

Die Abbauphase 2 umfasst

- den Abbau des RDB,
- den Abbau des biologischen Schildes und
- den Nachweis zur Freigabefähigkeit der Gebäude und des Geländes.

Voraussetzung für den Beginn der Abbauphase 2 ist der Erhalt der 2. Abbaugenehmigung und die Abwesenheit von Brennelementen und Sonderbrennstäben in der Anlage. Ziel ist die Entlassung des Standortes aus der atomrechtlichen Überwachung.

Für anfallende Reststoffe und Abfälle wird ein Reststoffbehandlungszentrum in Raumbereichen des Reaktorgebäude-Ringraums, im Reaktorhilfsanlagengebäude und im Auf-

bereitungsgebäude errichtet. Weiterhin ist die Errichtung einer Transportbehälterbereitstellungshalle zur Lagerung radioaktiver Abfälle und Reststoffe und die Nutzung des SZL zur Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente und Sonderbrennstäbe geplant /STAN 3977/.

Rückbauerschwernisse

Insgesamt traten 322 Ereignisse in C-6 auf. Zum Ende des Betriebszeitraums kam es zum Einsatz falscher Plombierungsschrauben am Sekundärdeckel eines CASTOR-Behälters. Hierbei wurde das Gewinde beschädigt und die Dauer der Reparatur und dabei auftretende Probleme führten zum Abbruch der Abtransportkampagne.

C.6.2 Arbeits- und Personalaufwand

Im Monat der Abschaltung der Anlage C-6 befanden sich insgesamt 270 Personen in strahlenschutzrechtlicher Überwachung. Hiervon entfielen 128 auf das Eigenpersonal und 142 auf das Fremdpersonal. Ein halbes Jahr später befanden sich 292 Personen in strahlenschutzrechtlicher Überwachung. Hiervon entfielen 119 auf das Eigenpersonal und 173 auf Fremdpersonal. Circa zwei Jahre nach der Abschaltung befanden sich 354 Personen in strahlenschutzrechtlicher Überwachung. Hiervon entfielen 107 auf das Eigenpersonal und 247 auf Fremdpersonal. Hieran lässt sich bereits eine leichte Tendenz zu einer Verringerung des Eigenpersonals und dem erhöhten Einsatz von Fremdpersonal vermutet. Da der GRS keine Planungsdaten vorliegen und es sich hierbei nur um eine kurze stichprobenartige Periode handelt sind weitergehende Aussagen zum Arbeits- und Personalaufwand nicht möglich. Auf eine Abbildung wird verzichtet.

C.6.3 Kollektivdosis

Der GRS liegen keine Informationen zur erwarteten Kollektivdosis für die Stilllegung vor. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung befand sich die Anlage C-6 noch im Nachbetrieb.

C.6.4 Ableitungen

Mit dem Antrag auf Stilllegung und Abbau wurden folgende maximal zulässige Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft beantragt (siehe Tab. C.6).

Tab. C.6 Beantragte Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser der Anlage C-6

Radioaktive Aerosole (inkl. Tritium, HWZ > 8d)	
Innerhalb eines Kalenderjahres	1,0E10 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	5,0E09 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	1,0E08 Bq
Radioaktive Gase	
Innerhalb eines Kalenderjahres	1,0E15 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	5,0E14 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	1,0E13 Bq

C.6.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Aus den Maßnahmen im Rahmen des Abbaus der Gebäude und Einrichtungen des Kontrollbereichs von C-6 werden ca. 270.000 Mg an Material anfallen. Bei einem Großteil dieser Massen (ca. 250.500 Mg) handelt es sich um nicht-radioaktive Gebäudestrukturen, die durch Freigabe aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen und, soweit keine Wieder-/Weiterverwendung erfolgt, im Rahmen der Regelungen des konventionellen Baurechts abgebrochen werden. Von den beim Abbau im Kontrollbereich (außer Gebäudestrukturen) anfallenden Reststoffen (ca. 19.500 Mg) können voraussichtlich

- 11.400 Mg gemäß § 35 StrlSchV uneingeschränkt freigegeben,
- 1.900 Mg gemäß § 36 StrlSchV zur Beseitigung freigegeben,
- 1.700 Mg gemäß § 36 StrlSchV zum Recycling freigegeben und
- 4.500 Mg als radioaktiver Abfall fachgerecht verpackt an den Bund zur Zwischen- oder Endlagerung abgegeben werden.

Zusammen mit den außerhalb des Kontrollbereichs befindlichen Gebäudestrukturen und Einrichtungen, die durch Herausgabe aus der atomrechtlichen Überwachung entlassen werden, können die Massenströme folgendermaßen aufgeschlüsselt werden: Mit 97,0 % hat die Frei- und Herausgabe von Gebäudestrukturen und Einrichtungen den größten Anteil am Massenstrom. Die restlichen 3,0 % (ca. 19.500 Mg) resultieren zu 1,7 % aus der uneingeschränkten Freigabe radioaktiver Abfälle sowie zu 0,3 % aus der Freigabe zur Beseitigung auf Deponien und durch Verbrennung und zu 0,3 % aus Abfällen, die

zum Recycling eingeschmolzen werden. 0,7 % des gesamten Abfalls ist radioaktiver Abfall /WIK 23/.

C.7 Anlage C-7

Beim Kernkraftwerk C-7 handelt es sich um eine DWR-Anlage, die zum Ende der 1980er Jahre ihren Leistungsbetrieb aufnahm. Der Leistungsbetrieb wurde nach 35 Jahren eingestellt. Über zwei geplante Genehmigungsschritte und Abbauphasen, die sich zeitlich überlagern, soll der direkte Abbau der Anlage abgewickelt werden. In den Abbauphasen 1 und 2 werden aus den Kontrollbereichsgebäuden kontaminierte oder aktivierte Anlagenteile bzw. Materialien entfernt. Dabei erfolgt ein sukzessiver Rückzug aus den Gebäuden, d. h. einzelne oder mehrere Räume innerhalb des Kontrollbereichs werden nach dem Abschluss der Demontage von Anlagenteilen, dem Freiräumen und einer Überprüfung auf ggf. noch vorhandene Kontamination an den Baustrukturen und deren Beseitigung verlassen. Die Gebäude- und Raumbereiche des Kontrollbereichs werden der Freigabe zugeführt. Oberhalb des Freigabewerts kontaminierte Betonstrukturen werden dekontaminiert bzw. abgetragen. Nach erfolgter Freigabe können die Gebäudestrukturen nach dem geltenden konventionellen Baurecht abgerissen oder einer anderen Verwendung zugeführt werden /WIK 23/.

Die Abbauphase 2 beginnt erst, wenn sich keine Brennelemente oder Sonderbrennstäbe mehr in der Anlage befinden und eine entsprechende Genehmigung vorliegt. Der Abbau von C-7 bis zur Entlassung aus der atomrechtlichen Überwachung soll nach derzeitiger Planung ca. 14 Jahre in Anspruch nehmen. Eine 1. SAG steht derzeit noch aus.

C.7.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Stilllegungshistorie (Zeitraumen)

C-7 befindet sich derzeit im Nachbetrieb.

Eine Leistungserhöhung auf zuletzt fast 4 GWth erfolgte zehn Jahre nach der Inbetriebnahme. Seit dem Brennelementwechsel ein Jahr zuvor kommen auch sog. Mischoxid-Brennelemente zum Einsatz. Ein Jahr nach der letzten Leistungserhöhung wurde der Einsatz von Brennelementen mit einer Anreicherung von bis zu 4,6 % U-235 genehmigt. Da beides im Fall von BE-Defekten den Nuklidvektor verändert, kann dies Auswirkungen auf die spätere Stilllegung bei Charakterisierung und Dekontamination haben.

Insgesamt traten 110 Ereignisse in C-7 auf. Zum Ende der 2000er Jahre kam es aufgrund einer wanddurchdringenden Erosion an einer Rohrleitung der Konzentrataufbereitung zu einer Kontamination im Hilfsanlagegebäude. Es traten ca. 800 Liter Verdampferkonzentratgemisch und Harze aus.

C.7.2 Arbeits- und Personalaufwand

Der GRS liegen keine Informationen zum geplanten Arbeits- und Personalaufwand für die Stilllegung vor.

C.7.3 Kollektivdosis

Der GRS liegen keine Informationen zur erwarteten Kollektivdosis für die Stilllegung vor.

C.7.4 Ableitungen

Mit dem Antrag auf Stilllegung und Abbau wurden folgende maximal zulässige Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft beantragt (siehe Tab. C.7).

Tab. C.7 Beantragte Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser der Anlage C-7

Radioaktive Aerosole mit einer Halbwertszeit von über 8 Tagen ohne Jod-131	
Innerhalb eines Kalenderjahres	3,0E10 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	1,5E10 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	3,0E08 Bq
Radioaktive Gase	
Innerhalb eines Kalenderjahres	1,0E15 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	5,0E14 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	1,0E13 Bq
Ableitungen mit dem Abwasser pro Kalenderjahr ohne Tritium	
Innerhalb eines Kalenderjahres	5,5E10 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	2,75E10 Bq
Für Tritium	
Innerhalb eines Kalenderjahres	4,8E13 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	2,4E+13 Bq

C.7.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Aus den Maßnahmen im Rahmen des Abbaus der Gebäude und Einrichtungen des Kontrollbereichs von C-7 werden in den Abbauphasen 1 und 2 ca. 294.500 Mg an Material anfallen. Bei einem Großteil dieser Massen (ca. 275.000 Mg) handelt es sich um nicht-radioaktive Gebäudestrukturen, die durch Freigabe aus der Atomrechtlichen Überwachung entlassen und, soweit keine Wieder-/Weiterverwendung erfolgt, im Rahmen der Regelungen des konventionellen Baurechts abgebrochen werden.

Von den beim Abbau im Kontrollbereich in den Abbauphasen 1 und 2 anfallenden Reststoffen (außer Gebäude, ca. 19.500 Mg) können voraussichtlich

- 11.400 Mg uneingeschränkt freigegeben,
- 1.900 Mg zur Beseitigung freigegeben
- 1.700 Mg zum Recycling freigegeben und
- 4.500 Mg als radioaktiver Abfall an den Bund zur Zwischen- oder Endlagerung abgegeben werden /WIK 23/.

Insgesamt sind damit planmäßig ca. 1,5 % der Gesamtmasse von C-7 radioaktiver Abfall (ca. 23 % der Kontrollbereichsmasse).

C.8 Anlage C-8

Bei C-8 handelt es sich um eine DWR-Anlage, die ihren Betrieb zum Ende der 1980er Jahre mit einer Nettoleistung von über 1 GWe aufnahm. Die Stilllegung in Form des direkten Abbaus soll im Rahmen einer einzigen SAG erfolgen. Der Abbau soll bereits in einer Phase unter Anwesenheit der Brennelemente im Lagerbecken stattfinden.

C.8.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Insgesamt ereigneten sich in der Anlage C-8 185 Ereignisse. Es traten jedoch keine Ereignisse auf, die entscheidende Einflüsse auf das Abbaukonzept, das Entsorgungskonzept sowie den Restbetrieb haben könnten.

C.8.2 Arbeits- und Personalaufwand

Der GRS liegen keine Informationen zum geplanten Arbeits- und Personalaufwand für die Stilllegung vor. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung befand sich die Anlage C-9 noch im Nachbetrieb.

C.8.3 Kollektivdosis

Der GRS liegen keine Informationen zur erwarteten Kollektivdosis für die Stilllegung vor. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung befand sich die Anlage C-9 noch im Nachbetrieb.

C.8.4 Ableitungen

Mit dem Antrag auf Stilllegung und Abbau wurden folgende maximal zulässige Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft beantragt (siehe Tab. C.8).

Tab. C.8 Beantragte Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser der Anlage C-8

An Schwebstoffen gebundene radioaktive Stoffe mit einer Halbwertszeit von mehr als 8 Tagen	
Innerhalb eines Kalenderjahres	1,0E10 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	5,0E09 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	1,0E08 Bq
Radioaktive Gase (inklusive Tritium und C-14)	
Innerhalb eines Kalenderjahres	2,0E13 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	1,0E13 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	2,0E11 Bq
Ableitungen mit dem Abwasser pro Kalenderjahr ohne Tritium	
Innerhalb eines Kalenderjahres	3,7E10 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	1,85E10 Bq
Für Tritium	
Innerhalb eines Kalenderjahres	3,5E13 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	2,3E+13 Bq

C.8.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

C-8 hat eine Gesamtmasse im Kontrollbereich von etwa 320.000 Mg sowie eine reine Demontagemasse des Kontrollbereichs von c. 38.000 Mg. Der Anteil der Anlagenteile im Kontrollbereich macht 18.000 Mg aus. Der Großteil wird nach Herausgabe und Freigabe konventionell abgebrochen. Erwartet werden des Weiteren im Rahmen der Stilllegung aus den radioaktiven Reststoffen des Abbaus (innere Strukturen Kontrollbereich), den Zusatzmasse und dem Sekundärabfall

- ca. 33.700 Mg, freigebbare Reststoffe,
- ca. 500 Mg, die dem kerntechnischen Stoffkreislauf zugeführt werden sollen und
- ca. 4.250 Mg, die als radioaktiver Abfall entsorgt werden sollen /WIK 23/.

Damit wären ca. 1,3 % der Gesamtmasse von C-8 radioaktiver Abfall (11 % der Kontrollbereichsmasse).

C.9 Anlage C-9

Anlage C-9 nahm zum Ende der 1980er Jahre den Betrieb mit einer Leistung von mehr als 1300 MWe auf. Nach 34 Jahren wurde der Leistungsbetrieb in Anlage C-9 eingestellt. Bereits im Jahr der Abschaltung wurden mehrere Transport- und Lagerbehälter mit Brennelementen befüllt. Das Abbaukonzept sieht den direkten Abbau von Anlagenteilen ohne vorlaufenden sicheren Einschluss der Anlage, vor. Der angestrebte Endzustand ist im Antrag für die SAG offen formuliert. Für die geplanten Maßnahmen zur Stilllegung und den Abbau von Anlagenteilen von C-9 veranschlagt die Betreiberin 10 bis 15 Jahre /WIK 23/.

C.9.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Anlagenhistorie (Zeitraumen)

Insgesamt traten 138 Ereignisse in C-9 auf. Im Messumformerraum im Reaktorgebäude kam es fünf Jahre vor dem Ende des Leistungsbetriebs zum Austritt von 1,5 m³ kontaminiertem Medium. Das Medium trat über die Restentleerungsarmatur des Druckhalters aus /WIK 23/.

C.9.2 Arbeits- und Personalaufwand

Nach der Abschaltung der Anlage C-9 wurde das Eigenpersonal innerhalb eines halben Jahres um ca. 15 % reduziert. Zugleich wurde der Einsatz von Fremdpersonal leicht erhöht. Da der GRS keine Planungsdaten vorliegen und es sich hierbei nur um eine kurze stichprobenartige Periode handelt, sind weitergehende Aussagen zum Arbeits- und Personalaufwand noch nicht möglich.

C.9.3 Kollektivdosis

Für den gesamten Zeitraum der Stilllegung wird eine Kollektivdosis für das beschäftigte Personal von ca. 3 Pers.Sv abgeschätzt /WIK 23/.

C.9.4 Ableitungen

Gemäß SAG von C-9 sind die folgenden maximalen Ableitungen zulässig (siehe Tab. C.9). Da die Anlage nach Stand des Berichts noch nicht in Stilllegung ist, entfallen Angaben zu tatsächlichen Ableitungen.

Tab. C.9 Genehmigte Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser

Radioaktive Aerosole mit einer Halbwertszeit von über 8 Tagen	
Innerhalb eines Kalenderjahres	1,0E10 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	0,5E10 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	1,0E08 Bq
Radioaktive Gase	
Innerhalb eines Kalenderjahres	2,0E13 Bq
Innerhalb von 180 aufeinander folgenden Tagen	1,0E13 Bq
Innerhalb eines Kalendertages	2,0E11 Bq
Ableitungen mit dem Abwasser pro Kalenderjahr	
Sonstige radioaktive Stoffe	5,0E09 Bq
Tritium	5,15E13 Bq (bis 180 d nach FSD); 5,0E12 Bq (danach)

C.9.5 Reststoff- und Abfallaufkommen

Aus dem Abbau von C-9 wird eine Rückbaumasse von 275.900 Mg erwartet. Der überwiegende Teil davon wird heraus- bzw. freigegeben werden können. Ferner werden fol-

gende Massen (außer Gebäude, den Zusatzmasse und dem Sekundärabfall) im Rahmen der Stilllegung erwartet:

- ca. 20.250 Mg, freigebbare Reststoffe
- ca. 600 Mg, die dem kerntechnischen Stoffkreislauf zugeführt werden sollen, und
- ca. 4.400 Mg, die als radioaktiver Abfall entsorgt werden sollen /WIK 23/.

Insgesamt werden damit ca. 1,6 % der Gesamtmasse als radioaktiver Abfall zu entsorgen sein.

**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

ISBN 978-3-910548-44-2