

**Erforschung der  
technischen Maßnahmen  
zur Stilllegung von  
Leistungsreaktoren mit  
Brennelementen  
und Defektstäben  
in der Anlage**

## **Erforschung der technischen Maßnahmen zur Stilllegung von Leistungsreaktoren mit Brennelementen und Defektstäben in der Anlage**

**Thomas Braunroth  
Matthias Dewald  
Przemyslaw Imielski  
Sebastian Schneider**

Juni 2020

### **Anmerkung:**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) unter dem Kennzeichen 4717R01366 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Auftragnehmer.

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

**Deskriptoren**

Brennelemente, Brennelementlagerbecken, Defektstäben, Leistungsreaktoren, Stilllegung

## **Kurzfassung**

Das durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) geförderte Forschungsprojekt 4717R01366 wurde von der Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH bearbeitet und hatte als Ziel die Erforschung der praktischen Möglichkeiten, aber auch der Grenzen zur Durchführung von Stilllegungs- und Abbaumaßnahmen von Kernkraftwerken mit Brennelementen und/oder Defektstäben in der Anlage.

Der Bericht gibt zunächst einen Überblick über die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Stilllegung von Leistungsreaktoren mit Brennelementen und Sonderbrenn- / Defektstäben in der Anlage sowie über die aktuelle Situation der Stilllegungsprojekte in Deutschland.

In einem weiteren Schritt wurden die praktischen Möglichkeiten, aber auch die Grenzen zur Durchführung technischer Maßnahmen zur Stilllegung von Kernkraftwerken mit Brennelementen und/oder Defektstäben untersucht und dargestellt. Hierzu wurden zunächst die geplanten und ergriffenen Maßnahmen laufender Stilllegungsprojekte in Deutschland betrachtet. Anschließend wurden die bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit durchgeführten Maßnahmen in den Anlagen, die die erste Stilllegungs- und Abbaugenehmigung (1. SAG) erhalten haben oder sich derzeit noch im Genehmigungsverfahren befinden, untersucht. Diese Analyse erfolgte auch in Hinblick auf zukünftige Stilllegungsverfahren, für die eine Genehmigungserteilung unmittelbar nach endgültiger Abschaltung von Seiten des Betreibers angestrebt wird. Die Analyse der laufenden Stilllegungsprojekte bzw. Stilllegungsverfahren hat gezeigt, dass einige Betreiber einzelne Abbaumaßnahmen durchgeführt haben, als sich noch bestrahlte Brennelemente in der Anlage befanden. Dazu gehören u.a. die Kernkraftwerke Rheinsberg (KKR), Isar 1 (KKI 1) und Neckarwestheim I (GKN I). Die Abbauarbeiten beschränkten sich in diesem Anlagenzustand auf Systeme, Komponenten und Bereiche, die in keinem sicherheitstechnischen Zusammenhang mit den Brennelementen standen und wurden unter Einhaltung der Rückwirkungsfreiheit auf die für die Lagerung und Handhabung der Brennelemente, entscheidenden Schutzziele, Unterkritikalität und Abfuhr der Nachzerfallswärme durchgeführt.



## Inhaltsverzeichnis

	<b>Kurzfassung .....</b>	<b>I</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung, Aufgabenstellung und Zielsetzung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Beschreibung der aktuellen Stilllegungssituation in Deutschland und der geltenden Rahmenbedingungen .....</b>	<b>5</b>
2.1	Aktuelle Situation in Deutschland.....	5
2.2	Regulatorische Rahmenbedingungen für die Stilllegung von Leistungsreaktoren mit Brennelementen und Defektstäben in der Anlage .....	9
2.3	Betriebshandbücher .....	15
<b>3</b>	<b>Struktur des durchgeführten Projektes .....</b>	<b>17</b>
3.1	AP1: Analyse der Möglichkeiten und Grenzen technischer Maßnahmen zu Stilllegung und Abbau von Kernkraftwerken mit Brennelementen und/oder Defektstäben .....	17
3.2	AP2: Erfahrungsaustausch mit Projekten und Institutionen .....	19
3.3	AP3: Aufbereitung der Ergebnisse für einen Erfahrungsaustausch national und international .....	19
<b>4</b>	<b>Auswertung der derzeit laufenden und geplanten Stilllegungsprojekte von Kernkraftwerken .....</b>	<b>21</b>
4.1	Stilllegung- und Abbau ausgewählter Kernkraftwerke mit Aufnahme des Restbetriebes vor Inkrafttreten des Dreizehnten Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes am 6. August 2011 .....	22
4.1.1	Kernkraftwerk Greifswald .....	22
4.1.2	Kernkraftwerk Rheinsberg.....	26
4.1.3	Kernkraftwerk Obrigheim .....	29
4.1.4	Kernkraftwerk Stade.....	31
4.2	Stilllegung und Abbau von Kernkraftwerken deren Leistungsbetrieb zwischen dem 6. August 2011 und dem 30. Juni 2015 eingestellt wurde .....	32

4.2.1	Kernkraftwerke Biblis-A und Biblis-B.....	32
4.2.2	Kernkraftwerk Brunsbüttel.....	35
4.2.3	Kernkraftwerk Grafenrheinfeld .....	36
4.2.4	Kernkraftwerk Isar 1 .....	38
4.2.5	Kernkraftwerk Krümmel.....	41
4.2.6	Kernkraftwerk Neckarwestheim 1 .....	43
4.2.7	Kernkraftwerk Philippsburg 1 .....	46
4.2.8	Kernkraftwerk Unterweser.....	49
4.3	Stilllegung und Abbau von Kernkraftwerken mit Einstellung des Leistungsbetriebs nach dem 30. Juni 2015.....	54
4.3.1	Kernkraftwerk Brokdorf .....	54
4.3.2	Kernkraftwerk Emsland .....	56
4.3.3	Kernkraftwerk Grohnde .....	57
4.3.4	Kernkraftwerk Gundremmingen .....	57
4.3.5	Kernkraftwerk Isar 2 .....	60
4.3.6	Kernkraftwerk Neckarwestheim 2 .....	61
4.3.7	Kernkraftwerk Philippsburg 2 .....	62
<b>5</b>	<b>Stellungnahme der Reaktor-Sicherheitskommission zu den Anforderungen bei einer passiven Kühlung der Brennelemente im Lagerbecken .....</b>	<b>65</b>
5.1	Regulatorische Anforderungen .....	67
5.2	Schutzziele, Ereignisse und Nachweise.....	68
5.3	Spezifische Anforderungen für das Schutzziel „Kühlung der Brennelemente“.....	70
5.4	Robustheitsbetrachtungen .....	71
5.5	Anforderungen an andere Systeme .....	71
<b>6</b>	<b>Stilllegung des Kernkraftwerkes Mühleberg .....</b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>Analyse .....</b>	<b>77</b>
7.1	Zusammenfassung der Anlagenbetrachtung .....	77
7.2	Einhaltung der Schutzziele.....	82

7.3	Rückwirkungsfreiheit der Abbaumaßnahmen auf die Schutzziele .....	85
7.4	Auswirkungen der fehlenden Kernbrennstofffreiheit auf die Stilllegung und den Abbau der zukünftigen Stilllegungsprojekte .....	86
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>89</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>93</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>109</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>111</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>112</b>





# 1 Einleitung, Aufgabenstellung und Zielsetzung

Seit Beginn der friedlichen Nutzung der Kernenergie haben viele kerntechnische Anlagen das Ende ihrer technischen oder genehmigten Betriebszeit erreicht. Weltweit wurden bis zum Jahr 2020 etwa 180 Kernkraftwerke endgültig abgeschaltet /IAE 20/. Sie müssen unter Berücksichtigung der Gewährleistung der Sicherheit und des Strahlenschutzes des Personals sowie der Bevölkerung und der Umwelt stillgelegt werden.

In Deutschland wurden bisher 30 Leistungs- bzw. Prototypreaktoren abgeschaltet oder befinden sich in verschiedenen Stadien der Stilllegung oder sind bereits vollständig abgebaut und aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen /BAS 20/. In den nächsten Jahren werden Genehmigungsverfahren zu neuen Stilllegungsprojekten für Leistungsreaktoren weitergeführt und es ist zu erwarten, dass weitere Genehmigungsverfahren zu laufenden Stilllegungs- und Abbauverfahren folgen werden.

Als Folge der Ereignisse im japanischen Kernkraftwerk in Fukushima Daiichi im Jahr 2011 haben durch die Novellierung des Atomgesetzes (AtG) im August 2011 acht Kernkraftwerke ihre Berechtigung zum Leistungsbetrieb verloren. Am 27. Juni 2015 wurde auch das Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG) endgültig abgeschaltet. Im Jahr 2017 haben mit fünf Leistungsreaktoren Neckarwestheim 1 (GKN I), Philippsburg 1 (KKP 1), Isar 1 (KKI 1), Biblis-A (KWB-A) und Biblis-B (KWB-B) und im Jahr 2018 drei Leistungsreaktoren Grafenrheinfeld (KKG), Brunsbüttel (KKB) und Unterweser (KKU) eine Stilllegungsgenehmigung erhalten. Zwei weitere Stilllegungsgenehmigungen wurden für Philippsburg 2 (KKP 2) und Gundremmingen B (KRB II B) im Jahr 2019 erteilt.

Die bisherigen internationalen und nationalen Erfahrungen belegen, dass alle bekannten Anlagentypen in überschaubaren Zeiträumen sicher abgebaut und die abgebauten Anlagenteile wiederverwendet bzw. konventionell oder als radioaktive Abfälle entsorgt werden können. Der Schutz von Personal, Bevölkerung und Umwelt kann dabei nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gewährleistet werden. Es wird jedoch erwartet, dass durch die Auswertung der aktuellen Praxis und insbesondere durch den entsprechenden Erfahrungsaustausch und Erfahrungsrückflüsse eine weitere Optimierung in diesem Bereich möglich ist.

Einzelne, derzeit laufende Stilllegungsverfahren in Deutschland sind zu einem Zeitpunkt begonnen worden, zu dem sich noch Brennelemente und/oder Defektstäbe im Kernkraftwerk befanden (Greifswald (KGR), KKR, Obrigheim (KWO)). Aus diesen Verfahren liegen daher Erfahrungen zum Abbau vor erreichter Kernbrennstofffreiheit vor. Unter Kernbrennstofffreiheit einer Anlage wird in dem vorliegenden Bericht die Brennelement- und Brennstabfreiheit<sup>1</sup> verstanden, sodass die Schutzziele Kontrolle der Reaktivität und Kühlung der Brennelemente nicht mehr zu besorgen sind.

Für Kernkraftwerke, welche ab Ende 2015 die Berechtigung zum Leistungsbetrieb zu den gesetzlich festgelegten Stichtagen sukzessive verloren haben und verlieren, zeichnet sich ab, dass die Betreiber die Erteilung einer vollziehbaren Stilllegungsgenehmigung schon vor endgültiger Abschaltung bzw. unmittelbar nach endgültiger Abschaltung anstreben.

Einige der ab 2017 erteilten Stilllegungs- und Abbaugenehmigungen sowie die Anträge der laufenden Genehmigungsverfahren zur Erteilung einer Stilllegungs- und Abbaugenehmigung sehen die Möglichkeit vor, dass das Kernkraftwerk mit Erteilung einer vollziehbaren Stilllegungsgenehmigung nicht kernbrennstofffrei ist. Nicht kernbrennstofffrei bedeutet, dass die Entladung der Brennelemente zur trockenen Zwischenlagerung noch nicht abgeschlossen ist bzw. sich noch einzelne Defektstäbe im Brennelementlagerbecken befinden. Dies hat zur Folge, dass die Einhaltung der Schutzziele:

- Kontrolle der Reaktivität
- Kühlung der Brennelemente

auch während der Stilllegung und des Abbaus besonders in der ersten Phase der Stilllegung noch sichergestellt sein muss, bis die Kernbrennstofffreiheit erreicht ist.

Sobald der Reaktordruckbehälter (RDB) komplett entladen ist, genügen die Kühlsysteme des Brennelement-Lagerbeckens und zugehörige Hilfssysteme zur Kühlung der Brennelemente. Andernfalls müssen die Nachkühlsysteme und zugehörigen Hilfssysteme zumindest in den notwendigen Teilen weiter betrieben werden.

---

<sup>1</sup> Spezialfälle, in denen kleine Mengen (z. B. einzelne Brennstoffpellets im Lagerbecken oder kleine Mengen aufgrund von Hüllrohrschäden) in der Anlage vorhanden sind, werden hier nicht betrachtet. Verschiedene Definitionen des Begriffes „Kernbrennstofffreiheit“ können sich in Details unterscheiden.

Dies stellt hohe sicherheitstechnische Anforderungen an die bereits in diesem Zeitraum geplanten Abbaumaßnahmen. Die Rückwirkungsfreiheit auf die genannten Schutzziele muss gegeben sein und die zu deren Einhaltung notwendigen Systeme dürfen in ihrer Funktion und Verfügbarkeit nicht beeinträchtigt werden.

Auf nationaler Ebene haben beispielsweise die Aktivitäten zur Aktualisierung des Leitfadens zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 des AtG /BMU 16/ und der Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen der Entsorgungskommission (ESK) /ESK 15/ diesem Ansatz Rechnung getragen.

Das Forschungsprojekt beschäftigt sich sowohl mit der Analyse praktischer Möglichkeiten als auch mit der Durchführung von Stilllegungs- und Abbaumaßnahmen von Kernkraftwerken mit Brennelementen. Dabei werden folgende Einzelaspekte verfolgt:

- AP 1: Analyse der Möglichkeiten und Grenzen technischer Maßnahmen zu Stilllegung und Abbau von Kernkraftwerken mit Brennelementen und/oder Defektstäben
- AP 2: Erfahrungsaustausch mit Projekten und Institutionen sowie
- AP 3: Aufbereitung der Ergebnisse für einen Erfahrungsaustausch national und international



## **2 Beschreibung der aktuellen Stilllegungssituation in Deutschland und der geltenden Rahmenbedingungen**

### **2.1 Aktuelle Situation in Deutschland**

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Stilllegung kerntechnischer Anlagen in Deutschland ergeben sich aus dem AtG /ATG 19/ sowie den zugehörigen Rechtsverordnungen und allgemeinen Verwaltungsvorschriften. Das AtG enthält in § 7 Abs. 3 die grundsätzliche Vorschrift für die Genehmigung der Stilllegung. Nach § 7 Abs. 3 Satz 1 AtG bedürfen die Stilllegung einer Anlage nach § 7 Abs. 1 Satz 1 AtG sowie der sichere Einschluss der endgültigen Anlage oder der Abbau der Anlage oder von Anlagenteilen der Genehmigung. Auf Grundlage der Änderungen des AtG infolge des Gesetzes zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung sind die Anlagen nach § 7 Abs. 1 Satz 1 mit Inkrafttreten der Neuregelung am 16. Juni 2017 gemäß § 7 Abs. 1 Satz 3 AtG unverzüglich stillzulegen und abzubauen. Der sichere Einschluss ist daher für die betroffenen Einrichtungen keine Stilllegungsoption mehr. In § 7 Abs. 3 Satz 5 AtG findet sich eine Ausnahmeregelung von dieser Pflicht. Demnach kann die zuständige Behörde im Einzelfall für Anlagenteile vorübergehende Ausnahmen zulassen, sofern materiale Gründe des Strahlenschutzes gegen die sofortige Stilllegung oder den Abbau angeführt werden können. Der zeitliche Bezugsrahmen für die vorübergehende Zurückstellung wird nicht weiter angegeben. Formell ist für die Erlangung einer Ausnahmegenehmigung nach § 7 Abs. 3 Satz 5 AtG ein Antrag des Anlagenbetreibers notwendig.

Neben dem AtG sind für den Abbau ferner das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) /SSG 19/ und die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) /SSV 20/ maßgeblich, da sie die technischen und betrieblichen Maßnahmen, Verfahren und Vorkehrungen zum Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung wesentlich bestimmen.

Zur weiteren Konkretisierung des AtG wurden weitere Verordnungen erlassen. Das Genehmigungsverfahren für die Stilllegung kerntechnischer Anlagen richtet sich nach der Atomrechtlichen Verfahrensverordnung (AtVfV) /ATV 18/. Sie enthält stilllegungsrelevante Regelungen insbesondere für die Beteiligung Dritter und für die Umweltverträglichkeitsprüfung.

Neben Gesetzen, Verordnungen und Allgemeinen Verwaltungsvorschriften existiert eine Vielzahl von kerntechnischen Regelungen und Richtlinien in erster Linie von technischer Natur. Diese erhalten ihre regulatorische Bedeutung, indem in atomrechtlichen Genehmigungen auf sie Bezug genommen wird. Ihnen kommt die Aufgabe zu, den Stand von Wissenschaft und Technik zu beschreiben.

Als Konsens zwischen dem Bund und den Aufsichtsbehörden der Bundesländer über eine möglichst effektive und harmonisierte Vorgehensweise in Stilllegungsverfahren hat das BMU am 23. Juni 2016 eine Neufassung des „Leitfaden zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 des Atomgesetzes“ (kurz: Stilllegungsleitfaden) /BMU 16/ zur Berücksichtigung in atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren veröffentlicht.

Als technisch orientierte Ergänzung zum Stilllegungsleitfaden hat die ESK am 16. März 2015 die „Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen“ /ESK 15/ verabschiedet. In diesen Leitlinien sind technische Anforderungen und Abläufe zusammengefasst, die aus Sicht der ESK zur Gewährleistung der Sicherheit bei der Stilllegung einer kerntechnischen Anlage durch deren Betreiber berücksichtigt werden sollten. Die Anforderungen beziehen sich vor allem auf die Vorbereitung und Durchführung der Stilllegung.

Die Nutzung der Kernenergie zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität wird in Deutschland spätestens zum 31. Dezember 2022 beendet. Die erteilten Berechtigungen zum Leistungsbetrieb einer noch im Betrieb befindlichen Anlage zur Stromerzeugung erlischt gemäß § 7 Abs. 1a AtG /ATG 19/ mit Erreichen bestimmter erreichter Elektrizitätsmengen (Anlage 3 Spalte 2) bzw. spätestens zu einem in § 7 Abs. 1a AtG angegeben und kraftwerksspezifischem Termin. Mit Inkrafttreten des 13. Gesetzes zur Änderung des AtG am 6. August 2011 infolge der Ereignisse im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Daiichi war die weitere Berechtigung zum Leistungsbetrieb für die acht Kernkraftwerke KWB-A und KWB-B, GKN-I, KKB, KKI 1, KKV, KKP 1 und Krümmel kurzfristig erloschen. Die folgende Tab. 2.1 listet die Abschaltzeiten dieser und weiterer Anlagen auf.

**Tab. 2.1** Auflistung der Kernkraftwerke, die die Berechtigung zum Leistungsbetrieb gemäß dem Dreizehnten Gesetz zur Änderung des AtG verloren haben bzw. verlieren werden

Anlage	Kurzbezeichnung	Beginn des kommerziellen Leistungsbaus	Außerbetriebnahme	Erste Stilllegungsgenehmigung
Biblis-A	KWB-A	26.02.1975	06.08.2011	30.03.2017
Biblis-B	KWB-B	31.01.1977	06.08.2011	30.03.2017
Neckarwestheim I	GKN I	01.12.1976	06.08.2011	03.02.2017
Brunsbüttel	KKB	09.02.1977	06.08.2011	21.12.2018
Isar 1	KKI 1	21.03.1979	06.08.2011	17.01.2017
Unterweser	KKU	06.09.1979	06.08.2011	05.02.2018
Philippsburg 1	KKP 1	26.03.1980	06.08.2011	07.04.2017
Grafenrheinfeld	KKG	17.06.1982	27.06.2015	11.04.2018
Krümmel	KKK	28.03.1984	06.08.2011	-
Gundremmingen B	KRB II-B	19.07.1984	31.12.2017	19.03.2019
Philippsburg 2	KKP 2	18.04.1985	31.12.2019	17.12.2019
Grohnde	KWG	01.02.1985	31.12.2021	-
Gundremmingen C	KRB II-C	18.01.1985	31.12.2021	-
Brokdorf	KBR	22.12.1986	31.12.2021	-
Isar 2	KKI 2	09.04.1988	31.12.2022	-
Emsland	KKE	20.06.1988	31.12.2022	-
Neckarwestheim II	GKN II	15.04.1989	31.12.2022	-

Die geografische Lage der deutschen Kernkraftwerke, die sich im Betrieb, im Nachbetrieb und in der Stilllegung befinden, ist in Abb. 2.1 dargestellt.





**Abb. 2.1** Leistungsreaktoren in Deutschland, die sich im Betrieb, im Nachbetrieb und in der Stilllegung befinden /BMU 20/

Im Rahmen der Stilllegung zeigt sich, dass jedes Stilllegungsprojekt individuell verläuft. Projektablauf, Finanzierung, Wahl der Projektstrategie und weitere Aspekte hängen stark von den jeweiligen Randbedingungen wie Anlagentyp, Betreiber der Anlage oder dem jeweiligen Bundesland. Die Leistungsreaktoren sind mehrheitlich im Besitz von Energieversorgungsunternehmen.

Zwischen der endgültigen Abschaltung und dem Beginn der eigentlichen Stilllegung liegt die sogenannte Nachbetriebsphase, die mehrere Jahre dauern kann. In diesem Zeitraum können die Brennelemente aus dem Reaktor entladen oder die Betriebsmedien und -abfälle entsorgt werden, sofern dies im Rahmen der Betriebsgenehmigung des Kernkraftwerkes abgedeckt ist. Vor Beginn der Abbauarbeiten befindet sich die Anlage noch weitgehend im gleichen technischen Zustand wie während des Betriebs.

Für Kernkraftwerke, welche ab Ende 2015 die Berechtigung zum Leistungsbetrieb zu den gesetzlich festgelegten Stichtagen sukzessive verloren haben und verlieren, zeichnet sich ab, dass die Betreiber die Erteilung einer vollziehbaren Stilllegungsgenehmigung unmittelbar nach endgültiger Abschaltung anstreben.

Bereits die Anträge der laufenden Stilllegungsverfahren sehen die Möglichkeit vor, dass zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der Stilllegungsgenehmigung keine Kernbrennstofffreiheit vorliegen bzw. vorliegen könnte. Nicht kernbrennstofffrei bedeutet, dass Verladen und der Abtransport der Brennelemente zur trockenen Zwischenlagerung noch nicht abgeschlossen ist bzw. sich noch einzelne Defektstäbe im Brennelement-Lagerbecken befinden.

Stand November 2020 wurden insgesamt 30 Kernkraftwerke und Prototypreaktoren in Deutschland bisher endgültig abgeschaltet. Davon ist der Abbau von drei Kernkraftwerken beendet, so dass sie aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen werden konnten. Ferner befinden sich unter den endgültig abgeschalteten Kernkraftwerken acht Kernkraftwerke, für welche die Berechtigung zum Leistungsbetrieb am 6. August 2011 als Konsequenz aus dem Reaktorunfall in Fukushima per Gesetz erloschen ist. Von den endgültig abgeschalteten Kernkraftwerken sind 26 im Besitz einer gültigen Stilllegungsgenehmigung und nehmen diese in Anspruch.

## **2.2 Regulatorische Rahmenbedingungen für die Stilllegung von Leistungsreaktoren mit Brennelementen und Defektstäben in der Anlage**

Für die Stilllegung, den sicheren Einschluss oder den Abbau eines Kernkraftwerks ist eine Genehmigung nach § 7 Abs. 3 AtG /ATG 19/ erforderlich. Laufende Stilllegungsprojekte gliedern sich in mehrere Phasen, für die jeweils eigenständige Genehmigungen erteilt wurden. Aktuell zeigt sich jedoch die Tendenz, dass Kernkraftwerke im Rahmen von zwei oder einer einzelnen Stilllegungsgenehmigung vollständig abgebaut werden

können. Die insgesamt geplanten Maßnahmen des Stilllegungsvorhabens sind gemäß § 19b Abs. 1 Atomrechtliche Verfahrensverordnung (AtVfV) /ATV 18/ in der ersten Stilllegungsgenehmigung zu beschreiben. Das Genehmigungsverfahren richtet sich im Wesentlichen nach den Rechtsvorschriften für Genehmigungen nach § 7 Abs. 2 AtG. Ergänzend wird der "Leitfaden zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 des Atomgesetzes" vom 23. Juni 2016 (Stilllegungsleitfaden) /BMU 16/ als Orientierungshilfe herangezogen.

Der Stilllegungsleitfaden enthält alle wesentlichen Aspekte und Empfehlungen für eine zweckmäßige Vorgehensweise bei der Stilllegung und dem Abbau kerntechnischer Anlagen

- im Hinblick auf die Anwendung des untergesetzlichen Regelwerks,
- für die Planung und Vorbereitung der Stilllegung sowie
- für die Genehmigung und Aufsicht.

Der Leitfaden identifiziert die in verschiedenen Dokumenten des gesetzlichen Regelwerkes verteilten stilllegungsrelevanten Vorschriften und beschreibt ihre Anwendung. Er enthält auch Vorschläge für eine zweckmäßige Vorgehensweise bei der Stilllegung von kerntechnischen Anlagen und dient der länderübergreifenden Harmonisierung der Genehmigungsverfahren.

Die ESK hat am 16. März 2015 ihre Empfehlung "Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen" /ESK 15/ verabschiedet, die sich die ESK als eigenen Bewertungsmaßstab zur Beurteilung der Stilllegungsmaßnahmen geschaffen hat. Diese Leitlinien enthalten technische Anforderungen und ergänzen so den Stilllegungsleitfaden.

Sowohl der Stilllegungsleitfaden als auch die Leitlinien sehen die Möglichkeit vor, dass das Kernkraftwerk mit Erteilung einer vollziehbaren Stilllegungsgenehmigung nicht zwangsweise kernbrennstofffrei ist. Allerdings ist für diesen Fall sicherzustellen, dass die relevanten Schutzziele während der Stilllegung und des Abbaus eingehalten werden.

Der Stilllegungsleitfaden beschreibt die durchzuführenden Sicherheitsbetrachtungen und hebt hervor, dass das Gefährdungspotenzial einer in Stilllegung befindlichen kerntechnischen Anlage gegenüber dem Leistungsbetrieb deutlich reduziert ist. Nachdem die Brennelemente entfernt sind, beruht das Gefährdungspotenzial im Wesentlichen auf

dem Aktivitätsinventar und den mit der Stilllegung verbundenen Möglichkeiten zu einer Freisetzung von Radionukliden. Befinden sich noch Brennelemente in der kerntechnischen Anlage, so ist für geplante Abbaumaßnahmen die Rückwirkungsfreiheit dieser Maßnahmen auf den sicheren Betrieb der zur Einhaltung der Schutzziele erforderlichen Systeme und Komponenten sicherzustellen.

Viele der Stilllegungstätigkeiten, insbesondere beim Abbau von Anlagenteilen, sind in ihrer technischen Durchführung vergleichbar mit den bereits für den Betrieb nach Vorgabe des Betriebshandbuchs durchzuführenden Instandhaltungs- und Änderungsmaßnahmen. Dementsprechend sind spezielle Sicherheitsbetrachtungen oder Störfallanalysen lediglich für den gegebenenfalls anders zu bewertenden Zustand der Anlage, den Abbau von Komponenten, für neu zu errichtenden oder zu ändernden Systemen sowie für neue technische Verfahren erforderlich. Maßgeblich für Art und Umfang der erforderlichen Schadensvorsorge sind die Maßstäbe, die sich nach dem Stand von Wissenschaft und Technik für das verminderte Gefahrenpotenzial einer in Stilllegung befindlichen kerntechnischen Anlage ergeben.

Laut Stilllegungsleitfaden sind folgende Ereignisse bei Stilllegungsverfahren fallbezogen sicherheitstechnisch zu betrachten und zu bewerten:

- Einwirkungen von innen, z. B.:
  - Anlageninterner Brand
  - Leckage von Behältern oder Systemen
  - Anlageninterne Überflutung
  - Absturz und Anprall von Lasten
  - Anlageninterne Explosionen
  - Ausfall von Versorgungseinrichtungen (einschließlich Energieversorgung) oder Überwachungseinrichtungen, Brandschutzeinrichtungen, Lüftungseinrichtungen und Einrichtungen zur Rückhaltung radioaktiver Stoffe
- Einwirkungen von außen aufgrund naturbedingter Einwirkungen, z. B.:
  - Extreme meteorologische Bedingungen
  - Überflutung
  - Anlagenexterner Brand (z. B. Waldbrand)
  - Erdbeben

- Einwirkungen von außen aufgrund zivilisatorisch bedingter Einwirkungen, z. B.:
  - Flugzeugabsturz
  - Anlagenexterne Explosion
  - Eindringen gefährlicher Stoffe
  - Anlagenexterner Brand

Die ESK-Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen listen dieselben Einwirkungen auf.

Befinden sich während des Stilllegungsverfahrens noch Brennelemente in der Anlage, so sind zusätzlich noch folgende Ereigniskategorien (in Anlehnung an die Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke /BMU 15/) relevant:

- Verringerte Wärmeabfuhr aus dem Brennelement-Lagerbecken
- Kühlmittelverlust aus dem Brennelement-Lagerbecken
- Reaktivitätsänderungen im Brennelement-Lagerbecken und Kritikalitätsstörfall
- Ereignisse bei Handhabung und Lagerung von Brennelementen.

In den Leitlinien sind die technischen Anforderungen und Abläufe dargestellt, die bei der Stilllegung von nach § 7 AtG genehmigten Anlagen und Anlagenteilen anzuwenden sind. Die vorliegenden Leitlinien berücksichtigen Empfehlungen des internationalen Regelwerkes und ergänzen in technischer Sicht die Anforderungen und Vorgaben des Stilllegungsleitfadens.

In diesem Dokument wird ebenso wie im Stilllegungsleitfaden die Möglichkeit der Stilllegung und Abbau von Leistungsreaktoren mit Brennelementen und/oder Defektstäben in der Anlage gesehen. Das Dokument bezieht sich unter anderem auf folgende Bereiche:

- Anforderungen an Sicherheitsanalysen
- Maßnahmen beim Abbau der Anlage
- Sicherheitstechnische Einstufung von Einrichtungen

Die ESK-Leitlinien bestimmen, dass auch nach Beendigung des Leistungs- oder Produktionsbetriebs die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden beizubehalten ist. Dazu müssen die im Leistungsbetrieb erforderlichen Einrichtungen auch nach Beendigung des Leistungs- oder Produktionsbetriebs die Einhaltung der Schutzziele mit der erforderlichen Wirksamkeit und Zuverlässigkeit sicherstellen.

Das Betriebsreglement muss unter anderem folgende Punkte berücksichtigen:

- Betriebsorganisation und Sicherheitsmanagement einschließlich Darstellung der sicherheitstechnisch bedeutsamen Prozesse
- die Vorgehensweise bei der Ein- und Umstufung von Einrichtungen
- die Vorgehensweise bei Änderungen, einschließlich der Nutzungsänderung von Räumen in der Anlage
- die Vorgehensweise zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle sowie zur Herausgabe/Freigabe von Materialien, von Bodenflächen und von Gebäuden oder Gebäudeteilen
- das Arbeiterlaubnisverfahren sowie
- die vorgesehenen Maßnahmen zum Strahlenschutz, zum Arbeitsschutz und zum Brandschutz

Während der Stilllegung einer Anlage ist die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden zu treffen. Gemäß den ESK-Leitlinien sowie den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke (SiAnf) (Abschnitt 2.3) /BMU 15/ ist dazu die Einhaltung folgender Schutzziele sicherzustellen:

- sicherer Einschluss der radioaktiven Stoffe und
- Vermeidung unnötiger Strahlenexposition, Begrenzung und Kontrolle der Strahlenexposition des Betriebspersonals und der Bevölkerung

Solange die Anlage noch nicht kernbrennstofffrei ist, ist darüber hinaus auch die Einhaltung der Schutzziele

- sichere Einhaltung der Unterkritikalität und
- sichere Abfuhr der Zerfallswärme

sicherzustellen.

Ferner erwähnen die ESK-Leitlinien auch, dass es aus sicherheitstechnischer Sicht erforderlich ist, auch hierzu die diesbezüglichen Anforderungen aus den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ zu berücksichtigen. Darüber hinaus müssen die zur Einhaltung der Schutzziele erforderlichen Einrichtungen in der entsprechenden Wirksamkeit und Zuverlässigkeit verfügbar sein. In welchem Umfang Einrichtungen im Detail notwendig sind, ergibt sich aus den Sicherheitsanalysen, die Betrachtungen sowohl für den Stilllegungsbetrieb als auch für Störungen und Störfälle umfassen müssen.

Die Maßnahmen zum Abbau der Anlage sind so zu gestalten, dass sich keine unzulässigen Rückwirkungen auf, die für die Aufrechterhaltung des Stilllegungsbetriebs jeweils noch erforderlichen Einrichtungen ergeben.

Ferner berührt das Dokument die sicherheitstechnische Einstufung von Einrichtungen. Alle zur Einhaltung der Schutzziele während der Stilllegung erforderlichen Einrichtungen sind den sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen zuzuordnen und müssen in der erforderlichen Wirksamkeit und Zuverlässigkeit verfügbar sein. Falls sich noch Kernbrennstoff in der Anlage befindet, weisen die Einrichtungen zur Kühlung der Brennelemente sowie zu deren kritikalitätssicheren Lagerung sicherheitstechnische Bedeutung auf. Für diese Einrichtungen gelten im Wesentlichen die Anforderungen aus dem Leistungsbetrieb fort.

Für Einstufung, Umstufung und für Anpassungen von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen an die geänderten Gegebenheiten des Abbaus sind sicherheitstechnische Bewertungen sowie Zustimmungen der Aufsichtsbehörde erforderlich. Hierbei sind mögliche Freisetzungen des vorhandenen radioaktiven Inventars beim Abbau der einzelnen Anlagenteile oder Systeme sowie die mögliche Aufkonzentration von radioaktiven Stoffen in Behältern oder in Form von Gebinden in einzelnen Raumbereichen im Hinblick auf den Einschluss radioaktiver Stoffe und die Vermeidung unnötiger Strahlenexposition zu berücksichtigen.

Die Einstufung von Hebezeugen und Handhabungseinrichtungen richtet sich nach den potenziellen Auswirkungen eines Versagens dieser Einrichtungen auf Betriebspersonal und Umgebung. Hierbei ist auch die Beeinträchtigung der Funktion sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen oder von Bauwerken aufgrund des Absturzes von Lasten zu berücksichtigen.

Für umgebaute oder neu errichtete sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen sind in Abhängigkeit von ihrer sicherheitstechnischen Einstufung Maßnahmen zur Qualitätssicherung in Spezifikationen festzulegen. Es ist z. B. vor Außerbetriebnahme der Einrichtungen zur kritikalitätssicheren Handhabung und Nasslagerung sowie der Kühlung der Brennelemente nachzuweisen, dass die Anforderungen der Aufbewahrungsgenehmigung nach § 6 AtG auch ohne die Nutzung von Einrichtungen des zugehörigen Kernkraftwerks erfüllt werden können.

### **2.3            Betriebshandbücher**

Im Zuge der entsprechenden Stilllegungs- und Abbaugenehmigungen wird in der Regel entschieden, dass das bestehende Betriebshandbuch für den Nachbetrieb prinzipiell fortgilt, aber um durch den Restbetrieb und den Abbau erforderliche Aspekte angepasst bzw. ergänzt werden soll. Bei den im Rahmen des Abbaus durchzuführenden Maßnahmen kann prinzipiell zwischen Änderungsmaßnahme, dauerhafter Außerbetriebnahme (auch: Stillsetzung) und Abbaumaßnahme unterschieden werden. In der Praxis wird das Betriebshandbuch ausgehend von der existierenden Instandhaltungsordnung (Sicherheitsspezifikation) um entsprechende Passagen ergänzt bzw. um entsprechende weitere Ordnungen erweitert. So wurde beispielsweise im Falle des GKN I eine Abfall- und Reststoffordnung sowie eine Abbauplanung in das Betriebshandbuch aufgenommen.

In diesen Betriebsordnungen wird u.a. die Beteiligung der zuständigen Aufsichtsbehörden und/oder Sachverständigen an den durchzuführenden Maßnahmen auf Basis eines gestuften Vorgehens beschrieben. Wesentliche Faktoren für eine Einstufung sind insbesondere die sicherheitstechnische Relevanz (z. B. Einhaltung von Schutzzielen) sowie radiologische Gesichtspunkte. Im Falle des Kernkraftwerks Biblis geschieht dieses gestufte Vorgehen beispielsweise auf Basis von Kategorien, wobei Umstufungen aufgrund von geänderten Anlagenzuständen – z. B. im Hinblick auf die Kernbrennstofffreiheit – möglich sind. Das Spektrum der eingesetzten Verfahren reicht hier generell von eigenverantwortlichen Verfahren bis zu Genehmigungsverfahren. Die GRS hat im Jahr 2020 einen Bericht erarbeitet, in dem die ihr vorliegenden Restbetriebshandbücher<sup>2</sup> systematisch auf die behördliche/gutachterliche Beteiligung bei Änderungs-, Stillsetzungs- und Abbaumaßnahmen analysiert wurden /GRS 20/.

---

<sup>2</sup> Die dabei betrachteten Kernkraftwerke waren GKN, KKP 1, KWB-A, KWB-B, KKK, KKG und KRB II-B.





### **3 Struktur des durchgeführten Projektes**

Im Folgenden wird kurz über die Struktur und die Vorgehensweise bei der Durchführung des Projektes berichtet. Des Weiteren wird auf zentrale Fragen eingegangen, die sich im Zusammenhang mit der Stilllegung unter Anwesenheit von Brennelementen in der Anlage ergeben.

#### **3.1 AP1: Analyse der Möglichkeiten und Grenzen technischer Maßnahmen zu Stilllegung und Abbau von Kernkraftwerken mit Brennelementen und/oder Defektstäben**

Im Rahmen dieses Projektes wurden im Arbeitspaket 1 die praktischen Möglichkeiten, aber auch die Grenzen zur Durchführung technischer Maßnahmen zur Stilllegung von Kernkraftwerken mit Brennelementen und/oder Defektstäben detailliert untersucht.

Es wurde unter anderem eine Analyse der derzeit gültigen Unterlagen zur Stilllegung von Kernkraftwerken mit Brennelementen und/oder Defektstäben durchgeführt. Hierzu wurden zunächst die geplanten und ergriffenen Maßnahmen laufender Stilllegungsprojekte in Deutschland (KGR, KKR, KWO) betrachtet. Seitens der GRS erfolgte hierzu eine umfangreiche Recherche mithilfe von Genehmigungsunterlagen, Monats- und Jahresberichten der Betreiber an die zuständige Aufsichtsbehörde, Dokumenten aus anderen Projekten (/GRS 18/, /GRS 18a/, /GRS 19/, /GRS 19a/) sowie Publikationen in Fachzeitschriften und sonstigen öffentlich zugänglichen Informationen. Darüber hinaus sind Informationen aus den verschiedenen Veranstaltungen, wie „KONTEC“-Konferenzserie, zuletzt /KON 17/, /KON 19/, den Jahrestagungen Kerntechnik, vgl. /JTK 18/, /JTK 19/, und ICOND-Konferenzen, vgl. /ICO 17/, /ICO 18/ in die Bearbeitung des Projektes eingeflossen.

Aufgrund der Vielzahl des auszuwertenden Materials wurde eine entsprechende angemessene, systematische Einstufung der umfangreichen Unterlagen unternommen. Darüber hinaus wurde eine Systematik zur Erfassung der relevanten Informationen aus den Berichten entwickelt.

Es wurden hier bestimmte Schlagworte festgelegt:

- Brennelemente, Kernbrennstoff
- Lagerbecken, Abklingbecken
- Sonderbrennstäbe, Defektstäbe, Bruchstücke, Experimentier-Brennstäbe
- Stilllegungs- und Abbaugenehmigung
- Radioaktives Inventar, radiologische Charakterisierung
- Kühlung
- Kritisch, Kritikalität
- CASTOR®, Beladung, Lüftung, (Ab-)Transport
- Störfall, Sicherheitsbetrachtungen, Ereignisanalyse
- Abbauphase(n), Abbaumaßnahmen
- relevante Schutzziele
- Sicherheitstechnisch bedeutsame Prozesse bei Abbau und Abfallmanagement

Die Verwendung dieser Schlagwörter und dieser Systematik ermöglichte es, die Anzahl relevanter Dokumente zu begrenzen und dadurch die Erfassung der relevanten Informationen zu beschleunigen.

Anschließend wurden die bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit durchgeführten Maßnahmen in den Anlagen, die kürzlich die 1. SAG erhalten haben oder sich derzeit noch im Genehmigungsverfahren befinden, untersucht. Es wurden unter anderem die bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit durchgeführten Maßnahmen in den Kernkraftwerken (KKI 1, GKN I, KWB-A, KWB-B, KKK, KKU, KKP 1, KKG) analysiert.

Diese Analyse erfolgte auch im Hinblick auf zukünftige Stilllegungsverfahren, für die eine Genehmigungserteilung unmittelbar nach oder bereits vor endgültiger Abschaltung von Seiten des Betreibers angestrebt wird.

Detaillierte Informationen und Ergebnisse der durchgeführten Analyse werden im Kapitel 4 dargestellt.

### **3.2 AP2: Erfahrungsaustausch mit Projekten und Institutionen**

In der Laufzeit des Vorhabens fand ein Erfahrungsaustausch mit Behörden und Betreibern zu Stilllegungs- und Abbautätigkeiten vor Erreichen der Kernbrennstofffreiheit statt. Während der Treffen wurden unter anderem die vorgenommenen Maßnahmen zu Stilllegung und Abbau bei einzelnen Stilllegungsprojekten diskutiert. Im Rahmen dieser Gespräche wurde auch herausgearbeitet, welcher zusätzliche Aufwand in Bezug auf die Rückwirkungsfreiheit

- auf Betreiberseite bei der Planung der technischen Maßnahmen, bei der Erstellung der entsprechenden Antragsunterlagen und bei der Durchführung der Maßnahmen sowie
- auf Behördenseite bei der Bewertung (inklusive eventueller Begutachtung durch Sachverständige) und der Aufsicht über diese technischen Maßnahmen

entsteht.

Dabei wurde auch auf die Frage, welche substanziellen Abbaumaßnahmen bereits vor Herstellung der Kernbrennstofffreiheit bzw. erst später durchgeführt werden, eingegangen.

Ziel dieser Gespräche war die Erarbeitung einer Einschätzung, ob dieser zusätzliche Aufwand im Vergleich zu den in der Vergangenheit mehrheitlich praktizierten Herangehensweise, substanzielle Abbaumaßnahmen erst nach Herstellung der Kernbrennstofffreiheit durchzuführen, gerechtfertigt ist.

### **3.3 AP3: Aufbereitung der Ergebnisse für einen Erfahrungsaustausch national und international**

Die Aufbereitung der Ergebnisse für einen Erfahrungsaustausch national und international wurde durch die Erstellung von Beiträgen für und die Teilnahme an nationalen und internationalen Veranstaltungen zur Stilllegung unterstützt, deren Kommentierung zur Verfeinerung der Erkenntnisse beitragen sollen. Mit der Teilnahme an Veranstaltungen wurde auch ein Beitrag zum Erfahrungsrückfluss geleistet.



## **4 Auswertung der derzeit laufenden und geplanten Stilllegungsprojekte von Kernkraftwerken**

Im Rahmen dieses Projektes wurden sowohl die Stilllegungs- und Abbaugenehmigungen als auch die begleitenden Genehmigungsunterlagen der derzeit laufenden und geplanten Stilllegungsprojekte von Kernkraftwerken, insbesondere hinsichtlich der Planungen zu Abbaumaßnahmen in Anwesenheit von Brennelementen bzw. von Kernbrennstoff, ausgewertet.

Aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen wurde in diesem Kapitel eine dreiteilige Gliederung vorgenommen. Im Abschnitt 4.1 werden ausgewählte Anlagen betrachtet, die zeitlich vor dem dreizehnten Gesetz zur Änderung des AtG den Leistungsbetrieb eingestellt und die Stilllegung sowie den Abbau in Angriff genommen haben. Im Abschnitt 4.2 werden alle Anlagen betrachtet, die aufgrund dieses Gesetzes den Leistungsbetrieb zwischen dem 6. August 2011 und dem 30. Juni 2015 endgültig eingestellt haben, bevor in Abschnitt 4.3 diejenigen Anlagen aufgeführt werden, die nach dem 30. Juni 2015 ihren Leistungsbetrieb entweder eingestellt haben oder ihn einstellen werden.

Zwischen den Abschnitten 4.2 und 4.3 besteht ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal, nämlich der zeitliche Abstand zwischen der Beendigung des Leistungsbetriebs und der Inanspruchnahme einer ersten Stilllegungs- und Abbaugenehmigung. Faktisch erfolgte für Anlagen, die in Abschnitt 4.2 beschrieben werden, die Genehmigungserteilung deutlich (mindestens ein Jahr) nach Einstellung des Leistungsbetriebs. Für Anlagen, die in Abschnitt 4.3 beschrieben werden, ist hingegen davon auszugehen, dass die Inanspruchnahme der ersten Genehmigung zeitnah zum Ende des Leistungsbetriebs erfolgt bzw. erfolgen wird. Dies führt insbesondere dazu, dass eine aktive Kühlung der Brennelemente zu Beginn des Restbetriebs zwingend erforderlich ist.

## **4.1 Stilllegung- und Abbau ausgewählter Kernkraftwerke mit Aufnahme des Restbetriebes vor Inkrafttreten des Dreizehnten Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes am 6. August 2011**

### **4.1.1 Kernkraftwerk Greifswald**

Das KGR war mit vier von acht Kernkraftwerksblöcken sowjetischer Bauart bis zum Zeitpunkt der endgültigen Abschaltung im Jahr 1990 in Betrieb. Der fünfte Block lief bei seiner Abschaltung 1989 seit einigen Monaten im Probetrieb. Die Blöcke 6 bis 8 befanden sich noch in der Errichtung. Nach Einstellung der Stromerzeugung ging die Anlage in die Nachbetriebsphase über, die intensiv für die Entwicklung einer detaillierten Abbaustrategie und -planung (Konzeptfindung) genutzt wurde. Mit Schreiben vom 5. März 1993 hat die Energiewerke Nord (EWN) AG<sup>3</sup> einen allgemeinen Antrag auf Stilllegung und Abbau des KGR gestellt.

Die erste Genehmigung zur Stilllegung der Gesamtanlage und zum Abbau von Anlagenteilen wurde am 30. Juni 1995 nach § 7 Abs. 3 AtG erteilt. In der ersten Genehmigung wurde sowohl die Stilllegung der Blöcke 1 bis 6<sup>4</sup> als auch der Abbau von Anlagenteilen dieser Blöcke genehmigt.

Die Nachbetriebsphase erstreckte sich von der endgültigen Abschaltung des Blockes 1 am 18. Dezember 1990 bis zum 30. Juni 1995 und endete mit der Erteilung der Stilllegungs- und Abbaugenehmigung. Die Betreiberin des KGR begann 1995 im Anschluss an die Erteilung der 1.SAG mit den ersten Abbautätigkeiten

Das entwickelte Stilllegungskonzept wurde wesentlich dadurch beeinflusst, dass eine sofortige Entsorgung der bestrahlten Brennelemente in ein Bundesendlager nicht möglich war sowie sich erhebliche Mengen an radioaktiven Betriebsabfällen noch in der Anlage befanden und die vollständige Entsorgung mit den Systemen des Leistungsbetriebes nicht möglich war.

---

<sup>3</sup> Im Februar 2017 erfolgte eine Umbenennung zu EWN Entsorgungswerk für Nuklearanlagen. Die jetzige Rechtsform der EWN ist die GmbH.

<sup>4</sup> Aufgrund der Bauweise als Mehrblockanlage und der damit zusammenhängenden gemeinsamen Nutzung von Gebäudeteilen (z. B. Reaktorsaal) umfasst die Stilllegungsgenehmigung vom 30. Juni 1995 die Stilllegung der Blöcke 1 bis 6 des KGR. Block 6 befand sich jedoch zu diesem Zeitpunkt noch in der Errichtungsphase, weswegen er im Rahmen der Berichterstattung bei der Aufzählung der Reaktoren in Stilllegung unberücksichtigt bleibt.

Die Stilllegung der Anlage bis zur Entlassung aus dem Geltungsbereich des AtG war in acht Genehmigungsetappen geplant /EWN 95a/.

Das mit der 1. Stilllegungsgenehmigung (G01) genehmigte Konzept zur Stilllegung und zum Abbau des KGR sah folgende wesentlichen Schritte vor /SSK 95/:

Schritt 1: Stilllegung mit Nach- und Restbetrieb<sup>5</sup> (u. a. Vorbereitung und Durchführung der Entfernung des Kernbrennstoffes aus dem Reaktor 1 und den Abklingbecken der Blöcke 1, 2, 4 und 5 und Entsorgung der radioaktiven Betriebsabfälle, Verwahrung des Kernbrennstoffs)

Schritt 2: Abbau und Demontage von Einrichtungen im Kontrollbereich des Blockes 5 (ohne Reaktordruckgefäß) und im Überwachungsbereich der Blöcke 1 – 4

Schritt 3: Modelldemontage des Reaktordruckgefäßes mit seinen Kerneinbauten des Blockes 6 zur Erprobung der fernbedienten Einrichtungen sowie Demontage des Ringwasserbehälters

Schritt 4: Weitgehender Abbau der Überwachungs- und Kontrollbereiche der Blöcke 1 bis 4 bis auf Restsysteme, die für den fernbedienten Abbau erforderlich sind

Schritt 5: Fernbedienter Abbau aller aktivierten Einbauten

Schritt 6: Abbau der restlichen Systeme in den Kontrollbereichen sowie aller aktivierten und kontaminierten Gebäudestrukturen

Schritt 7: Konventioneller Abriss der verbleibenden Gebäude zur Nachnutzung des Standortes als Industriegebiet

Die ursprüngliche Planung sah vor, die Reaktordruckgefäße (RDG) und deren Einbauten der Blöcke 1 bis 4 vor ihrer Zwischenlagerung zu zerlegen. Eine Prüfung des Konzeptes ergab Vorteile für eine Zwischenlagerung der RDG als Ganzes. Dieser Strategiewechsel wurde am 26. September 2005 durch die EWN GmbH beantragt und im Zuge der Erteilung der 35. Änderungsgenehmigung am 16. August 2007 positiv beschieden.

---

<sup>5</sup> Im Rahmen der Unterlagen zur Stilllegung wird für den Nach- und Restbetrieb im Vergleich zum aktuellen Begriffsgebrauch ein abweichender Definitionsrahmen verwendet, der im weiteren Textverlauf präzisiert wird. Zur Abgrenzung werden für diesen abweichenden Definitionsrahmen im weiteren Verlauf die Begriffe um die Endung (KGR) ergänzt.



Zum Zeitpunkt der Abschaltung befanden sich in den Blöcken 1 bis 5 und in dem Zwischenlager für abgebrannten Brennstoff insgesamt 5037 bestrahlte Brennelemente. Neben 860 unbestrahlten Brennelemente waren zudem 235 nur teilweise abgebrannte Brennelemente aus der Probetriebsphase von Block 5.

Zur Aufbewahrung des Kernbrennstoffes wurde im Jahr 1985 ein Nass-Zentrallager für abgebrannten Brennstoff (ZAB) in Betrieb genommen. Des Weiteren wurde zur Umlagerung der Brennelemente aus den ZAB-Transportcontainern C30 das Abklingbecken in Block 3 zu einer Umladeeinheit umgebaut.

Der Abtransport des gesamten unbestrahlten und nur teilweise bestrahlten Kernbrennstoffs war im Oktober 1996 abgeschlossen. Am 21. Mai 2006 wurde der letzte mit Kernbrennstoff beladene CASTOR®-Behälter aus dem Block 3 des KGR in das ZLN gebracht. Seit diesem Zeitpunkt ist die Anlage KGR kernbrennstofffrei.

In einem Kurzgutachten /INT 13/ wurde der Beginn der Abbaumaßnahmen, ohne die vollständige Entfernung sämtlicher Brennelemente aus der Anlage, sicherheitstechnisch negativ bewertet. Es wurde befürchtet, dass es infolge der erhöhten Sicherheitsüberwachung in Bezug auf die Proliferation, zu Behinderungen bei den Stilllegungs- und Abbaumaßnahmen kommen könnte. Darüber hinaus wurde bemängelt, dass die Abbauarbeiten nicht optimal geplant bzw. durchgeführt und anfallenden Reststoffe nicht optimal gelagert werden könnten, da das Brennelement-Lagerbecken nicht bzw. nur mit erheblichen Einschränkungen für Zerlegearbeiten nutzbar sei und bestimmte Räume mit Kontakt zu Kühlkreisläufen wegen der höheren Ortsdosisleistung aus Strahlenschutzgründen nicht zur Verfügung stünden.

Unabhängig vom Vorhandensein der Brennelemente im Reaktorgebäude verwies das Gutachten jedoch ausdrücklich darauf, mit dem Verfahren zur 1. SAG fortzufahren. Um eventuelle negative Wechselwirkungen zwischen der Lagerung der bestrahlten Brennelemente und den Stillsetzungs- bzw. Abbaumaßnahmen zu vermeiden, müssten jedoch entsprechende Vorsorgemaßnahmen getroffen werden.

Ausgehend von den während der ersten Stilllegungsphase vorhandenen Schutzzielen (Sicherung der Unterkritikalität, Abführung der Nachwärme aus den Brennelementen, sicherer Einschluss radioaktiver Stoffe, Begrenzung der Strahlenexposition und störungsfreier Betrieb des ZAB / Zwischenlager Nord (ZLN) und der Zentrale Aktive Werkstatt (ZAW)) hat die EWN GmbH unter anderem folgende Störfälle untersucht:

- Ereignisse bei der Lagerung bestrahlter Brennelemente
  - Beeinträchtigung der Unterkritikalität,
  - Lastabsturz auf Brennelemente (Brennstoffkassetten),
  - Störungen der Nachwärmabfuhr aus den Brennelementen,
- Ereignisse bei der Handhabung bestrahlter Brennelemente
  - Beschädigung eines Brennelements beim Entladen aus den Abklingbecken,
  - Unfall eines beladenen Brennelement-Transportbehälters.

Der Nachbetrieb KGR war im Wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass sich der Brennstoff nur noch in den Reaktoren 1 und 4 und in den Abklingbecken 1 bis 5 befinden durfte. Es wurden nur noch die für diesen Zustand erforderlichen Systeme bereitgehalten und solche, die im Rahmen der weiteren Stilllegung benötigt wurden. Der Restbetrieb begann mit Erreichen der Kernbrennstofffreiheit im jeweiligen Kraftwerksblock. Darüber hinaus begann der Demontagebetrieb für einen Kraftwerksblock, wenn alle radioaktiven Betriebsabfälle entfernt und alle Systeme dauerhaft stillgesetzt und freigeschaltet wurden, sofern diese nicht zur Demontageunterstützung oder als Infrastruktursysteme benötigt würden.

In den jeweiligen Betriebsphasen der dauerhaft abgeschalteten Anlage müssen die Gebäude, Systeme soweit unterhalten, betrieben und ggf. ertüchtigt werden, wie dies zur Einhaltung der jeweils zu berücksichtigenden Schutzziele erforderlich ist. In welche Betriebsart ein Kraftwerksblock bzw. ein Werk einzuordnen ist, wurde durch das Betriebshandbuch festgelegt /KTA 15a/.

Mit der Erteilung der 1. SAG begannen die Vorbereitungen und Durchführungen zur Demontage:

- des Kontrollbereiches Block 5,
- der Generator-Trafo-Blöcke der Blöcke 1 bis 4,
- der Hochdruckvorwärmer der Blöcke 1 bis 5.

Am 20. Dezember 1995 konnte der Dampferzeuger 1 aus dem Apparatehaus Block 5 gezogen und abtransportiert werden. Die Einlagerung bestrahlter Brennelemente aus den Reaktoren der Blöcke 1 bis 5 und den Abklingbecken der Blöcke 2 bis 5 in das ZAB wurde zwischen den Jahren 1994 – 1998 durchgeführt. Im Jahr 1997 waren alle Reaktoren und die Abklingbecken der Blöcke 4 und 5 kernbrennstofffrei.

Aufgrund der Größe der Anlage mit sechs Blöcken, von denen fünf in Betrieb waren, war es zur Vereinfachung des Abbaus möglich, Brennstoffkassetten innerhalb der Anlage von Block zu Block zu transportieren und Räume frei zu räumen. In Block 3 wurde im Brennelement-Lagerbecken eine Umladeeinheit errichtet, die zur Beladung von CASTOR®-Behälter genutzt wurde.

Die Dampferzeuger wurden im Jahr 1996 aus den Blöcken des KGR im Ganzen ausgebaut. Wie aus den untersuchten Dokumenten hervorgeht, waren zu dieser Zeit noch nicht sämtliche Brennelemente aus der Anlage entfernt worden. Teil der Anlage war ein externes Nasslager für Brennelemente, welches auch als Pufferlager im Vorlauf zur späteren Trockenlagerung diente. Die Existenz eines externen Nasslagers am Standort KGR stellt eine Besonderheit in Deutschland dar, wenngleich auch das KWO ebenfalls über ein externes Nasslager verfügte. Da es innerhalb der Anlage KGR möglich gewesen ist, Brennelemente von Block zu Block zu transportieren und das gemeinsame Nasslager zu verwenden, konnte im Rahmen des Projektes nicht nachvollzogen werden, ob z. B. die Dampferzeuger von Kraftwerksblöcken ausgebaut wurden, während gleichzeitig Brennelemente im Brennelement-Lagerbecken oder im Reaktor gelagert waren.

#### **4.1.2 Kernkraftwerk Rheinsberg**

Das KKR verfügte über einen Druckwasserreaktor vom Typ WWER-440, der von 1966 bis 1990 in Betrieb war. Mit Schreiben vom 26. März 1992 hat die EWN GmbH die

Genehmigung für die Stilllegung und den Teilabbau beantragt. Die Stilllegungsgenehmigung wurde am 28. April 1995 mit Bescheid des damaligen Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg erteilt. Als Stilllegungsstrategie wurde der unmittelbare Abbau gewählt.

Die Stilllegung wurde in acht Abbauphasen unterteilt. Grob lassen sich die Arbeiten wie folgt unterscheiden:

- Abbau außerhalb des Kontrollbereiches (Phase 1, ab 1995)

Demontage nicht mehr benötigter maschinentechnischer und elektrotechnischer Anlagen des Sekundärkreislaufes (Schwerpunkt Maschinenhaus) bei Erhaltung der Gebäudesubstanz einschließlich Transport und Versorgungseinrichtungen zur Nutzung beim weiteren Abbau des KKR

- Abbau innerhalb des Kontrollbereiches (Phase 2 – 6, ab 1996)

Schrittweiser Abbau der Ausrüstungen, beginnend mit gering kontaminierten zu hochkontaminierten / aktivierten Teilen bis zum Abbau des Reaktordruckbehälters

- Abriss der Gebäude (Phase 7 – 8, bis 2025)

Beginn des Abbaus von kontaminierten Gebäuden/Gebäudestrukturen.

Das technische Konzept für Stilllegung und Teilabbau (Phase 1) umfasst als wesentliche Maßnahmen die Entsorgung des Kernbrennstoffs, die Entsorgung der im Betrieb des Kernkraftwerkes entstandenen radioaktiven Betriebsabfälle, die Einrichtung einer Transportbereitstellungshalle nach Demontage der im Maschinenhaus befindlichen Ausrüstungen, die Außerbetriebnahme weiterer, nicht mehr benötigter Anlagenteile und Systeme sowie die Modernisierung und Ergänzung von Systemen zur Sicherung des Nachbetriebes und zur Vorbereitung des Abbaus. Nach Ansicht der Genehmigungsbehörde werden die beantragte Stilllegung und der Teilabbau nicht negativ durch die innerbetriebliche Lagerung der Brennelemente beeinflusst. Der Sachverständige hatte keine grundsätzlichen sicherheitstechnischen Einwände gegen eine zeitlich begrenzte Lagerung der bestrahlten Brennelemente im Abklingbecken sowie der unbestrahlten Brennelemente und der sonstigen radioaktiven Kernbrennstoffe parallel zur Durchführung von Abbaumaßnahmen. Laut der Genehmigung I/99 /KKR 99/ sollten die bestrahlten Brennelemente am Standort in vier Transport- und Lagerbehältern des Typs CASTOR® 440/84 innerhalb der Druckräume des KKR zum Transport in das ZLN bereitgestellt werden.

Laut der RSK /RSK 95/ konnte die Rückwirkungsfreiheit der einzelnen Stilllegungsmaßnahmen (Phasen 1 bis 6) auf die zu gewährleistende Funktion der Restanlage sichergestellt werden. Voraussetzung für die vollständige Durchführung der Phasen 2 und 3 war nach Meinung der RSK der Abtransport der bestrahlten Brennelemente aus der Anlage.

Mit den Demontagearbeiten im Maschinenhaus wurde im Jahr 1995 begonnen. Vordringlich war das Ausräumen der Anlagenräume, in denen sich die Dampferzeuger und die Hauptumwälzpumpen befanden, um die für die CASTOR®-Behälter benötigten Transportbereitstellungsplätze zu schaffen. Diese Arbeiten konnten im August 1998 beendet werden. Die weitere Demontage der Hauptkomponenten und Hilfssysteme des Primärkühlkreislaufes sowie der Anlagen im Maschinenhaus ist bis auf einzelne Restsysteme abgeschlossen /BRE 12/.

Insgesamt wurden bereits der vollständige Sekundärkreislauf einschließlich der Hilfssysteme sowie die Anlagen und Systeme des Primärkreislauf demontiert.

Im Kontrollbereich haben die Demontagen in den Dampferzeugerschleifen im Mai 1997 auf Basis der Genehmigung Nr. 1/97 begonnen. Die Dampferzeuger sind in die Zentrale Aktive Werkstatt des KGR transportiert und dort zerlegt worden. Darüber hinaus wurden im Dezember 1997 die Demontagearbeiten in den Hilfssystemen des Primärkreislaufs begonnen.

Im KKR befanden sich zum Zeitpunkt der endgültigen Abschaltung 220 bestrahlte Brennelemente und 15 Regel-Absorberelemente /EWN 15a/. Weiterhin existierten 26 Sonderbrennstäbe, die zu Forschungszwecken modifiziert wurden. Laut Angaben in den Technischen Jahresberichten der Betreiberin von 1997 und von 1998 wurden die bestrahlten Brennelemente in drei TLB CASTOR® 440/84 und im Abklingbecken 1 zwischengelagert. Die Sonderbrennstäbe wurden in einen vierten CASTOR®-Behälter (440/80 mvK) mit speziellem Einsatzkorb eingeladen.

Der Transport des gesamten Kernbrennstoffs aus dem KKR zur sicheren Verwahrung in das Zwischenlager Nord ist am 9. Mai 2001 erfolgreich mit vier CASTOR®-Behältern abgeschlossen worden.

Auf Basis der vorliegenden und ausgewerteten Genehmigungsdokumente des KKR ist keine detaillierte Aufstellung von abgebauten Komponenten in Phase 1 des Abbaus möglich. Phase 1 ist die Phase, in welcher sich noch Brennelemente im Abklingbecken

von KKR befanden. Diese Phase beschränkte sich auf die „Demontage der im Maschinenhaus angeordneten Ausrüstungen, die Außerbetriebnahme weiterer, nicht mehr benötigter Anlagenteile und Systeme sowie die Modernisierung und Ergänzung von Systemen zur Sicherung des Nachbetriebes und zur Vorbereitung des Abbaus“. Phasen 2 bis 7 werden von der Kernbrennstofffreiheit der Anlage abhängig gemacht. Vor diesem Hintergrund wäre es zu erwarten, dass kein Abbau von Systemen und Komponenten im Reaktorgebäude während Phase 1 stattgefunden hat.

Dem widersprechen allerdings die Angaben in den Technischen Jahresberichten des Betreibers 1995 bis 2000 bzw. der Genehmigung Nr. I/97 (G 03 – Demontage Primärkreislauf) /KKR 97/. Aus diesen geht eindeutig hervor, dass Teile des Primärkreislaufes, wie z. B. die Dampferzeuger, Hauptumwälzpumpen sowie Hilfssysteme, noch vor dem Jahr 2000 und bereits seit 1996 abgebaut wurden. Im Jahr 2000 wurde der letzte CASTOR®-Behälter beladen und schließlich im Jahr 2001 abtransportiert. Im Jahresbericht für 1998 wird beschrieben, dass sich im Berichtszeitraum noch Brennelemente (und Sonderbrennelemente) im Abklingbecken des KKR befanden.

#### **4.1.3 Kernkraftwerk Obrigheim**

Das KWO, welches zur EnBW Kernkraft GmbH (EnKK) und damit zur EnBW AG gehört, wurde am 11. Mai 2005 endgültig abgeschaltet. Ein Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung und Abbau wurde am 21. Dezember 2004 gestellt. Die 1. SAG wurde mit Bescheid des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg (UM BW) vom 28. August 2008 erteilt /KWO 07/, von der die Betreiberin seit 15. September 2008 Gebrauch macht. Stilllegung und Abbau der Anlage sollen auf Basis von vier eigenständigen Genehmigungen nach § 7 Abs. 3 AtG vollzogen werden /KWO 08/:

- 1. Abbauschritt  
Abbau nicht mehr benötigter Systeme und Anlagenteile aus dem Überwachungsbereich.
- 2. Abbauschritt  
Abbau der Hauptkomponenten des Kontrollbereichs (ohne den RDB und seine Einbauten) und weiteren Teilen aus dem Überwachungsbereich.
- 3. Abbauschritt  
Abbau des RDB, der RDB-Einbauten und des Biologischen Schildes.

- 4. Abbauschritt

Abbau der Restbetriebssysteme (u. a. Lüftung, Wassersammel- und Wasseraufbereitungsanlagen, Krananlagen), Dekontamination und Freimessen der Gebäude mit abschließender Entlassung aus dem AtG.

Spätestens bis zum Jahr 2025 soll der Abbau des KWO im atomrechtlichen Rahmen abgeschlossen sein. Anschließend kann eine Nachnutzung von Gebäuden oder deren konventioneller Abriss erfolgen /KWO 18/.

Bereits im Rahmen der Beantragung der 1. SAG wurde das Gesamtkonzept zu den insgesamt geplanten Maßnahmen zur Stilllegung und zum Abbau des KWO /KWO 06/ von der Antragstellerin vorgelegt und durch den Sachverständigen der Behörde sowie durch die Behörde selbst geprüft und als geeignet bewertet. Die Entfernung der verbleibenden bestrahlten Brennelemente aus den Brennelementlagerbecken, stellte demnach eine erforderliche Voraussetzung für eine zügige und unterbrechungsfreie Durchführung der insgesamt geplanten Maßnahmen zu Stilllegung und Abbau des KWO dar. Die EnKK GmbH hat daher einen Genehmigungsantrag für die Aufbewahrung der KWO-Brennelemente in einem Brennelement-Zwischenlager außerhalb der Anlage am Standort KWO gestellt.

Innerhalb des 1. Abbauschrittes sollte durch den Abbau von Anlagenteilen im Überwachungsbereich Platz für die Handhabung der bei den weiteren Abbauschritten anfallenden radioaktiven Reststoffe geschaffen werden.

Während der Durchführung von Abbaumaßnahmen im Reaktorgebäude und anderen Gebäuden des Kontroll- und Überwachungsbereichs befanden sich die Brennelemente im externen Brennelementlagerbecken im Notstandsgebäude, einem sicherheitstechnisch von der übrigen Anlage autarken Gebäude. Der Abbau nicht mehr benötigter Anlagenteile erfolgte daher unabhängig von der Lagerung der Brennelemente. Neben dieser durch bauliche und systemtechnische Randbedingungen gegebenen Rückwirkungsfreiheit zwischen Stilllegungs- und Abbautätigkeiten in den übrigen Bereichen des KWO und dem Betrieb des Brennelement-Lagerbeckens wurden zusätzliche, im Stilllegungsreglement geregelte Vorgehensweisen in den Genehmigungsverfahren festgelegt, um unzulässige Rückwirkungen auf noch in Betrieb befindliche Systeme (insbesondere Betriebs- und Hilfssysteme des externen Brennelement-Lagerbeckens) auszuschließen /ESK 11/.

Im 1. Quartal 2007 wurde eine vollständige Systemdekontamination des Primärkreises und angeschlossener Hilfssysteme durchgeführt, welche die Ortsdosisleistung im Bereich des Primärkreises um mehr als den Faktor 700 absenkte. Die Entladung des Reaktorkerns und die Verbringung der Brennelemente in das externe Brennelement-Nasslager erfolgten im Jahr 2007 in der Nachbetriebsphase, also vor Beginn des Abbaus. Die Lagerung der bestrahlten Brennelemente im externen Brennelement-Lagerbecken im Notstandsgebäude erfolgte unter Wasser in vorhandenen Lagergestellen für Brennelemente.

Mit Stand 12. April 2011, d. h. vor Erteilung der 2. SAG, befanden sich noch 342 Brennelemente im externen Nasslager im Notstandsgebäude. Die Brennelemente wurden zwischen dem 27. Juni 2017 und dem 19. Dezember 2017 in 15 Transport- und Lagerbehälter des Typs CASTOR® 440/84 mvK in das Zwischenlager GKN verbracht. Seit diesem Zeitpunkt ist die Anlage KWO brennelementefrei /AKS 18/.

Tatsächlich hat in KWO kein Abbau mit Brennelementen im Reaktorgebäude stattgefunden, und die Stilllegung von KWO unterscheidet sich von anderen Stilllegungsprojekten nur unwesentlich. Die Existenz eines externen Nasslagers für Brennelemente ist eine Besonderheit des KWO. Durch das Vorhandensein des externen Nasslagers konnte auf ein zusätzliches Trockenlager (Standortzwischenlager) verzichtet werden.

Die Anlagen, Anlagenteile, Systeme und Komponenten, die für die Lagerung und Handhabung der bestrahlten KWO-Brennelemente erforderlich sind, wurden erst nach dem Abtransport der bestrahlten Brennelemente aus der Anlage KWO stillgesetzt und abgebaut.

#### **4.1.4 Kernkraftwerk Stade**

Das KKS hat am 14. November 2003 aufgrund wirtschaftlicher Betrachtungen den Leistungsbetrieb eingestellt. Die damalige Betreiberin E.ON Kernkraft GmbH stellte mit Schreiben vom 23. Juli 2001 einen Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG zur Stilllegung der Anlage /KKS 01/. In diesem Schreiben stellte die Betreiberin fest, dass die Brennelemente bereits in der Nachbetriebsphase abtransportiert werden sollen. Für den Abbau sah die Betreiberin fünf Abbauphasen vor, davon sollten 4 auf der Grundlage voneinander unabhängiger atomrechtlicher Genehmigungen unter atomrechtlicher Aufsicht erfolgen.



Der letzte Abtransport von Brennelementen zur Wiederaufarbeitung nach La Hague fand am 27. April 2005 statt /BRE 12/. Die Anlage ist seitdem Kernbrennstofffrei. Am 7. September 2005 wurde die atomrechtliche Genehmigung zur Stilllegung und zum Abbau (Phase 1) des KKS erteilt. Diese Genehmigung wurde zeitnah in Anspruch genommen, so dass den Planungen entsprechend die Restbetriebsphase in einem kernbrennstofffreien Anlagenzustand aufgenommen wurde.

## **4.2 Stilllegung und Abbau von Kernkraftwerken deren Leistungsbetrieb zwischen dem 6. August 2011 und dem 30. Juni 2015 eingestellt wurde**

### **4.2.1 Kernkraftwerke Biblis-A und Biblis-B**

Die Doppelblockanlage Biblis, bestehend aus KWB-A und KWB-B, besitzt kein externes Nasslager. Am 6. August 2011 verloren mit Inkrafttreten des dreizehnten Gesetzes zur Änderung des AtG beide Kraftwerksblöcke die Berechtigung zum Leistungsbetrieb. Mit Schreiben vom 6. August 2012 beantragte die Betreiberin RWE Power AG<sup>6</sup> für jeden der beiden Blöcke die 1. SAG /KWB 12/. Aufgrund der sehr großen Ähnlichkeit der beiden Blöcke, waren die entsprechenden Antragsunterlagen sowohl inhaltlich als auch in ihrem Umfang sehr ähnlich. Für beide Blöcke wurde im Rahmen der Antragsunterlagen (vgl. Sicherheitsberichte) nicht ausgeschlossen, dass sich zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der jeweiligen 1. SAG noch Kernbrennstoffe in der jeweiligen Anlage befinden könnten, diese sich aber dann im Brennelementlagerbecken befänden. Gemäß den Anträgen ist für den Abbau der nicht zum Umfang der 1. SAG gehörenden Anlagenteile mindestens eine weitere Abbaugenehmigung notwendig.

Für beide Kraftwerksblöcke sieht die Betreiberin ein gestuftes Vorgehen in der Restbetriebsphase auf Basis der folgenden drei Anlagenzustände vor:

- Anlagenzustand 1: Aktiv zu kühlender Kernbrennstoff im Brennelement-Lagerbecken vorhanden
- Anlagenzustand 2: Kein aktiv zu kühlender Kernbrennstoff im Brennelement-Lagerbecken vorhanden
- Anlagenzustand 3: Das KWB-A (KWB-B) ist kernbrennstofffrei

---

<sup>6</sup> Aktuelle Inhaberin: RWE Nuclear GmbH

In den entsprechenden Antragsunterlagen zur 1. SAG stellt die Antragstellerin fest, dass während der Anlagenzustände 1 und 2 die Einhaltung der Schutzziele „Kontrolle der Reaktivität (Unterkritikalität)“, Kühlung des Kernbrennstoffs (Nachwärmeabfuhr)“, „Einschluss der radioaktiven Stoffe (Aktivitätsrückhaltung)“ und „Begrenzung der Strahlenexposition“ sicherzustellen ist /KWB 14/. Für den Anlagenzustand 3 sind entsprechend nur die beiden letztgenannten Schutzziele relevant. Vor Durchführung von Abbaumaßnahmen sind entsprechende Nachweise der Rückwirkungsfreiheit zu erbringen.

Für beide Blöcke umfasst der im Rahmen der 1. SAG beantragte Abbauumfang alle zur atomrechtlichen Anlage gehörenden Systeme, Systembereiche, Komponenten, Anlagenteile und innere Gebäudestrukturen - mit folgenden Ausnahmen:

- Reaktordruckbehälter
- Biologischer Schild
- Einrichtungen zur Umschließung des äußeren Sicherheitsbereiches

Sowohl für KWB-A als auch für KWB-B wurden die Genehmigungsbescheide zur 1. SAG am 30. März 2017 erlassen. Beide Blöcke nehmen die jeweilige 1. SAG seit dem 1. Juni 2017 in Anspruch /KWB 18/. Für KWB-A wurde die Kernbrennstofffreiheit im November 2016 realisiert /KWB 18/. Der Kraftwerksblock KWB-B ist seit dem 23. September 2018 brennelementfrei /KWB 18/ und seit Juni 2019 kernbrennstofffrei /KWB 19/. Diese zeitliche Diskrepanz hinsichtlich der erzielten Kernbrennstofffreiheit begründet sich durch zwei Faktoren: Die Betreiberin verfolgte einerseits bewusst die Strategie, zuerst die Kernbrennstofffreiheit in KWB-A abzuschließen, bevor in KWB-B mit der Einlagerung und dem Abtransport der Brennelemente begonnen wurde. Andererseits wurde erst am 14. August 2018 im Zuge der 8. Änderungsgenehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen im Standort-Zwischenlager in Biblis die Aufbewahrung von Sonderbrennstäben in CASTOR®-Behälter nach der 96er Zulassung genehmigt /KWB 18a/. KWB-A konnte zum damaligen Zeitpunkt somit die Kernbrennstofffreiheit nur durch einen Quertransport der in Block A vorhandenen Sonderbrennstäbe nach Block B erreichen /KWB 16/. In der Summe ist festzuhalten, dass für KWB-A die Kernbrennstofffreiheit vor Inanspruchnahme der 1. SAG erreicht wurde, während dies für KWB-B erst zwei Jahre nach Inanspruchnahme der 1. SAG gelang. Somit liegt am Standort Biblis ein Fall vor, an dem zwei nahezu baugliche Anlagen mit identischer Stilllegungsplanung unterschiedliche Voraussetzungen zu Stilllegungsbeginn aufweisen.

Die nachfolgenden Aussagen dieses Absatzes beziehen sich, sofern nichts Gegenteiliges geschrieben steht, auf KWB-B. Auf Basis der Länderbeiträge im Rahmen des Arbeitskreises Stilllegung ist ersichtlich, dass in KWB-B seit Beginn der Restbetriebsphase bis mindestens zum Stichtag der erzielten Kernbrennstofffreiheit der Fokus auf der Schaffung der für den Abbau benötigten Infrastruktur lag. Eine Primärkreisdekontamination wurde im vierten Quartal 2017 begonnen /BFE 18/. Im zweiten bzw. dritten Quartal des Jahres 2019 wurden vorbereitende Maßnahmen zur Demontage der Hauptkühlmittelleitungen aufgenommen. Mindestens bis Oktober 2019 erfolgten die durchgeführten Abbaumaßnahmen vorwiegend auf Basis logistischer Erwägungen. Generell ist festzustellen, dass bei den Abbaumaßnahmen KWB-A um etwa ein Jahr führend ist, was laut Hessischem Umweltministerium auch auf die später erzielte Kernbrennstofffreiheit im Block B zurückzuführen ist.

In KWB-A fanden ergänzend folgende Maßnahmen statt:

- Schaffung von Lagerflächen
- Austausch der Verdampfer
- Errichtung von Container-Schaltanlagen
- Errichtung von Abrasivanlagen

Aus Sicht der GRS sind die sowohl in KWB-A als auch in KWB-B durchgeführten Arbeiten eine wichtige Voraussetzung und daher charakteristisch für den Beginn der Stilllegung. Einen Einfluss der An- oder Abwesenheit von Brennelementen/Kernbrennstoffen in der Anlage auf diese Arbeiten, wird aus GRS-Sicht nicht gesehen. Auch nach dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit in KWB-B im Juni 2019 hat sich die Ausrichtung der Maßnahmen nicht geändert, zudem sind diese Maßnahmen im kernbrennstofffreien Block A in vergleichbarer Art und Weise durchgeführt worden.

Es fällt jedoch auf, dass die Stilllegung des Blocks B mit einem zeitlichen Versatz im Vergleich zu Block A fortschreitet. Dass Block A in den Abbaumaßnahmen führend ist, liegt zum einen an der Kernbrennstofffreiheit zu Stilllegungsbeginn, zum anderen ist dies aus projektplanerischer Sicht sinnvoll. Insofern lässt sich nach Einschätzung der GRS nicht schlussfolgern, dass die beiden Blöcke parallel abgebaut worden wären, wenn

auch in Block B die Kernbrennstofffreiheit mit Stilllegungsbeginn vorgelegen hätte. Ferner erfolgt auch die Behandlung von demontierten Einrichtungen des Blocks B mithilfe der Behandlungsanlagen in Block A.

#### **4.2.2 Kernkraftwerk Brunsbüttel**

Das KKB (Druckwasserreaktor) ist eine Einzelblockanlage ohne externes Nasslager und verlor am 6. August 2011 mit Inkrafttreten des dreizehnten Gesetzes zur Änderung des AtG die Berechtigung zum Leistungsbetrieb. Die Betreiberin Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG hat mit Schreiben vom 1. November 2012 einen Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung und Abbau bei dem zuständigen Ministerium für Energie- wende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein gestellt /KKB 12/ und mit Schreiben vom 19. Dezember 2014 präzisiert /KKB 14/.

Die Planung der 1. SAG sah vor, dass zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme Brennelementfreiheit, aber aufgrund noch vorhandener 13 Defektstäbe keine Kernbrennstofffreiheit vorliegen würde. Der noch vorhandene bestrahlte Kernbrennstoff sei mengenmäßig so gering, dass für die Nachwärmeabfuhr keine Kühlsysteme mehr erforderlich seien. Aus den vorliegenden Antragsunterlagen zur 1. SAG geht nicht hervor, dass auf ein gestuftes Vorgehen – z.B. mit dem abgeschlossenen Abtransport als wesentlicher Meilenstein – zurückgegriffen werden soll. Für den Sicherheitsbericht wurde im Rahmen der Ereignisanalyse das Szenario eines Flugzeugabsturzes betrachtet /KKB 15/. Dabei wurde u.a. die vollständige Freisetzung des freisetzbaren Aktivitätsinventars aus den 13 Sonderbrennstäben betrachtet und gefolgert, dass die maximal erreichbaren Kollektivdosen in der Anlagenumgebung mit  $< 0,4$  mSv weit unterhalb der Eingreifrichtwerte für den Katastrophenschutz (100 mSv) liegen. Der Sicherheitsbericht hält fest, dass im Fall noch vorhandener Sonderbrennstäbe Abbauarbeiten nur erfolgen, wenn die erforderliche Rückwirkungsfreiheit auf den im Brennelementlagerbecken befindlichen Kernbrennstoff sichergestellt sei; dies gelte insbesondere auf Ebene A10, die mit der Oberkante des Brennelementlagerbeckens zusammenfällt. Es wird explizit festgestellt, dass die Entsorgung der defekten Brennstäbe prioritär erfolge, so dass Abbaumaßnahmen in betroffenen Raumbereichen in dieser Zeit im erforderlichen Fall ausgesetzt werden würden.

Die Brennelementfreiheit wurde am 21. Juni 2017 realisiert /KKB 17/, die Kernbrennstofffreiheit folgte am 17. Februar 2018 durch den Abtransport der noch vorhandenen 13

Sonderbrennstäbe nach Schweden zu Studsvik /KKB 18/, wo sie näher untersucht werden sollen. Die Genehmigung zur 1. SAG wurde am 21. Dezember 2018 erteilt, sodass die Anlage kernbrennstofffrei in die Restbetriebsphase übergang /KKB 18a/.

#### **4.2.3 Kernkraftwerk Grafenrheinfeld**

Am Standort des KKG befindet sich neben dem Kraftwerksblock nur das Standortzwischenlager für abgebrannte Brennelemente. Die Betreiberin hatte entschieden, die Anlage bereits ein halbes Jahr vor dem gesetzlich festgelegten Datum des Erlöschens der Berechtigung zum Leistungsbetrieb vom Netz zu nehmen, so dass der Leistungsbetrieb am 27. Juni 2015 eingestellt wurde. Ein Antrag zur 1. SAG wurde am 28. März 2014 gestellt /KKG 14/. Der Antrag sieht die folgenden drei Teilabschnitte vor /KKG 16/:

- Abschnitt 1A: Im Brennelement-Lagerbecken befinden sich sowohl bestrahlte Brennelemente als auch einzelne Sonderbrennstäbe
- Abschnitt 1B: Einzelne Sonderbrennstäbe sind noch im Brennelement-Lagerbecken vorhanden. Sie erfordern auch nach Abtransport der Brennelemente eine angemessene Wasserüberdeckung zur Abschirmung der ionisierenden Strahlung.
- Abschnitt 1C: Die Anlage ist frei von Kernbrennstoff

Die 1. SAG wurde für das KKG nach einer Nachbetriebsphase von knapp drei Jahren am 11. April 2018 erteilt /KKG 18/. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich aus dem Leistungsbetrieb noch Brennelemente zur Kühlung im Brennelementlagerbecken der Anlage, die sukzessive entladen wurden. Eine Primärkreisdekontamination fand im Jahr 2016 statt. Seit dem 16. Mai 2020 ist die Anlage brennelementefrei und 46 verbliebene Defektstäbe sollen nach aktueller Planung bis zum Ende des Jahres 2020 ebenfalls entladen sein /KKG 20/. Im Zeitraum von der Erteilung der 1. SAG bis Mitte 2020 wurden 24 Stillsetzungsvorhaben und 9 Demontagevorhaben abgeschlossen. In den Jahren 2018 und 2019, also unmittelbar nach Erhalt der Stilllegungsgenehmigung beliefen sich die Maßnahmen auf die /KKG 20b/:

- Demontage von Isolierungen, insbesondere an den Loop-Leitungen und Dampferzeugern,
- Demontage von Teilen einer Redundanz des Zwischen (TF)-, Nach-, und Beckenkühlsystems (TH) im Bereich des Ringraumes, und

- Demontage von weiteren Systemkomponenten im Bereich des Ringraumes wie der Ringraumabsaugung des Lüftungssystems (TL10) und des Volumenregelsystems (TA31-33)
- Demontage von Systemkomponenten der Dampferzeuger-Abschlammung im Hilfsanlagengebäude,
- Vorbereitung des Reaktorflures durch die Zerlegung der Beckenflurwerkzeuge wie Schraubenspannvorrichtung, Bolzenausdrehvorrichtung und RDB-Bolzen sowie Abstellring.

Diese Maßnahmen im Reaktor-Ringraum und im Hilfsanlagengebäude entsprechen den ursprünglichen Planungen /KKG 20a/, in diesen Bereichen Stationen des Reststoffbearbeitungszentrums einzurichten, über die die ersten Massenströme geleitet werden. Die Redundanz 30 war hierfür in der Planung vorgesehen. Eine Nutzungsänderung der Räume kann erst erfolgen, wenn alle Restbetriebssysteme vollständig entfernt wurden /KKG 16/. Im Bereich des Beckenflures wird Platz für die Einrichtung der Nasszerlegeplätze geschaffen, die zunächst im Reaktor-, Abstell- und Achtkantbecken entstehen und der Zerlegung der Kerneinbauten dienen.

Nach Auskunft der Betreiberin sollen im Jahr 2021 die Arbeiten zur Zerlegung der Kerneinbauten stattfinden. Diese Arbeiten fallen demnach in den Abschnitt 1C, in dem die Anlage kernbrennstofffrei ist.

Im Falle von KKG kann zum derzeitigen Stand aus Sicht der GRS davon ausgegangen werden, dass die unter Anwesenheit der Brennelemente geplanten Abbauarbeiten auch in dieser Form durchgeführt werden. Die Arbeiten auf dem Beckenflur finden in räumlicher Nähe zum Brennelement-Lagerbecken statt, während die Arbeiten im Ringraum eine Redundanz der Kühlsysteme betreffen, die zur Kühlung des Lagerbeckens genutzt werden können.

In der 1. SAG ist festgeschrieben, dass die Systeme, die mit Beginn der Stilllegung als „abbaubar“ eingestuft werden, vor Beginn der Abbaumaßnahme der Aufsichtsbehörde vorgelegt werden. Diese Einstufung ändert sich mit Erreichen der Brennelementefreiheit, und dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit.

#### 4.2.4 Kernkraftwerk Isar 1

Ein erster Antrag auf Stilllegung und Abbau des KKI 1 wurde durch die damalige Betreiberin E.ON Kernkraft GmbH (heute PreussenElektra GmbH) am 4. Mai 2012 beim Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG, heute Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz - StMUV) gestellt /KKI 12/, nachdem der Leistungsbetrieb am 6. August 2011 eingestellt wurde. Mit Schreiben vom 31. Januar 2020 hat PreussenElektra einen Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG zum weiteren Abbau der Anlage, Phase 2 (2. AG) gestellt. Gemäß der Planung, vgl. Abb. 4.1, sind keine weiteren atomrechtlichen Genehmigungen nach § 7 Abs. 3 AtG vorgesehen. Die Antragstellerin beantragte, den Restbetrieb unabhängig von möglicherweise noch vorhandenen Brennelementen/Brennstäben aufnehmen zu können. Die Abbauphase 1 soll daher in drei Zeitabschnitte unterteilt werden:

- Abschnitt 1 A: Es befinden sich noch bestrahlte Brennelemente und einzelne Defektstäbe im Brennelement-Lagerbecken. Die Brennelement-Lagerbeckenkühlung wird für die zuverlässige Kühlung der bestrahlten Brennelemente benötigt.
- Abschnitt 1 B: Einzelne Defektstäbe sind noch vorhanden. Diese befinden sich im Brennelement-Lagerbecken. Eine ausreichende Abschirmung der Defektstäbe im Brennelement-Lagerbecken wird sichergestellt, eine aktive Kühlung wird nicht mehr benötigt.
- Abschnitt 1 C: Brennstofffreiheit, d. h. es befindet sich kein Kernbrennstoff mehr im KKI 1.

Der wesentliche Abbauumfang im Rahmen der 1. SAG umfasst /KKI 14/:

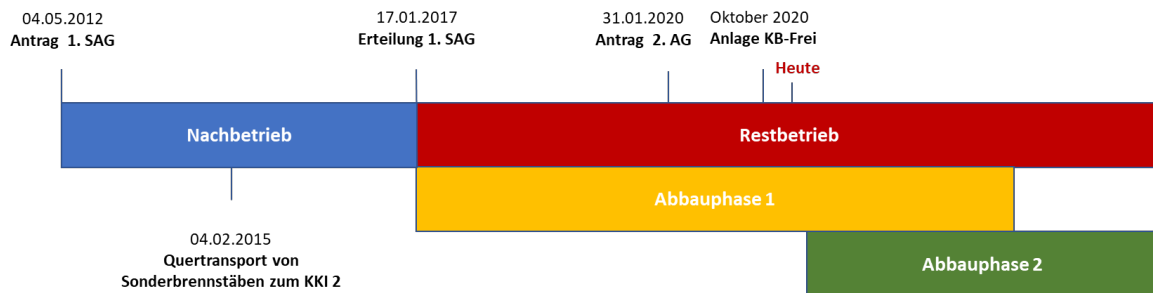
- die Dekontamination von Anlagenteilen,
- den Abbau von radioaktiv kontaminierten Anlagenteilen im Kontrollbereich und außerhalb des Kontrollbereiches, die der atomrechtlichen Genehmigung unterliegen,
- die Zerlegung und die Verpackung des Reaktordruckbehälterdeckels sowie des Sicherheitsbehälterdeckels,
- den Ausbau, die Zerlegung und die Verpackung beweglicher und fester Reaktordruckbehältereinbauten und

- den Abbau von kontaminierten Betonstrukturen und deren Entsorgung.

Der Abbauumfang im Rahmen der 2. AG umfasst im Wesentlichen:

- den Abbau des Reaktordruckbehälters ohne Reaktordruckbehälterdeckel,
- das Fortsetzen des Freiräumens und der weitere Abbau des Sicherheitsbehälters und Abbau des biologischen Schildes, sowie
- den weiteren Abbau von Anlagenteilen außerhalb des Kontrollbereiches, die der atomrechtlichen Genehmigung unterliegen.

Nach Abschluss des Abbaus des KKI 2 ist dann das Restfreiräumen des KKI 1, die Dekontamination von Gebäudestrukturen sowie das Freimessen von Gebäuden und Gelände­flächen vorgesehen.



**Abb. 4.1** Verfahrensablauf des KKI 1

Die 1. SAG wurde am 17. Januar 2017 erteilt. Im April 2020 wurde im Zuge des Abtransports des letzten von insgesamt 34 CASTOR®-Behältern in das Standortzwischenlager die Brennelementfreiheit erzielt. Im Oktober 2020 wurde der letzte einzelne Brennstab aus dem Block 1 über einen Quertransport in das Lagerbecken von KKI 2 verbracht. Die Anlage KKI 1 ist seitdem kernbrennstofffrei.

Im Zeitraum von 2014 bis zur Erteilung der 1. SAG am 17. Januar 2017, wurden im Rahmen der Betriebsgenehmigung umfangreiche vorbereitende Maßnahmen für den Abbau durchgeführt. Diese Tätigkeiten zielten in erster Linie darauf ab, die notwendige Infrastruktur für den Restbetrieb zu schaffen. Die Vorzerlegung der Steuerelemente wurde im Jahr 2014 durchgeführt. Die abschließende Zerlegung und Entsorgung der Steuerelemente erfolgten im Jahr 2015. Im selben Jahr wurde der Quertransport der Sonderbrennstäbe in das Brennelement-Lagerbecken KKI 2 sowie die Systemdekontamination



des Reaktordruckbehälters mit angrenzenden Systembereichen erfolgreich abgeschlossen.

Seit Inanspruchnahme der Stilllegungs- und Abbaugenehmigung wurden 90 Stillsetzungs- und 40 Demontagevorhaben vorgelegt. 73 Stillsetzungsvorhaben und 12 Demontagevorhaben sind abgeschlossen (Stand Oktober 2020) /BSM 20/. Folgende Tätigkeiten des Abbaus wurden bis März 2020 durchgeführt:

- Beprobung RDB und RDB Einbauten
- Konditionierung und Entsorgung (Mitterteich) der Steuerelemente
- Demontage der Hoch- und Niederdruckturbinen (HD, ND1 und ND2)
- Deisolierung von Rohrleitungen und Komponenten im Sicherheitsbehälter und Reaktorgebäude
- Demontage von Rohrleitungen und Komponenten im Sicherheitsbehälter
- Demontage des Speisepumpenflurs und der Hochdruck-Einspeisesysteme
- Errichtung von Zerlegeplätzen im Maschinenhaus
- Herstellung von Arbeitsbühnen und Einrichtungen im Sicherheitsbehälter für die spätere Reaktordruckbehälter-Zerlegung

Jedes stillzusetzende System wurde in einem separaten Stillsetzungsvorhaben bearbeitet. Dabei wurde entsprechend des gestuften Verfahrens die Rückwirkungsfreiheit der Maßnahmen durch das StMUV bzw. durch den TÜV geprüft. Jeder zu demontierende Bereich wird in einem separaten Demontagevorhaben bearbeitet. Von der Aufsichtsbehörde wird vor Beginn eines jeden Abbauschritts nochmals geprüft, dass keine nachteiligen Auswirkungen auf den sicheren Betrieb zu besorgen sind, insbesondere was die Einhaltung der Anforderungen zur Kontrolle der Reaktivität und zur Kühlung der Brennelemente anbelangt. Die Kühlung der bestrahlten Brennelemente und Defektstäbe in dem Brennelement-Lagerbecken erfolgte wie im Leistungsbetrieb mit dem betrieblichen Beckenkühlsystem.

Aus Sicht der GRS gehen die durchgeführten Arbeiten über vorbereitende Maßnahmen, wie sie für den Beginn der Stilllegung typisch sind, hinaus. Eine zu besorgende Rückwirkung auf die Einhaltung der Schutzziele wurde nicht festgestellt. Aus Sicht der GRS wird

daher kein Einfluss der An- oder Abwesenheit von Brennelementen in der Anlage auf diese Arbeiten gesehen.

#### 4.2.5 Kernkraftwerk Krümmel

Für das KKK erlosch die Berechtigung zum Leistungsbetrieb mit Inkrafttreten des dreizehnten Gesetzes zur Änderung des AtG am 6. August 2011. Die Betreiberin Kernkraftwerk Krümmel GmbH & Co. oHG hat am 24. August 2015 den Antrag zur Stilllegung und zum Abbau des KKK beim Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, heute Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung gestellt /KKK 15/. Am 29. September 2017 wurde der o. g. Antrag präzisiert, so dass Stilllegung und Abbau bis hin zum Nachweis der Freigabefähigkeit der Gebäude nach § 29 StrlSchV (alt) in nur einer anstatt der zwei zuvor angenommenen atomrechtlicher Abbaugenehmigungen erfolgen sollen /KKK 17/.

Das KKK befindet sich seit 5. November 2014 im sogenannten längerfristigen Stillstandsbetrieb<sup>7</sup> (LSSB), der bis zur Erteilung und Inanspruchnahme der Stilllegungs- und Abbaugenehmigung durchgeführt wird /KKK 18a/ (siehe Abb. 4.2).



**Abb. 4.2** Verfahrensablauf des KKK

<sup>7</sup> Längerfristiger Stillstandsbetrieb ist der Nichtleistungsbetrieb bis zur Erklärung des Nachbetriebs oder Inanspruchnahme der ersten vollziehbaren Genehmigung nach §7 Abs. 3 AtG durch den Betreiber der Anlage KKK /KKK 18b/

Während des LSSB finden vorbereitende Arbeiten statt, die durch die Betriebsgenehmigung abgedeckt sind /KKK 18b/. Hierzu zählen insbesondere:

- Abtransport der Brennelemente aus der Anlage,
- Entsorgung von Betriebsabfällen,
- Dekontamination von für den LSSB nicht mehr benötigten Systemen und Komponenten,
- Außerbetriebnahme von nicht mehr benötigten Systemen.

Ferner werden Einrichtungen zur Reststoffbearbeitung vorbereitet.

Gemäß der Stilllegungsplanung und der gestellten Anträge beabsichtigte die Betreiberin zum Zeitpunkt der Stilllegungsplanung, den Restbetrieb des KKK mit bis zu 200 Sonderbrennstäben im Abklingbecken aufzunehmen. Mit dem Abtransport des letzten mit Brennelementen beladenen CASTOR® V/52 am 4. Oktober 2017 in das Standortzwischenlager Krümmel, wurde die Brennelementefreiheit erreicht. Die Beladung des CASTOR®-Behälters V/52 mit Sonderbrennstäben war die letzte Handhabung eines CASTOR®-Behälters im KKK. Diese wurde am 11. Dezember 2019 abgeschlossen /VAT 20/, so dass die Anlage seitdem kernbrennstofffrei ist. Das KKK befindet sich weiterhin in der Nachbetriebsphase.

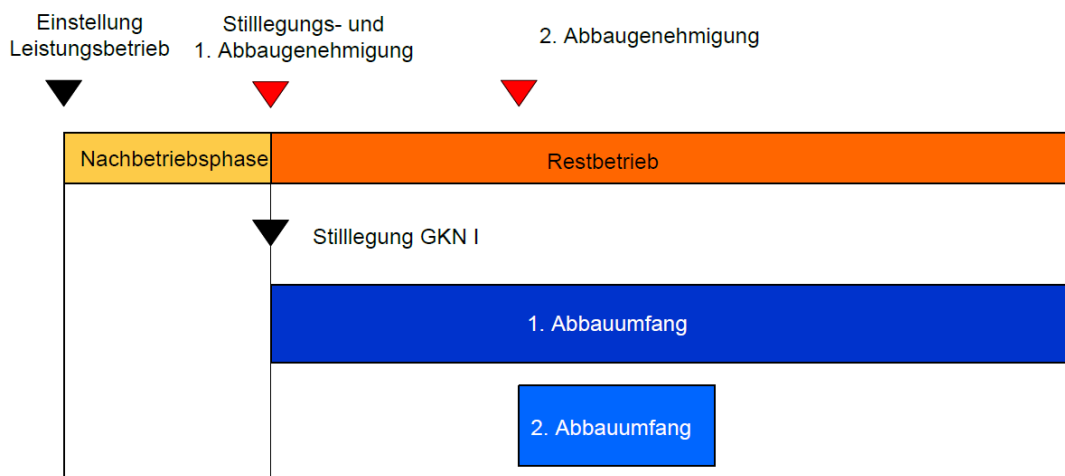
Mit Stand November 2020 wurde der Bescheid zur 1. SAG noch nicht ausgestellt. Die zuständige Behörde stellt eine Entscheidung im Jahr 2021 in Aussicht.

Die für die Abbauarbeiten der Phase 1 vorgesehenen Bereiche der Anlage sind nicht kontaminierte, kontaminierte und aktivierte Anlagenteile im Kontrollbereich, z. B. auch die RDB-Einbauten. Die Abbauarbeiten der Phase 1 umfassen außerdem Anlagenteile, die im Rahmen der Nutzungsänderungen und beim Ausbau der Transportwege abgebaut werden müssen und nicht mehr für den Restbetrieb benötigt werden sowie Systeme und Komponenten, die für die Durchführung des Abbaus errichtet wurden und nicht mehr benötigt werden. Durch die Präzisierung des Antrags ist zusätzlich der Abbau von RDB, Bioschild und weiteren aktivierten Anlagenteilen sowie der Bereiche um das Brennelement-Lagerbecken, den Abstell- und den Reaktorraum vorgesehen. Eine nähere Konkretisierung des Umfangs erfolgt nachfolgend im Verfahren /KKK 17/.

Der potentielle konventionelle Abriss der Gebäude, soweit sie nicht einer Nachnutzung zugeführt werden, erfolgt im Rahmen der zweiten Phase.

#### 4.2.6 Kernkraftwerk Neckarwestheim 1

Mit Inkrafttreten des dreizehnten Gesetzes zur Änderung des AtG am 6. August 2011 ist die Berechtigung zum Leistungsbetrieb des GKN I erloschen. Die Betreiberin EnBW Kernkraft GmbH hat mit Datum vom 24. April 2013 einen Antrag auf Erteilung einer 1. SAG für das GKN I gem. § 7 Abs. 3 AtG gestellt /GKN 13/, /GKN 17/. Das Abbaukonzept ist im Sicherheitsbericht zur 1. SAG beschrieben und sieht den Abbau von Anlagenteilen des GKN I auch unter Anwesenheit von Brennelementen vor /GKN 14/. Am 21. Dezember 2017 hat die EnBW Kernkraft GmbH den Antrag gemäß § 7 Abs. 3 AtG auf Erteilung einer eigenständigen 2. Abbaugenehmigung (2. AG) für das GKN I gestellt /GKN 17a/. Im Rahmen der 1. SAG ist vorgesehen, gem. § 7 Abs. 3 AtG das GKN I stillzulegen und Anlagenteile des GKN I im Ganzen oder in Teilen abzubauen. Der Abbau von Anlagenteilen des GKN I gliedert sich in zwei Abbauumfänge, die auf Basis separater Abbaugenehmigungen durchgeführt werden sollen (siehe Abb. 4.3).



**Abb. 4.3** Vorgesehene genehmigungstechnische Umsetzung der Stilllegung und des Abbaus von Anlagenteilen des GKN I /GKN 14/

Der wesentliche Abbauumfang der 1. SAG umfasst /GKN 14/:

#### 1. Abbauumfang

- Abbau nicht mehr benötigter Anlagenteile (Systeme, Komponenten, Einrichtungen, Gebäudestrukturen),
- Abbau kontaminierter Anlagenteile im Reaktorgebäude und im Reaktorhilfsanlagengebäude,
- maschinen-, verfahrens-, elektro- und leittechnische, bauliche sowie sonstige technische Teile,
- Abbau des Deckels des RDBs, der RDB-Einbauten sowie den Abbau von ortsfesten Einrichtungen zum Abbau von Anlagenteilen,
- Hilfssysteme wie Überwachungseinrichtungen, Versorgungseinrichtungen, Kabel, Halterungen, Anker- und Dübelplatten, Rohr- und Kabeldurchführungen, Fundamente sowie fest installierte Montage- und Bedienhilfen.

#### 2. Abbauumfang

- Unterteil des RDBs einschließlich Kernschemel,
- Biologischer Schild,
- Brennelement-Lagerbecken und Reaktorbecken.

Die Betreiberin hat in den Genehmigungsunterlagen unter Berücksichtigung der wenigen verbleibenden Abhängigkeiten eine vorgesehene sinnvolle Reihenfolge des Abbaus wesentlicher Anlagenteile dargestellt. Es wurde zwischen der Abbaufolge bei Kernbrennstofffreiheit und der Abbaufolge in Anwesenheit von Kernbrennstoff unterschieden. Die Planung der Betreiberin sieht den Abbau der RDB-Einbauten und des RDB-Unterteils einschließlich Kernschemel auch unter der Randbedingung der Anwesenheit von Kernbrennstoff vor. Des Weiteren wurde eine Zerlegung beispielsweise auch im Reaktorbecken oder in Einbaulage als möglich dargestellt. Der Abbau der Gebäudestrukturen des Brennelement-Lagerbeckens und von noch erforderlichen Teilen des Reaktorbeckens kann laut der Planungsunterlagen erst nach Vorliegen der Kernbrennstofffreiheit erfolgen.

Gemäß den Planungen war es zunächst vorgesehen, die im Brennelement-Lagerbecken befindlichen Kernbrennstoffe im Laufe der Nachbetriebsphase in das Zwischenlager GKN-ZL zu verlegen. Das Konzept sah jedoch entsprechende Planungsmodifikationen vor. Diese betreffen u. a. die sichere Nasslagerung der Brennelemente im Lagerbecken und Abbau bei Anwesenheit von Kernbrennstoff. Dabei sollen die spezifischen sicherheitstechnischen Anforderungen, die mit der Anwesenheit von Brennelementen einhergehen, entsprechend weitergelten. Die Planungen stellten explizit fest, dass der Umfang abbaubarer Anlagenteile in Anwesenheit von Brennelementen oder Brennstäben bis zu deren Abtransport geringer ausfallen würden. Generell wurde in den Genehmigungsunterlagen eine Unterscheidung hinsichtlich der Abbaufolgen bei Anwesenheit von Kernbrennstoffen bzw. bei Kernbrennstofffreiheit zu Grunde gelegt.

Die 1. SAG wurde am 3. Februar 2017 erteilt und kurz darauf in Anspruch genommen /GKN 17/. Die 2. AG wurde Ende Dezember 2019 erteilt /GKN 19/. Laut Angaben der Betreiberin /GKN 17b/ befanden sich im Dezember 2017 noch 173 Brennelemente im Brennelement-Lagerbecken von GKN I. Die ermittelte Nachzerfallsleistung lag bei ca. 76,6 kW. Die letzten bestrahlten Brennelemente wurden Anfang 2018 mit 28 Quertransporten in den Nachbarblock GKN II verbracht. Seit April 2018 ist die Anlage GKN I kernbrennstofffrei.

Seit der Inanspruchnahme der 1. SAG (Februar 2017) wurden zahlreiche Arbeiten für den Abbau der Anlage durchgeführt, z. B. Trennung und Verschluss der LOOP-Leitungen, Demontgearbeiten und Dichtschweißen von Rohrleitungen an den Dampferzeugern, Freischneiden der Dampferzeuger, Demontage der Hauptkühlmittelpumpen und Demontgearbeiten im Reaktorhilfsanlagengebäude. Die Reaktorgrube wurde vorbereitet und für die Demontgearbeiten der aktivierten Bauteile mit Deionat gefüllt. Die Arbeitsschwerpunkte umfassten hauptsächlich:

- Einbau Hohlfaserfilteranlage,
- Zerlegen und Verpacken OKG,
- Zerlegen und Verpacken UKG,
- Abbau HKML Loop 3 und Loop 2.

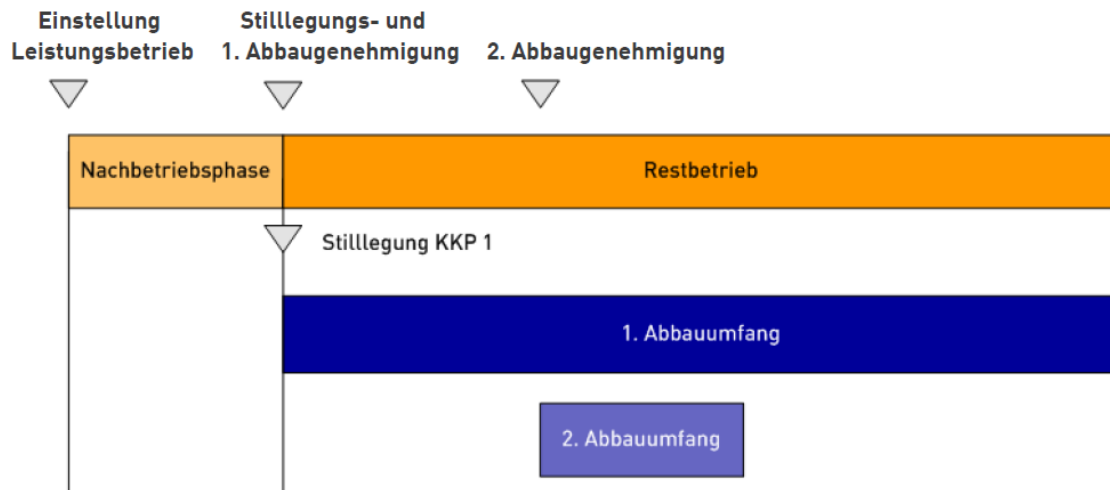
Im Jahr 2018 wurden die Kerneinbauten von GKN I unter Wasser zerlegt. Die Zerlegung erfolgte durch ein Konsortium der Firma Westinghouse und der Gesellschaft für Nuklearservice (GNS). Die Arbeitsmaßnahmen erfolgten unter Stilllegungsgenehmigung bei noch vorhandenen Brennelementen im Abklingbecken der Anlage /GKN 18/.

Zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der 1. SAG (Februar 2017) befanden sich noch Brennelemente in der Anlage. Tatsächlich wurden Stilllegungs- bzw. Abbaumaßnahmen, z. B. die Zerlegung von Kerneinbauten unter Wasser, durchgeführt, als noch Brennelemente im Abklingbecken der Anlage eingelagert waren.

#### **4.2.7 Kernkraftwerk Philippsburg 1**

Das KKP 1 (Siedewasserreaktor) ist Teil der Doppelblockanlage Philippsburg und verlor am 6. August 2011 mit Inkrafttreten des dreizehnten Gesetzes zur Änderung des AtG die Berechtigung zum Leistungsbetrieb. Die Betreiberin EnBW Kernkraft GmbH hat mit Schreiben vom 24. April 2013 einen Antrag auf Erteilung einer 1. SAG gemäß § 7 Abs. 3 AtG beim Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg gestellt /KKP 13/. Im Zuge der 1. SAG wurde als mögliche Ausführungsoption auch der Abbau mit Brennelementen oder Brennstäben in der Anlage beantragt. Ein wesentlicher Grund hierfür war, dass zum damaligen Zeitpunkt nicht mit Sicherheit von einer rechtzeitigen Bereitstellung der benötigten CASTOR®-Behälter ausgegangen werden konnte.

Die Planung der Betreiberin sieht als Methode den „Direkten Rückbau“ vor und wurde in den notwendigen Antragsunterlagen zur 1. SAG hinreichend beschrieben (siehe z. B. Sicherheitsbericht /KKP 14/). Der Abbau soll in mindestens zwei Abbauumfängen auf Basis eigenständiger Genehmigungen – 1. SAG, 2. AG und ggfs. weitere Abbaugenehmigungen – untergliedert werden (siehe Abb. 4.4). Zur Durchführung der geplanten Stilllegungs- und Abbaumaßnahmen ist ausgehend von praktischen Erfahrungen ein Zeitraum von ca. 15 Jahren vorgesehen /KKP 14a/.



**Abb. 4.4** Verfahrensablauf des KKP 1 /KKP 14a/

In den der GRS zur Verfügung stehenden Dokumenten zur 1. SAG wurden keine Meilensteine definiert /KKP 14/.

Der wesentliche Abbauumfang der 1. SAG umfasst /KKP 14/:

- RDB
- RDB-Einbauten
- Ortsfeste Einrichtungen zum Abbau von Anlagenteilen, die in die Anlage KKP 1 eingebracht werden
- Abbau von weiteren Anlagenteilen (Ausnahme: Biologischer Schild sowie Brennelementlagerbecken und Flutraum) sowie zugeordnete Hilfssysteme.
- Abbau von inneren Gebäudestrukturen

Die wesentliche Abbauumfang der 2. AG umfasst:

- Biologischer Schild
- Brennelementlagerbecken und Flutraum einschließlich Baustrukturen.

In den Planungsunterlagen zur 1. SAG stellte die Betreiberin klar, dass noch im Reaktorgebäude vorhandene Kernbrennstoffe – Brennelemente sowie Brennstäbe – im Verlauf der Nachbetriebsphase in das vorhandene Standortzwischenlager verbracht werden



sollen. Da die Betreiberin aber zum damaligen Zeitpunkt nicht garantieren konnte, dass zu Beginn der Restbetriebsphase Kernbrennstofffreiheit tatsächlich vorliegen würde, wurde für diesen Fall festgehalten, dass die für die sichere Lagerung und für den sicheren Umgang mit Kernbrennstoffen erforderlichen Systeme und Anlagenteile weiterbetrieben werden würden /KKP 14/. Obschon festgestellt wurde, dass der Großteil der Abbaumaßnahmen – insbesondere im Rahmen der 1. SAG – keine zwingenden Abhängigkeiten zu weiteren Abbaumaßnahmen aufweisen würde, wurde hinsichtlich der Abbaureihenfolge im Falle der Brennstofffreiheit folgende grobe Reihenfolge vorgesehen /KKP 14/:

- Abbau von Anlagenteilen in und im Umfeld der für den Abbau der RDB-Einbauten vorgesehenen Nass-, Trockenzerlege- und Verpackungsbereiche
- Einbringen, Aufstellen und Inbetriebnahme von Einrichtungen zum Abbau der RDB-Einbauten
- Abbau der RDB-Einbauten
- Einbringen, Aufstellen und Inbetriebnahme von Einrichtungen zum Abbau des RDB-Unterteils
- Abbau RDB-Unterteil,
- Einbringen, Aufstellen und Inbetriebnahme von Einrichtungen zum Abbau des Biologischen Schilts,
- Abbau Biologischer Schild,
- Abbau weiterer Gebäudestrukturen (z. B. Brennelementlagerbecken).

Im Rahmen des Sicherheitsberichts wird auch die Abbaufolge bei Anwesenheit von Kernbrennstoff thematisiert. Hier wird zunächst festgehalten, dass die zusätzlichen Anforderungen aus dem erweiterten Restbetrieb eingehalten und entsprechend benötigte Anlagenteile – insbesondere zur Einhaltung der relevanten Schutzziele – weiterbetrieben würden. Es wurde festgestellt, dass ein auf das Brennelementlagerbecken und die Lagerbeckenkühlsysteme rückwirkungsfreier Abbau von Anlagenteilen prinzipiell möglich sei. Auch der Abbau der RDB-Einbauten und des RDB-Unterteils wurde trotz der Anwesenheit von Kernbrennstoffen im Lagerbecken nicht ausgeschlossen, obschon festgehalten wird, dass in diesem Fall das Lagerbecken nicht für Zerlege- und Verpackungsmaßnahmen zur Verfügung stünde /KKP 14/.

In der Nachbetriebsphase wurde eine Primärkreis- bzw. eine Systemdekontamination durchgeführt. Die Brennelemente wurden im Januar 2012 aus dem Kern entfernt und in das Brennelementlagerbecken verbracht. Bis Ende 2016 wurden alle Brennelemente in CASTOR®-Behälter verbracht und im Standortzwischenlager eingelagert. Die vorhandenen Sonderbrennstäbe wurden 2016 mittels Quertransporten in das Lagerbecken von KKP 2 verbracht /KKP 17a/. Die 1. SAG wurde am 7. April 2017 erteilt /KKP 17/ und wird seit 18. April 2017 in Anspruch genommen. Der Bescheid zur 2. AG wurde am 30. Juli 2020 erteilt /KKP 20a/. Die Anlage war somit zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der 1. SAG kernbrennstofffrei.

#### **4.2.8 Kernkraftwerk Unterweser**

Das KKW (Druckwasserreaktor) ist eine Einzelblockanlage ohne externes Nasslager, dessen Berechtigung zum Leistungsbetrieb mit Inkrafttreten der 13. Novelle des AtG am 6. August 2011 erlosch. Die Abschaltung erfolgte bereits am 18. März 2011. Die Betreiberin E.ON Kernkraft GmbH<sup>8</sup> hat am 4. Mai 2012 einen Antrag nach 7 Abs. 3 AtG zur Stilllegung und zum Abbau der Anlage beim Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz gestellt /KKU 12/. Der Antrag wurde mit Schreiben vom 20. Dezember 2013 dahingehend erweitert, dass die Anlage, anders als zunächst geplant, zu Beginn des Abbaus voraussichtlich nicht frei von Brennelementen sein würde /KKU 13/. Diese Ergänzung wurde dadurch begründet, dass Stand 2013 davon ausgegangen wurde, dass die für die Aufbewahrung von Kernbrennstoffen im Standort-Zwischenlager bereits eingereichten Änderungsanträge zur existierenden § 6 AtG Genehmigung nicht rechtzeitig genehmigt werden würden.

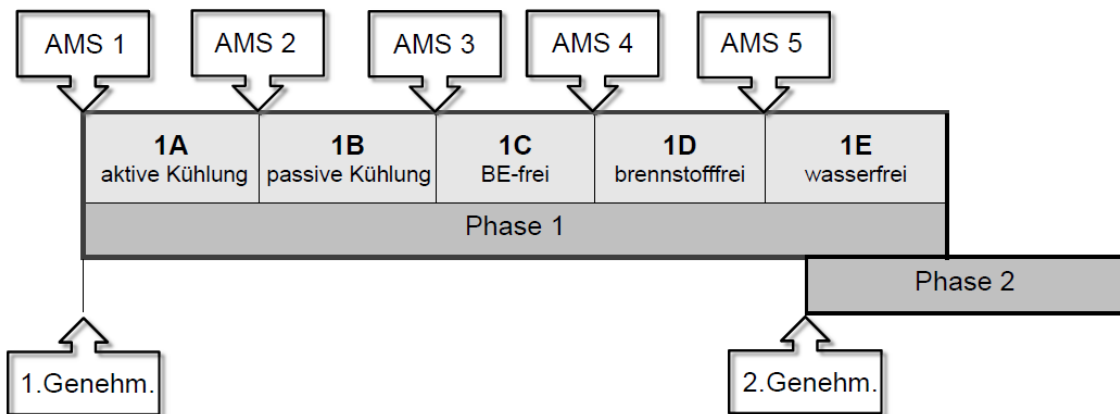
Die Planung der Betreiberin sieht als Strategie den „Direkten Rückbau“ vor und wurde so in den notwendigen Antragsunterlagen zur 1. SAG auch beschrieben (siehe zum Beispiel Sicherheitsbericht). Laut Stilllegungsplanung soll der Abbau in zwei Phasen auf Basis eigenständiger Genehmigungen – 1. SAG und 2. AG – erfolgen (siehe Abb. 4.5), wobei von der 2. AG frühestens mit Erreichen der Kernbrennstofffreiheit Gebrauch gemacht werden könne /KKU 18b/. Am Ende der zweiten Phase ist die Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung vorgesehen.

---

<sup>8</sup> Aktuelle Betreiberin: PreussenElektra GmbH

Die Planungen zur 1. SAG sahen für die erste Phase eine Unterteilung in fünf unterschiedliche Abschnitte vor, die durch die folgenden Anlagenmeilensteine (AMS) begrenzt sind:

- AMS 1: Inkrafttreten der 1. SAG
- AMS 2: Fehlende Notwendigkeit für eine aktive Beckenkühlung
- AMS 3: Brennelementfreiheit
- AMS 4: Kernbrennstofffreiheit
- AMS 5: Wasserfreiheit bzw. Wasser wird nur noch für Systeme zur Dekontamination benötigt



**Abb. 4.5** Phasenkonzept zur Durchführung der Abbaumaßnahmen am KKK /KKU 15/

Die identifizierten Meilensteine machen deutlich, dass die Anwesenheit von Brennelementen und/oder Einzelstäben für den Anlagenzustand entscheidend sind. Zudem stellt die Betreiberin im Rahmen der Genehmigungsunterlagen fest, dass im Falle vorhandener Brennelemente/Einzelstäbe neben den Schutzziele „Einschluss der radioaktiven Stoffe“ und „Begrenzung der Strahlenexposition“ auch die Schutzziele „Kontrolle der Reaktivität“ und „Kühlung der Brennelemente“ berücksichtigt werden und dass entsprechende Abbaumaßnahmen hinsichtlich dieser Schutzzielrückwirkungsfrei erfolgen.

Der wesentliche Abbauumfang im Rahmen der 1. SAG umfasst /KKU 15/:

- Abbau von radioaktiv kontaminierten Anlagenteilen im Kontrollbereich,
- Zerlegung und Verpackung des Reaktordruckbehälterdeckels,
- Zerlegung und Verpackung der Dampferzeuger des Druckhalters mit Abblase-tank sowie der Hauptkühlmittelpumpen
- Zerlegung und Verpackung von Rohrleitungen und Komponenten wie Speise-wasserleitungen, Frischdampfleitungen und Kühlwasserleitungen,
- Ausbau, Zerlegung und die Verpackung beweglicher und fester Reaktordruckbe-hältereinbauten,
- Abbau von Anlagenteilen außerhalb des Kontrollbereiches, die der atomrechtli-chen Genehmigung unterliegen,
- Abbau von kontaminierten Betonstrukturen und deren Entsorgung,
- Freigabe gemäß § 29 StrlSchV von aktivierten oder kontaminierten radioaktiven Stoffen, die beim Abbau oder Restbetrieb anfallen
- Herausgabe von Materialien aus dem Überwachungsbereich,
- Abgabe von radioaktiven Stoffen an deren Genehmigungsinhaber

Für die im Rahmen der 1. SAG genehmigten Maßnahmen wurde in den der GRS vorlie-genden Genehmigungsunterlagen keine konkreten Aussagen über die Abbaureihen-folge getroffen. Das zuständige Ministerium bezog in der 1. SAG aufgrund einer Einwen-dung im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung u.a. zu dem Aspekt der fehlenden Abbaureihenfolge Stellung. Generell wurde festgehalten, dass eine Festlegung der Abbaureihenfolge zu einer Einschränkung der Flexibilität des Abbaus führe, aus der neben Zeitverzögerungen auch erhöhte Strahlenexpositionen des Personals resultieren könnten. Aus behördlicher Sicht sei es wesentlich, dass die Einhaltung des Schutzziels des Einschusses der radioaktiven Stoffe gewährleistet werden würde und dass die vorgesehene Abbaureihenfolge zielführend sei. Zudem sei festzustellen, dass die Betei-ligung der Behörde und Gutachtern an den unterschiedlichen Abbaumaßnahmen (Än-derung, Stillsetzung oder Demontage/Abbau im eigentlichen Sinne) durch das Betriebs-handbuch geregelt ist, siehe z. B. /GRS 20/. Auch die Einwendung, dass ein Abbaubeginn mit Brennelementen nicht genehmigungsfähig sei wurde bezugnehmend

auf den Stilllegungsleitfaden zurückgewiesen. Nach heutigem Kenntnisstand sind diese Planungsaspekte inhaltlich weiterhin aktuell, obschon eine von der Betreiberin erstellte Beschreibung der Abbaureihenfolge vom 6. Februar 2018 folgende grobe Reihenfolge aufführt /KKU 18c/:

- Beladen der CASTOR®-Behälter mit Brennelementen/Einzelstäben und anschließende Überführung in das Standortzwischenlager, sowie Freiräumen des Ringraumes, um dort Kapazitäten zum Zwecke der Reststoffbehandlung zu schaffen.
- Demontage der Brennelement-Lagerstelle und der Lademaschine sowie Demontage von RDB-Einbauten (Ausbau, Zerlegung und Verpackung soll unter Wasser erfolgen)
- Demontage der vier Dampferzeuger, der Druckspeicher und der vier Hauptkühlmittelpumpen

Die 1. SAG wurde am 5. Februar 2018 erteilt /KKU 18/ und wird seit 19. Februar 2018 in Anspruch genommen. Der Genehmigungsantrag zur 2. AG befindet sich derzeit (Stand: 25. November 2020) noch im laufenden Verfahren. Zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der 1. SAG befanden sich definitiv noch Brennelemente und Einzelstäbe in der Anlage, obschon der genaue Umfang auf Basis, der der GRS vorliegenden Unterlagen nicht ersichtlich ist. Eine obere Abschätzung erlaubt das Inventar zum Stichtag 31. Dezember 2017: Zu diesem Zeitpunkt befanden sich noch 52 Brennelemente, 57 defekte Einzelbrennstäbe sowie 30 intakte Einzelbrennstäbe im Nasslager.

Die folgende zeitliche Auflistung gibt einen kurzen Einblick über die Maßnahmen sowie erreichte Meilensteine:

- **19.02.2018: Erreichen des AMS 1 durch Inanspruchnahme der 1. SAG.**
- (1a) Durchführung von Demontageschritten im Ringraum seit Februar 2018. Diese begannen im Quadranten 4 und weiteten sich im Folgenden auf die weiteren Quadranten aus. Mit Stand August 2019 waren diese Arbeiten noch nicht abgeschlossen
- **25.02.2018: Erreichen des AMS 3 (Brennelementfreiheit) nach Ausschleusen des letzten mit Brennelementen gefüllten CASTOR® Behälters**
- Im Jahr 2018 wurde der Primärkreislauf vom RDB getrennt, Loopstützen des RDB wurden verschlossen und der Dichtstütz des Primärkreislaufens geschlossen /KKU 18a/.
- **21.02.2019: Erreichen des AMS 4 (Kernbrennstofffreiheit) nach Ausschleusen des letzten mit Einzel- und Sonderbrennstäben gefüllten CASTOR® Behälters (87 Einzelstäbe).**
- (2a) Durchführung von Abbau- und Entsorgungsmaßnahmen im Rahmen des Abbaus von RDB-Einbauten seit 3. Quartal 2019/ 1.Quartal 2020. Vorbereitende Arbeiten wurden im August 2019 aufgenommen. Mit Stand September 2020 wurden diese Arbeiten nicht abgeschlossen.

Die Brennelementfreiheit wurde nur eine Woche nach Inanspruchnahme der 1. SAG erreicht, die Kernbrennstofffreiheit erfolgte etwa ein Jahr später. Auf Basis der vorliegenden Informationen erfolgten aus Sicht der GRS keine signifikanten Abbaumaßnahmen während sich noch Brennelementen und/oder Einzelstäbe in der Anlage befanden. Der Schwerpunkt der Tätigkeiten lag auf ersten Abbaumaßnahmen zur Schaffung von Kapazitäten im Sinne der Reststofflagerung und -bearbeitung sowie Stillsetzungsarbeiten (DABN), z. B. als vorbereitende Maßnahmen zum Abbau von RDB-Einbauten.

### **4.3 Stilllegung und Abbau von Kernkraftwerken mit Einstellung des Leistungsbetriebs nach dem 30. Juni 2015**

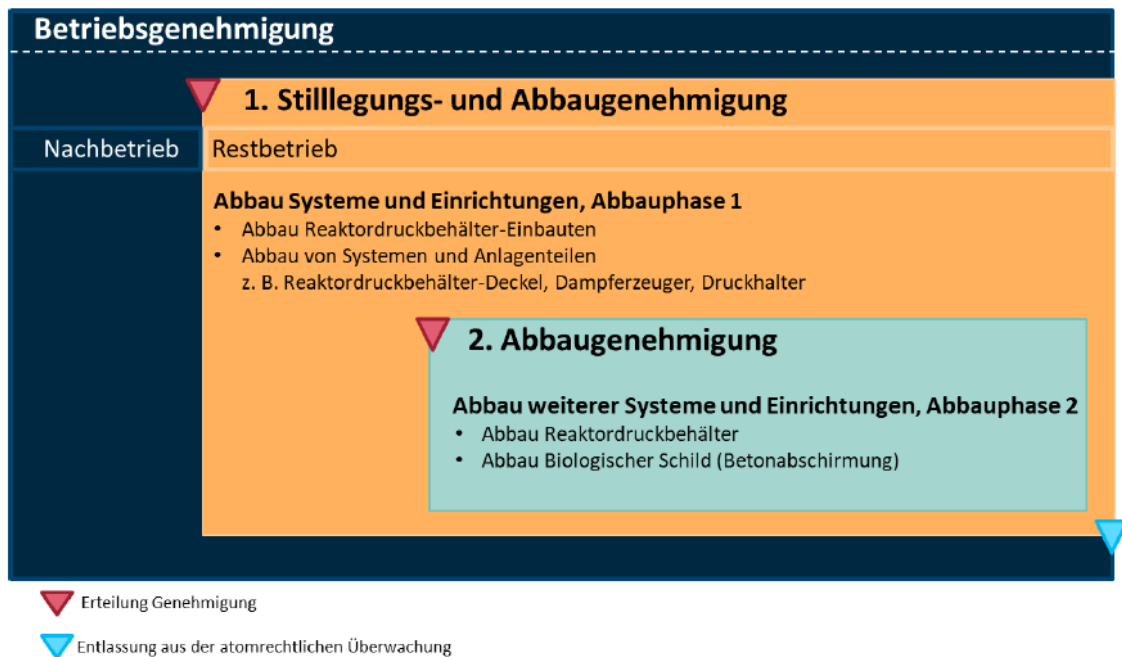
#### **4.3.1 Kernkraftwerk Brokdorf**

Das KBR (Druckwasserreaktor) ist eine Einzelblockanlage ohne externes Nasslager und wird spätestens zum 31. Dezember 2021 den Leistungsbetrieb einstellen. Die Betreiberin PreussenElektra GmbH hat mit Schreiben vom 1. Dezember 2017 einen Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG zur Stilllegung und zum Abbau der Anlage in der ersten Abbauphase beim zuständigen Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein gestellt /KBR 17/. Der Antrag wurde mit Schreiben vom 24. März 2020 ergänzt /KBR 20/. Die PreussenElektra GmbH beabsichtigt, das KBR nach der endgültigen Abschaltung unverzüglich stillzulegen und abzubauen. Der Abbau soll in zwei Abbauphasen erfolgen, für die jeweils gesonderte atomrechtliche Genehmigungen nach § 7 Abs. 3 AtG beantragt werden (siehe Abb. 4.6). Die Antragstellerin geht davon aus, dass zu Beginn der Abbauarbeiten noch nicht alle Brennelemente und Sonderbrennstäbe aus der Anlage entfernt sind /KBR 20a/. Die Brennstofffreiheit wird voraussichtlich im Jahr 2026 erreicht /KBR 17a/.

Die Betreiberin sieht in den Genehmigungsunterlagen eine Untergliederung der Abbauphase 1 gemäß der folgenden Anlagenzuständen vor:

- Abschnitt 1A: Im Brennelement-Lagerbecken befinden sich sowohl bestrahlte Brennelemente als auch Sonderbrennstäbe.
- Abschnitt 1B: Es sind nur noch Sonderbrennstäbe im Brennelement-Lagerbecken vorhanden. Sie erfordern eine angemessene Wasserüberdeckung zur Abschirmung der ionisierenden Strahlung.
- Abschnitt 1C: Die Anlage ist frei von Brennelementen und Sonderbrennstäben.

In der Abbauphase 2 befinden sich in der Anlage keine Brennelemente und Sonderbrennstäbe mehr.



**Abb. 4.6** Vorgesehener genehmigungstechnischer Ablauf der Stilllegung des KBR /KBR 20a/

In der SAG wird mit Verweis auf den Sicherheitsbericht /KBR 20b/ folgende geplante Abbaureihenfolge im Reaktorgebäude-Innenraum aufgeführt:

- Abbau, Zerlegung und Verpackung der Reaktordruckbehälter-Einbauten
- Zerlegung und Verpackung des Reaktordruckbehälter-Deckels
- Abbau und Verpackung der Dampferzeuger und weiterer Großkomponenten
- Zerlegung und Verpackung von Rohrleitungen und Komponenten wie z. B. Speisewasserleitungen, Frischdampfleitungen, Druckspeicher
- Abbau von weiteren radioaktiv kontaminierten/aktivierten Anlagenteilen im Kontrollbereich
- Abbau von Anlagenteilen außerhalb des Kontrollbereichs, die der atomrechtlichen Überwachung unterliegen
- Abbau von kontaminierten/aktivierten Betonstrukturen und deren Entsorgung sowie ggf. der Einbau statischer Ersatzmaßnahmen
- Dekontamination von kontaminierten Betonstrukturen und Gebäudeteilen
- Behandlung von radioaktiven Reststoffen und Abfällen



- Schaffung von horizontalen und vertikalen Transportwegen wie z. B. Transportöffnungen im Reaktorsicherheitsbehälter

Die Abbauphase 2 läuft zeitlich überlappend zu Abbauphase 1 und sie umfasst:

- den Abbau des RDBs
- den Abbau des Biologischen Schildes

Es wird festgestellt, dass solange der Abtransport des Kernbrennstoffes nicht abgeschlossen ist, der Abbau rückwirkungsfrei auf den Kernbrennstoff (Schutzziele „Unterkritikalität“ und „Abfuhr der Nachzerfallswärme“) erfolgen soll.

Derzeit steht die Erteilung der Genehmigung durch die zuständige Behörde noch aus.

#### **4.3.2 Kernkraftwerk Emsland**

Das KKE (Druckwasserreaktor) ist eine Einzelbockanlage ohne externes Nasslager und wird spätestens zum 31. Dezember 2022 den Leistungsbetrieb einstellen. Die Betreiberin Kernkraftwerke Lippe-Ems (KLE) GmbH hat mit Schreiben vom 22. Dezember 2016 einen Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung und Abbau der Anlage gestellt /KKE 16/. Die damit beantragten Maßnahmen sollen dabei alle Maßnahmen umfassen, die erforderlich sind, um eine Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung zu erreichen. Die Antragstellerin geht davon aus, dass zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der Genehmigung noch Kernbrennstoff im KKE vorhanden sein wird.

Der GRS liegen derzeit keine den Antrag ergänzende Unterlagen vor, aus dem wesentliche Planungsaspekte ersichtlich wären. Die Betreiberin schreibt in dem Genehmigungsantrag, dass die bisherige Gestattung zum Umgang mit Kernbrennstoffen aufrechterhalten werden. Dabei soll der Lagerbeckenbetrieb aber auf die Anlagenteile beschränkt werden, die zur Einhaltung der Schutzziele während der Stilllegung und des Abbaus erforderlich sind. Die Antragstellerin stellt in Aussicht, dass für Abbaumaßnahmen in Bereichen, in denen der Restbetrieb von Anlagenteilen für den Umgang mit Kernbrennstoffen noch notwendig ist, der Nachweis der Rückwirkungsfreiheit der Abbaumaßnahmen vor dem Abbau erbracht wird.

Derzeit steht die Erteilung der Genehmigung durch die zuständige Behörde noch aus.

#### **4.3.3 Kernkraftwerk Grohnde**

Das KWG (Druckwasserreaktor) ist eine Einzelblockanlage ohne externes Nasslager und wird spätestens zum 31. Dezember 2021 den Leistungsbetrieb einstellen. Die Betreiberin PreussenElektra GmbH hat mit Schreiben vom 26. Oktober 2017 einen Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG zur Stilllegung und zum Abbau der Anlage in der ersten Abbauphase gestellt /KWG 17/. Aus der Antragsunterlage ist ersichtlich, dass die Betreiberin eine zweite Abbaugenehmigung zu beantragen beabsichtigt. Die Antragstellerin geht davon aus, zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der Genehmigung noch Kernbrennstoff im KWG vorhanden sein wird.

Der GRS liegen derzeit keine den Antrag ergänzende Unterlagen vor, aus dem wesentliche Planungsaspekte ersichtlich wären. Die Betreiberin schreibt in dem Genehmigungsantrag, dass in der ersten Abbauphase u. a. neben nicht kontaminierten auch kontaminierte und aktivierte Anlagenteile in Kontrollbereichen sowie andere atomrechtlich genehmigte Anlagenteile und Gebäude bzw. Gebäudeteile zum Abbauumfang gehören sollen. Dies schließt auch die RDB-Einbauten ein. Die zweite Abbauphase soll erst mit Kernbrennstofffreiheit erfolgen. Durch die zugehörige Abbaugenehmigung soll u. a. der Abbau des RDB, des biologischen Schildes und weiterer aktivierter Anlagenteile sowie der Abbau im Bereich um das Brennelement-Lagerbecken, den Abstell- und den Reaktor-Raum erfolgen. Es wird festgestellt, dass solange der Abtransport des Kernbrennstoffes nicht abgeschlossen ist, der Abbau rückwirkungsfrei auf den Kernbrennstoff (Schutzziele „Unterkritikalität“ und „Abfuhr der Nachzerfallswärme“) erfolgen soll. Eine Konkretisierung soll in den Antragsunterlagen erfolgen.

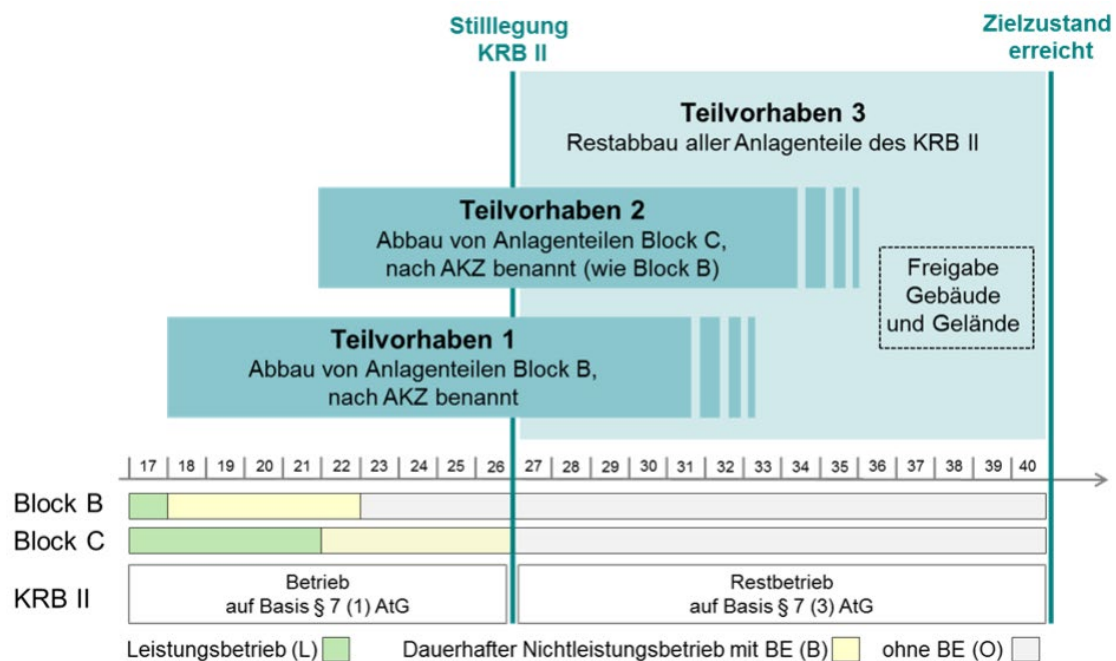
Derzeit steht die Erteilung der Genehmigung durch die zuständige Behörde noch aus.

#### **4.3.4 Kernkraftwerk Gundremmingen**

Das KRB II besteht aus zwei fast baugleichen Reaktorblöcken (KRB II-B und KRB II-C) mit Siedewasserreaktoren. Aufgrund der 13. Novelle des AtG wurde der Block B des KRB II am 31. Dezember 2017 endgültig abgeschaltet. Block C des KRB II wird spätestens zum 31. Dezember 2021 endgültig abgeschaltet. Die Antragstellerinnen – die RWE Power AG, die PreussenElektra GmbH und die Kernkraftwerk Gundremmingen GmbH – beabsichtigen mit den insgesamt geplanten Maßnahmen, das KRB II im direkten Rückbau in drei Teilvorhaben (Gesamtvorhaben) abzubauen, für die jeweils ein-

zelne Genehmigungsanträge nach § 7 Abs. 3 AtG gestellt werden. Die allen Teilvorhaben zugrundeliegenden einheitlichen Verfahrensregelungen sind Gegenstand der 1. SAG. Das gesamte Vorhaben wird etwa 20 bis 30 Jahre in Anspruch nehmen. Der Zielzustand soll etwa um 2040 erreicht sein.

Mit Schreiben vom 11. Dezember 2014 wurde eine Genehmigung nach § 7 Abs. 3 AtG zum „Abbau von Anlagenteilen des Blocks B des KRB II“ beim Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) beantragt /KRB 14/. Eine erste Genehmigung zur Stilllegung und zum Abbau des KRB II-B wurde am 19. März 2019 erteilt /KRB 19/, Block B des KRB II wird seitdem unter Nutzung dieser 1. SAG abgebaut. Mit Schreiben vom 31. Juli 2019 stellten die Genehmigungsinhaberinnen einen analogen Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Abbau von Anlagenteilen des Blocks C des KRB II /KRB 19a/.



**Abb. 4.7** Schematische Darstellung des Abbauprojekts (Zeitangaben geschätzt) /KRB 16/

Der Abbauumfang des Teilvorhabens 1 wird mit der 1. SAG genehmigt. Es sind im Rahmen des Teilvorhabens 1 nur solche Abbauarbeiten vorgesehen, die sich auf die Bereiche des Blocks B beschränken und bei denen unzulässige Rückwirkungen auf die für die Lagerung und Handhabung der Brennelemente entscheidenden Schutzziele Unterkritikalität und Abfuhr der Nachzerfallswärme im Block B wie auch auf den noch bis Ende 2021 andauernden Leistungsbetrieb des Blocks C ausgeschlossen werden können.

Laut der Planungsunterlagen zur 1. SAG soll mit dem Abbau von Anlagenteilen des Blocks B baldmöglichst nach Erteilung einer vollziehbaren Genehmigung begonnen werden, unabhängig davon, ob sich dann noch Kernbrennstoff im Brennelement-Lagerbecken befindet. Bei den Arbeiten wird sichergestellt, dass keine unzulässigen Rückwirkungen auf die Brennelemente entstehen können. Darüber hinaus werden alle denkbaren Ereignisse und Störfälle im Genehmigungsverfahren betrachtet und geprüft.

Nach endgültiger Einstellung des Leistungsbetriebs des Blocks C und Entladung aller Brennelemente aus dem Reaktorkern in das Brennelement-Lagerbecken sind im Teilvorhaben 2 – analog zum Teilvorhaben 1 im Block B – nur solche Abbauarbeiten vorgesehen, die sich auf die Bereiche des Blocks C beschränken und bei denen unzulässige Rückwirkungen auf die für die Lagerung und Handhabung der Brennelemente entscheidenden Schutzziele Unterkritikalität und Abfuhr der Nachzerfallswärme ausgeschlossen werden können. Das Teilvorhaben 2 soll mit einem zum Teilvorhaben 1 vergleichbaren Umfang ausgewählter und konkret benannter Systeme und Anlagenteile des Blocks C Gegenstand der 2. SAG sein.

Parallel zu den Teilvorhaben 1 und 2 erfolgt der Abtransport der Brennelemente aus den Brennelement-Lagerbecken in CASTOR®-Behältern in das Standort-Zwischenlager. Danach wird die Anlage KRB II kernbrennstofffrei sein.

Der Block B befand sich von Ende 2017 bis zur Inanspruchnahme der 1. SAG im dauerhaften Nichtleistungsbetrieb. In dieser Zeit haben erste Vorbereitungen für den Abbau von Anlagenteilen begonnen. Im Maschinenhaus von Block B wurden Abschirm- und Setzsteinwände demontiert, die nicht fest mit der Anlage verbunden sind und seit der Abschaltung des Blocks keine Funktion mehr erfüllen. Im Jahr 2019 wurden nicht wesentliche Änderungen an der Anlage beantragt, die mit Optimierungsmaßnahmen zur Sicherstellung der Rückwirkungsfreiheit von Abbaumaßnahmen in Block B auf den Betrieb Block C verbunden waren.

Für Block C steht die Erteilung der Genehmigung auf Abbau von Anlagenteilen des Blocks C des KRB II durch die zuständige Behörde derzeit noch aus. Der GRS liegen derzeit keine anderen ergänzenden Unterlagen vor, aus dem wesentliche Planungsaspekte ersichtlich wären.

#### 4.3.5 Kernkraftwerk Isar 2

Nach dem AtG endet die Berechtigung zum Leistungsbetrieb des KKI 2 spätestens zum 31. Dezember 2022. Die PreussenElektra GmbH hat am 1. Juli 2019 den Antrag auf Stilllegung und Abbau (erste Abbauphase) KKI 2 beim Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz eingereicht /KKI 19/. Das Vorhaben soll in zwei Phasen auf der Grundlage von zwei atomrechtlichen Genehmigungen durchgeführt werden.

Die erste Abbauphase umfasst den Abbau von nicht kontaminierten, kontaminierten und aktivierten Anlagenteilen, wie z. B. die RDB-Einbauten sowie den RDB-Deckel. Für die zweite Abbauphase ist eine eigenständige Genehmigung (2. AG) vorgesehen. Die derzeitigen Planungen sehen vor, dass vor entsprechender Inanspruchnahme der 2. AG Kernbrennstofffreiheit vorliegt. Der Abbauumfang der 2. AG soll den Abbau der Anlage und noch vorhandener Anlagenteile (insbesondere Abbau des RDB und des biologischen Schilts) vorsehen, um die Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung zu ermöglichen /KKI 19/.

Die Antragstellerin geht fest davon aus, dass zum Zeitpunkt der Erteilung der 1. SAG noch Kernbrennstoff (Brennelemente und Sonderbrennstäbe) in der Anlage vorhanden sein wird. Die Brennstofffreiheit wird erst im Jahr 2027 erreicht /KKI 19a/. Im Bericht zur frühen Öffentlichkeitsbeteiligung stellte die Betreiberin fest, dass die Abbauarbeiten zeitnah nach Erteilung der 1. SAG beginnen sollen. Bei den Arbeiten wird sichergestellt, dass keine unzulässigen Rückwirkungen auf die Brennelemente entstehen können /KKI 19a/. Darüber hinaus werden alle denkbaren Ereignisse und Störfälle im Genehmigungsverfahren betrachtet und geprüft. Die Betreiberin ist der Meinung, dass sich die Abbauarbeiten im Rahmen der 1. SAG grundsätzlich nicht von Arbeiten unterscheiden, die z.B. auch jetzt bereits während der Revision durchgeführt werden, da auch dort Teile außer Betrieb genommen und z. T. für Wartungszwecke demontiert werden.

Der GRS liegen derzeit keine anderen ergänzenden Unterlagen vor, aus dem wesentliche Planungsaspekte ersichtlich wären.

Derzeit steht die Erteilung der Genehmigung durch die zuständige Behörde noch aus.

#### 4.3.6 Kernkraftwerk Neckarwestheim 2

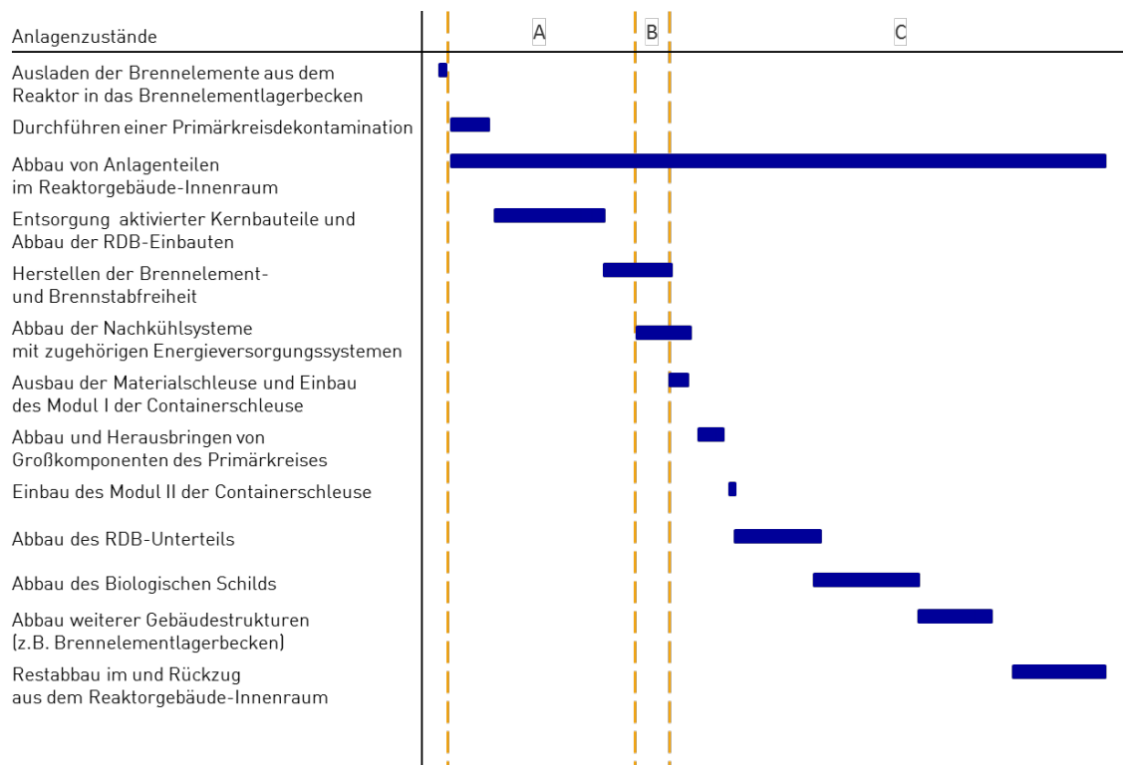
Das GKN II verliert seine Berechtigung zum Leistungsbetrieb, wenn die gesetzlich zugewiesene Elektrizitätsmenge erreicht wurde, jedoch spätestens mit Ablauf des 31. Dezember 2022. Mit Schreiben vom 18. Juli 2016 hat die EnBW Kernkraft GmbH (EnKK) den Antrag auf Erteilung einer Genehmigung der Stilllegung und des Abbaus (SAG) des GKN II nach § 7 Abs. 3 AtG gestellt /GKN 16/. Der Antrag vom 18. Juli 2016 wurde mit Schreiben vom 15. Mai 2017 aktualisiert /GKN 17c/. Für die insgesamt geplanten Maßnahmen zur Stilllegung und zum Abbau des GKN II ist ein Zeitraum von ca. 10-15 Jahren vorgesehen.

Das Abbaukonzept sieht den direkten Abbau von Anlagenteilen des GKN II vor. Die Antragstellerin geht fest davon aus, dass zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der Genehmigung noch Kernbrennstoff im GKN II vorhanden sein wird. Gegenwärtig gebe es keine belastbaren zeitlichen Angaben, wann der Kernbrennstoff in das Standort-Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente überführt werden kann /GKN 18a/.

Die Betreiberin sieht in den Genehmigungsunterlagen eine Untergliederung der Abbau-phase gemäß der folgenden Anlagenzuständen vor:

- Anlagenzustand A: Aktiv zu kühlende Brennelemente und Brennstäbe im Brennelementlagerbecken vorhanden
- Anlagenzustand B: Keine aktiv zu kühlende Brennelemente und Brennstäbe im Brennelementlagerbecken vorhanden
- Anlagenzustand C: Keine Brennelemente und Brennstäbe in der Anlage GKN II vorhanden

Eine mögliche Abbaufolge für Maßnahmen im Reaktorgebäudeinnenraum einschließlich erforderlicher Änderungen der Anlage GKN II ist im Sicherheitsbericht dargestellt (siehe auch Abb. 4.8) /GKN 18a/. Der Abbau von Anlagenteilen erfolgt demnach in den Anlagenzuständen A rückwirkungsfrei auf die Lagerung der Brennelemente und deren Umgang. Aus den Planungen geht hervor, dass vor dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit eine Durchführung der Primärkreisdekontamination von Systemen des Primärkreises sowie Entsorgung der aktivierten Kernbauteile und Abbau der RDB-Einbauten vorgesehen ist.



**Abb. 4.8** Mögliche Abbaufolge im Reaktorgebäude-Innenraum /GKN 18a/

Die Antragstellerin stellte fest, dass andere Vorgehensweisen im Abbau von Anlagenteilen zu einer anderen Abbaufolge führen können. Des Weiteren kann z. B. der Abbau des RDB-Unterteils in Einbaulage auch bei Anwesenheit von Brennelementen und Brennstäben erfolgen.

#### 4.3.7 Kernkraftwerk Philippsburg 2

Das KKP 2 (Druckwasserreaktor) bildet zusammen mit KKP 1 (Siedewasserreaktor) die Doppelblockanlage Philippsburg. KKP 2 wurde planmäßig zum 31. Dezember 2019 abgeschaltet. Die Betreiberin EnBW Kernkraft GmbH hat mit Schreiben vom 18. Juli 2016 einen Antrag auf Erteilung einer Stilllegungs- und Abbaugenehmigung (SAG) für das KKP 2 gemäß § 7 Abs. 3 AtG beim Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg gestellt /KKP 16/ und diesen mit Schreiben vom 15. Mai 2017 aktualisiert /KKP 17b/. Die Betreiberin beabsichtigt, die geplanten Maßnahmen zur Stilllegung und zum Abbau im Rahmen einer einzigen Stilllegungs- und Abbaugenehmigung nach § 7 Abs. 3 Satz 1 AtG umzusetzen, schließt aber grundsätzlich nicht aus, dass zur Umsetzung auch mehr als eine Genehmigung benötigt werden könnte. Die Betreiberin nimmt im Rahmen der Antragsunterlagen an,

dass sich zum Zeitpunkt der Stilllegung noch Brennelemente und Brennstäbe in der Anlage befinden werden. Diese Annahme begründet sich auch dadurch, dass zum einen die Genehmigung für die Einlagerung von Köchern (Sonderbrennstäbe) in das Standort-zwischenlager vermutlich nicht rechtzeitig vorliegen wird, zum anderen wird davon ausgegangen, dass die Genehmigungserteilung zeitnah zur Abschaltung erfolgen wird, so dass eine aktive Kühlung der Brennelemente zwingend notwendig sein wird.

Auf Basis dieser Randbedingung sieht die Betreiberin in den Genehmigungsunterlagen eine Untergliederung der Abbauphase gemäß der folgenden Anlagenzuständen vor /KKP 18/:

- Anlagenzustand A: Aktiv zu kühlende Brennelemente im Brennelementlagerbecken
- Anlagenzustand B: Keine aktiv zu kühlenden Brennelemente und Brennstäbe im Brennelementlagerbecken vorhanden
- Anlagenzustand C: Keine Brennelemente und Brennstäbe in der Anlage KKP 2 vorhanden.

Die Betreiberin hält fest, dass eine Entfernung der Brennelemente und Brennstäbe möglichst früh erfolgen soll. Der Abbau von Anlagenteilen erfolge in den Anlagenzuständen A und B rückwirkungsfrei auf die Lagerung der Brennelemente und deren Umgang. In der SAG wird mit Verweis auf den Sicherheitsbericht und einen Erläuterungsbericht folgende geplante Abbaureihenfolge im Reaktorgebäude-Innenraum aufgeführt:

- Ausladen der Brennelemente aus dem Reaktor in das Brennelementlagerbecken
- Durchführung einer Primärkreisdekontamination von Systemen des Primärkreises
- Entsorgung der aktivierten Kernbauteile (z. B. Steuerelemente) und Abbau der RDB Einbauten
- Herstellen der Brennelement- und Brennstabfreiheit
- Abbau der Nachkühlsysteme mit zugehörigen Energieversorgungssystemen
- Ausbau der Materialschleuse und Einbau des Moduls I der Containerschleuse am Reaktorgebäude



- Abbau und Herausbringen von Großkomponenten des Primärkreises (z. B. Dampferzeuger) im Ganzen aus dem Gebäude
- Einbau des Moduls II der Containerschleuse
- Abbau des RDB-Unterteils
- Abbau des Biologischen Schilds
- Abbau weiterer Gebäudestrukturen (z. B. Brennelement-Lagerbecken)
- Restabbau im und Rückzug aus dem Reaktor-Innengebäude.

Hinsichtlich des RDB hält die SAG explizit fest, dass der Abbau der RDB-Einbauten auch bei Anwesenheit von Brennelementen und/oder Brennstäben stattfinden kann, dass der Abbau des RDB-Unterteils aber erst nach erfolgter Kernbrennstofffreiheit erfolgen wird. Im Sicherheitsbericht macht die Antragstellerin Angaben zur Rückwirkungsfreiheit auf die sichere Lagerung der Brennelemente für den Fall, dass sich Brennelemente in der Anlage befinden. Zudem werden im Betriebsreglement Regelungen zur Sicherstellung der Rückwirkungsfreiheit festgelegt. Zudem werden der Aufsichtsbehörde Abbauplanungen zur Prüfung vorgelegt.

Am 17. Dezember 2019 erteilte die zuständige Behörde den Bescheid zur SAG /KKP 19/. Die Betreiberin gab bekannt, dass die SAG seit 30. Januar 2020 in Anspruch genommen wird. Erst kurz zuvor – Anfang Januar 2020 – wurden noch im Rahmen des Nachbetriebs die Brennelemente aus dem RDB entladen und in das Brennelement-Lagerbecken verbracht. Laut dem Bericht über die Entsorgung von radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen aus Baden-Württemberg (Stand: Mai 2020) befanden sich zum Stichtag 31. Dezember 2019 541 Brennelemente im Lagerbecken. Nach der Entladung des Reaktorkerns Anfang Januar 2020 befanden sich insgesamt 734 Brennelemente im Lagerbecken /KKP 20/. Zudem befanden sich dort auch einzelne Sonderbrennstäbe – sowohl aus dem Betrieb von KKP 2 als auch von KKP 1. Wann die Brennelementefreiheit bzw. Kernbrennstofffreiheit erreicht werden kann, ist derzeit unklar.

## **5            Stellungnahme der Reaktor-Sicherheitskommission zu den Anforderungen bei einer passiven Kühlung der Brennelemente im Lagerbecken**

Zum Zeitpunkt der Erteilung der Stilllegungsgenehmigung befinden sich im Regelfall noch Brennelemente oder Brennstäbe im Brennelement-Lagerbecken des zurückzubauenden Kernkraftwerks. Die bisherigen spezifischen sicherheitstechnischen Anforderungen an die Sicherstellung der Unterkritikalität und Kühlung der Brennelemente gelten somit bis zur vollständigen Entladung des Brennelement-Lagerbeckens weiter.

Sind während des Abbaus der Anlage Instandsetzungen, Änderungen oder (dauerhafte) Außerbetriebnahmen im Bereich des nuklearen Nachkühlsystems zur Brennelementekühlung, des nuklearen Zwischenkühlsystems und des nuklearen Nebenkühlwassersystems vorgesehen, sind diese Maßnahmen entsprechend dem Abbaufortschritt im Rahmen der Vorgaben der betrieblichen Regelungen (z. B. Betriebshandbuch) zu beantragen und umzusetzen.

Bei den Genehmigungsverfahren, in deren Ergebnis im Jahr 2017 die Stilllegungs- und Abbaugenehmigungen erteilt worden waren, wurde geprüft, inwieweit die Lagerbeckenkühlsysteme zur Nachzerfallswärmeabfuhr während der Stilllegung weiterbetrieben werden müssen.

Die Auswertung ergab, dass in den Verfahren zu einigen kerntechnischen Anlagen keine Außerbetriebnahme der Lagerbeckenkühlung bei zeitgleicher Anwesenheit von Brennelementen im Lagerbecken geplant oder beantragt wurde. Bei einer dieser Anlagen werden die Anlagenzustände explizit unterschieden, in denen der im Lagerbecken befindliche Kernbrennstoff einer aktiven Kühlung bedarf, bzw. eine passive Kühlung (Konvektion und Wärmestrahlung) ausreichend ist. Ob in diesem Zusammenhang eine Außerbetriebnahme der Lagerbeckenkühlung für den Anlagenzustand 2 geplant ist, konnte nicht abschließend geklärt werden.

Im Zuge der Untersuchungen wurde näher analysiert, welche Systeme für die Sicherstellung der Kühlung der noch vorhandenen Brennelemente im Lagerbecken nach dem Übergang in die Stilllegung erforderlich sind. Neben Kühl- und Nachspeisesystemen sollten dabei auch Systeme wie Lüftungsanlagen, Abschlussarmaturen und die Notstromversorgung betrachtet werden. Zu berücksichtigen sind dabei auch Gesichtspunkte der

Robustheitsbetrachtungen, von Notstandsfällen und des auslegungsüberschreitenden Bereichs.

Durch die passive Kühlung ist die Wassertemperatur im Brennelement-Lagerbecken höher als bei aktiver Kühlung. Im Falle der passiven Kühlung ist die Verdunstung erhöht, ebenso die Luftfeuchtigkeit in der Kuppel des Reaktorgebäudes, wobei sich diese durch eine aktive Lüftung wieder reduziert werden kann. Durch die aktive Lüftung erhöht sich aufgrund der durchgehenden Reduzierung der Luftfeuchtigkeit die Verdunstung. Durch die Verdunstung verringert sich die Wassersäule oberhalb der Brennelemente und mindert damit die Abschirmung gegen Direktstrahlung, sofern der Wasserverlust nicht ausgeglichen wird.

Darüber hinaus wurde untersucht, ob Störfallszenarien bei passiver Kühlung anders zu bewerten sind als mit aktiver Kühlung oder ob es andere Störfälle geben könnte. Als schwerster Störfall wurde der Absturz eines CASTOR®-Behälters auf die Trennwand zwischen seiner Position (zur Beladung) und dem Brennelement-Lagerbecken beschrieben. Dies würde den Wasserstand unmittelbar verringern.

Die RSK wurde im Frühjahr 2018 durch das BMU beauftragt zu untersuchen, welche Systeme für die Sicherstellung der Kühlung der noch vorhandenen Brennelemente im Lagerbecken nach dem Übergang in die Stilllegung noch erforderlich seien. Eine finale Stellungnahme wurde am 27. März 2019 verabschiedet /RSK 19/.

Da es hilfreich erschien, die Restbetriebsphase mit Brennelementen differenzierter zu betrachten, wurde diese Phase nach der noch vorhandenen Nachzerfallswärmeleistung unterteilt. Die o. g. Stellungnahme befasst sich mit der Teilphase, in der bei Ausfall aktiver Systeme allein durch passive Kühlung eine Brennelement-Lagerbeckentemperatur von 60 °C dauerhaft nicht überschritten wird. Beratungen über die übrigen Teilphasen finden derzeit statt und sind zum jetzigen Zeitpunkt (Juni 2020) noch nicht abgeschlossen.

## 5.1 Regulatorische Anforderungen

Da sich die RSK Stellungnahme mit dem sogenannten Restbetrieb befasst, also dem Betrieb restlicher notwendiger Systeme nach Erhalt der Stilllegungsgenehmigung, ist insbesondere der Stilllegungsleitfaden /BMU 16/ relevant:

*„Befinden sich noch Brennelemente in der kerntechnischen Anlage, so sind für geplante Abbaumaßnahmen die Rückwirkungsfreiheit dieser Maßnahmen auf den sicheren Betrieb der zur Einhaltung der Schutzziele erforderlichen Systeme und Komponenten darzustellen.“*

und

*„Solange sich während der Stilllegung noch Kernbrennstoff über den in § 2 Abs. 3 AtG genannten Massen oder Konzentrationen in der Anlage befindet, müssen alle dafür erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen weiter berücksichtigt und in die entsprechenden Betrachtungen einbezogen werden.“*

Des Weiteren sind die „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ /BMU 15/ bei Stilllegungsverfahren unter Berücksichtigung des veränderten Gefährdungspotenzials [...] und den in vieler Hinsicht verringerten Anforderungen schutzzielorientiert angepasst bzw. teilweise anwendbar. Befinden sich während der Stilllegung noch Brennelemente in der Anlage, sind des Weiteren noch folgende Ereigniskategorien relevant:

- Verringerte Wärmeabfuhr aus dem Brennelement-Lagerbecken,
- Kühlmittelverlust aus dem Brennelement-Lagerbecken,
- Reaktivitätsänderungen im Brennelement-Lagerbecken und Kritikalitätsstörfall und
- Ereignisse bei Handhabung und Lagerung von Brennelementen.

Auch die KTA-Regeln der Serien 3500 und 3700 sowie die Regeln 3601 und 3602 sind für die Stilllegung der Anlage mit Kernbrennstoff anzuwenden.

Gemäß StrISchG /SSG 19/ bzw. StrISchV /SSV 20/ sind der bestimmungsgemäße Betrieb und sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisse (Störfälle) zu berücksichtigen.

## 5.2 Schutzziele, Ereignisse und Nachweise

Entsprechend der Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke (SiAnf) (Abschnitt 2.3) /BMU 15/ sind folgende Schutzziele einzuhalten:

- Kontrolle der Reaktivität (R),
- Kühlung der Brennelemente (K),
- Einschluss der radioaktiven Stoffe (B),
- Radiologische Sicherheitsziele (S)

Zur Überprüfung der Einhaltung dieser Ziele sind gemäß Stilllegungsleitfaden folgende Ereigniskategorien zu betrachten:

- verringerte Wärmeabfuhr aus dem Brennelement-Lagerbecken,
- Kühlmittelverlust aus dem Brennelement-Lagerbecken,
- Reaktivitätsänderungen im Brennelement-Lagerbecken und Kritikalitätsstörfall,
- Ereignisse bei Handhabung und Lagerung von Brennelementen.

Im Folgenden wird beschrieben, welche Besonderheiten der Nachweisführung sich auf Grund der Situation der möglichen Passivkühlung ergeben. Ansonsten werden die Nachweise entsprechend den Sicherheitsanforderungen geführt.

Der Nachweis der Unterkritikalität im Brennelement-Lagerbecken ist für die Ereigniskategorien

- Reaktivitätsänderungen im Brennelement-Lagerbecken und Kritikalitätsstörfall, und
- Ereignisse bei Handhabung und Lagerung von Brennelementen

auch im Restbetrieb entsprechend den Sicherheitsanforderungen zu führen und muss alle noch möglichen Zustände im Brennelement-Lagerbecken abdecken.

Für das Schutzziel S (radiologische Sicherheitsziele) gelten bei Ereignissen bei Handhabung und Lagerung von Brennelementen die einschlägigen Grenzwerte der StrlSchV. Darüber hinaus ist für das Schutzziel B (Einschluss der radioaktiven Stoffe) und das

Schutzziel S zu zeigen, dass durch die infolge von Verdunstung freigesetzte Aktivität die radiologischen Grenzwerte nicht verletzt werden. In jedem Fall ist eine ausreichende Wasserüberdeckung und Kühlung der Brennelemente eine Voraussetzung für die Einhaltung der Schutzziele B und S.

Die RSK Stellungnahme konzentriert sich auf das Schutzziel K zur Kühlung der Brennelemente. Als Ereigniskategorien werden dabei betrachtet:

- Verringerte Wärmeabfuhr aus dem Brennelement-Lagerbecken und
- Kühlmittelverlust aus dem Brennelement-Lagerbecken

„Das Schutzziel K ist gemäß SiAnf (Anhang 2 Tabelle 3.2) eingehalten, wenn auf der Sicherheitsebene 2 (SE 2) die Beckenwassertemperatur auf Werte begrenzt bleibt, die eine Begehbarkeit des Lagerbeckenbereichs mit betriebsüblichen Maßnahmen sicherstellen und wenn die Wasserüberdeckung ausreicht, um die Zulaufverhältnisse für die Beckenpumpen zu gewährleisten. Auf der SE 3 ist nachzuweisen, dass die Beckenwassertemperatur unterhalb der Auslegungstemperatur des Beckens bleibt und dass die Wasserüberdeckung ausreicht, um die Brennelemente ausreichend zu kühlen. Diese Ziele gelten als eingehalten, wenn spezifizierte Beckenwassertemperaturen nachgewiesen werden. Die Werte zulässiger Beckenwassertemperaturen sind in der KTA 3303 /KTA 15b/ gestaffelt nach den Sicherheitsebenen aufgelistet und betragen 45, 60 bzw. 80 °C.“

Wenn in der Phase mit möglicher Passivkühlung Änderungen durchgeführt werden sollen, die Systeme zur Nachwärmeabfuhr oder zur Nachspeisung des Lagerbeckens betreffen, dann muss die Einhaltung folgender Nachweiskriterien belegt werden:

- Die Beckenwassertemperatur wird im Normalbetrieb auf höchstens 45 °C gehalten und der Mindestfüllstand im Lagerbecken wird gewährleistet.
- Im Fall von Ereignissen auf der Sicherheitsebene 2 (SiAnf) wird ohne aktive Kühlung (ohne die Verwendung jeglicher aktiven Einrichtungen – Passivkühlung) eine maximale Beckentemperatur von 60 °C eingehalten.
- Bei (einleitenden) Ereignissen der dritten Sicherheitsebene wird der Schwellwert für die Temperatur des Beckenwassers von 60 °C nicht überschritten. Die Nachweiskriterien der Sicherheitsebene 2 werden nicht überschritten.

- Auch wenn zur Kühlung eine Überdeckung der Brennstäbe mit Wasser genügt, wird auf Grund des Strahlenschutzes zur Sicherstellung der Begehbarkeit des Beckenflurs ein Mindestfüllstand von 3 m oberhalb der Brennelement-Oberkante als erforderlich angesehen.

### **5.3 Spezifische Anforderungen für das Schutzziel „Kühlung der Brennelemente“**

Für den Fall, dass sämtliche aktive Kühlsysteme ausfallen, muss gezeigt werden, dass die verbliebene Wärmeleistung bei höchstens 60 °C passiv an die Umgebung abgegeben wird. Der Wärmetransport erfolgt dann durch Verdunstung, Konvektion (im Wasser und in der Luft) und Wärmeleitung. Die KTA 3303, Abschnitt 4.3 ist für die Randbedingungen der Wärmesenke zu Grunde zu legen /KTA 15a/.

Das Wasservolumen ist groß genug, dass eine Abnahme des Wasserinventars durch Verdunstung in den für eine Ereignisbeherrschung zu betrachtenden Zeiträumen nicht zu besorgen ist. Laut der RSK-Stellungnahme werden Verdunstungsverluste bei 60 °C weniger als 5 m<sup>3</sup> pro Tag betragen /RSK 19/. Ein Nachfüllen zum Erhalt des Mindestfüllstandes ist damit erst nach Wochen notwendig. Die Anlage bleibt damit kontrollierbar und zusätzliche Anforderungen an aktive Kühlsysteme oder Nachspeisesysteme jenseits betrieblicher Anforderungen bestehen nicht. Eine Notstromversorgung ist ebenfalls nicht notwendig.

Für das Ereignis „Kühlmittelverlust aus dem Brennelement-Lagerbecken“ wird eine Leckage über der Anschlussleitungen des Beckenkühlsystems unterstellt. Zugleich sollen alle aktiven Kühlsysteme ausgefallen sein (Passivkühlung). Der Füllstand kann maximal bis zur Unterkante der Anschlussleitung absinken und er liegt damit noch mehr als 3 m oberhalb der Brennelement-Oberkante. Es bleibt aber zu zeigen, dass die Temperatur bei Passivkühlung 60 °C nicht übersteigt. Die Karenzzeit zum Nachfüllen (aus Strahlenschutzgründen) ist auf Grund des Ereignisses geringer. Dennoch ist diese weiterhin lang genug (Wochen), so dass sich keine zusätzlichen Anforderungen an aktive Kühl- oder Nachspeisesysteme oder eine Notstromversorgung ergeben. Wasserverluste über tieferliegende Leckstellen müssen ausgeschlossen werden können.

Beim Ereignis „Erdbeben“ wird ebenfalls von einem Abfall des Füllstands ausgegangen. Das Nachspeisesystem funktioniert nicht mehr. Deshalb ist eine nach dem Erdbeben

funktionierende Nachspeisemöglichkeit vorzusehen, wobei auch Ersatzmaßnahmen ausreichen (z. B. mobile Pumpen). Erdbeben werden ansonsten auch bei Robustheitsbetrachtungen berücksichtigt.

#### **5.4 Robustheitsbetrachtungen**

Für Robustheitsbetrachtungen werden Einwirkungen auf das Brennelement-Lagerbecken betrachtet, die zu größeren als den bisher betrachteten Wasserverlusten führen könnten. Hierfür wurde der Absturz eines Brennelement-Transportbehälters in das Brennelement-Lagerbecken als relevant identifiziert. Bei Siedewasserreaktoren (SWR 72) kann dieser Absturz ausgeschlossen werden. Beim Druckwasserreaktor kann es zu einem Füllstandsabfall bis zur Oberkante der Trennwand zwischen Transportbehälterbecken und Brennelement-Lagerbecken kommen, die Brennelemente bleiben dabei weiterhin unter der Wasseroberfläche (Füllstand von ca. 35 cm oberhalb der Brennelemente). Die Überspeisbarkeit des Verlustes ist zu überprüfen und gegebenenfalls spezifische Notfallmaßnahmen zu schaffen. Alternativ ist darzulegen, durch welche Maßnahmen ein Fallen oder Kippen eines Brennelement-Transportbehälters in das Brennelement-Lagerbecken so sicher verhindert wird, dass es ausgeschlossen werden kann. Bis zur Freilegung der Brennelemente durch Verdunstung beträgt die Karenzzeit unter den gegebenen Annahmen mindestens eine Woche, so dass ausreichend Zeit bleibt, Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Die Schwellenoberkante liegt in diesem Fall nur noch 35 cm über den Brennelementen. Entsprechend ist die Ortsdosisleistung im Bereich des Beckenflurs erhöht. Eine Maßnahme zur Rückförderung aus dem Sumpf des Reaktorsicherheitsbehälters ist vorzusehen, wobei wegen des Abbaubetriebs ggfs. ein erhöhter Schmutzgehalt berücksichtigt werden muss. Die Rück- und Nachspeisbarkeit ist für die Bedingungen des Abbaus zu zeigen.

#### **5.5 Anforderungen an andere Systeme**

Solange sich Brennelemente oder Brennstäbe in der Anlage befinden, dürfen die Systeme und deren Teile, die der sicheren Lagerung und Handhabung von Brennelementen und Brennstäben dienen oder Einfluss auf die sichere Lagerung und Handhabung von Brennelementen und Brennstäben haben könnten, nicht abgebaut werden und müssen weiter betrieben werden.



Neben Kühl- und Nachspeisesystemen sollten dabei auch unter anderem Systeme wie Lüftungsanlagen, Beckenreinigungssystem, Abschlussarmaturen, Anlagenteile zur Handhabung von Kernbrennstoffen und die Notstromversorgung betrachtet werden.

## 6 Stilllegung des Kernkraftwerkes Mühleberg

Das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM, Siedewasserreaktor) stellte am 20. Dezember 2019 den Leistungsbetrieb ein. Die Stilllegung des Kernkraftwerkes Mühleberg ist das erste Stilllegungsprojekt eines Leistungsreaktors in der Schweiz.

Die Stilllegung des KKM beginnt im eigentlichen Sinne 2019 mit der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs (EELB). Es folgt der Übergang in den technischen Nachbetrieb, die vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) verfügt wurde, um die sicherheitstechnischen Voraussetzungen für die Stilllegung zu schaffen und zu etablieren. Parallel zur Etablierung des technischen Nachbetriebes sollen vorbereitende Maßnahmen zur Stilllegung unter der noch laufenden Betriebsbewilligung stattfinden. Mit der endgültigen Außerbetriebnahme (EABN) der Anlage soll die Stilllegungsverfügung vorliegen, sodass Stilllegungsphase 1 beginnen kann. Mit dem Erreichen der Meilensteine „Kernbrennstofffreiheit“ und „Aufhebung der Kontrollierten Zone“ beginnen entsprechend die Stilllegungsphase 2 und 3 /GRS 19a/.

Die sicherheitstechnischen Ziele nach der EELB und während des technischen Nachbetriebs liegen – wie im Leistungsbetrieb – in der Einhaltung der grundlegenden Schutzziele.

Die eigentlichen Stilllegungsarbeiten beginnen mit Abschluss der endgültigen Außerbetriebnahme und erfolgen in insgesamt drei Stilllegungsphasen. Jede einzelne Phase entspricht einem definierten radiologischen Anlagenzustand und unterscheidet sich in Bezug auf die notwendigen sicherheitstechnischen Maßnahmen wesentlich von den anderen Phasen:

- Stilllegungsphase 1 – Kernbrennstoff befindet sich nach wie vor auf dem Anlagen-gelände. Sämtliche Brennelemente sind zu diesem Zeitpunkt aus dem Reaktordruck-behälter entnommen und befinden sich im Brennelement-Lagerbecken. Die autarke redundante Brennelement-Lagerbeckenkühlung ist in Betrieb.
- Stilllegungsphase 2 – kein Kernbrennstoff befindet sich mehr in der Anlage;
- Stilllegungsphase 3 – die Anlage ist radiologisch in Zonen aufgeteilt und das Schutz-ziel besteht in der Arealüberwachung.

Die substanziellen Abbauarbeiten im Reaktorgebäude sollen bereits vor Erreichen der Kernbrennstofffreiheit durchgeführt werden. Aus diesem Grund soll der technische Nachbetrieb, der im Wesentlichen das Schutzziel „Kühlung der Brennelemente“ sicherstellen soll, vor der endgültigen Außerbetriebnahme der Systeme etabliert werden, indem ein neues Kühlsystem aufgebaut werden soll. Zentrales Element dieses Kühlsystems ist ein Eintauchkühler, der das Brennelement-Lagerbecken mit den Brennelementen kühlen soll.

Wesentliche Voraussetzung für die Aufrechterhaltung des Technischen Nachbetriebs ist die vorgängige Realisierung einer autarken und redundanten Brennelement-Lagerbeckenkühlung (Arbek). Mit Arbek wird die Autarkie der Kühlung des Brennelement-Lagerbeckens unabhängig von anderen Einrichtungen des KKM erreicht.

Die Realisierung des Arbek-Projektes ist Voraussetzung für die Sicherheit ab der endgültigen Außerbetriebnahme, da hierdurch die Rückwirkungsfreiheit auf die noch vorhandenen Brennelemente beim Abbau gewährleistet werden soll /GRS 17/.

Das Arbek-Projekt hat folgenden Umfang:

- Arbek-B (Betriebssysteme) – Systeme zur betrieblichen Kühlung und Reinigung des Brennelement-Beckens.
- Arbek-S (Sicherheitssystem) – Sicherheitssystem der Kühlung des Brennelement-Beckens
- Arbek-N (Notfallsystem) – ergänzende Wasserversorgung des Brennelement-Beckenkühlsystems und Nachspeisung des Brennelement-Beckens
- Arbek-Z (Zusatzverschluss) – Ergänzung der Lagerbeckenschleuse durch redundanten Zusatzverschluss
- Arbek-R (Rückwirkungsschutz) – Schutz der mit Arbek verbundenen sicherheitsrelevanten Systeme vor Rückwirkungen aus Tätigkeiten in der Anlage.

Nach dem Ende des Leistungsbetriebs im Dezember 2019 fanden als erste Phase die sogenannten „Vorbereitenden Maßnahmen“ (VM) und parallel die Etablierung des technischen Nachbetriebs (EtNb) statt. Nach dieser Phase im Geltungsbereich der existie-

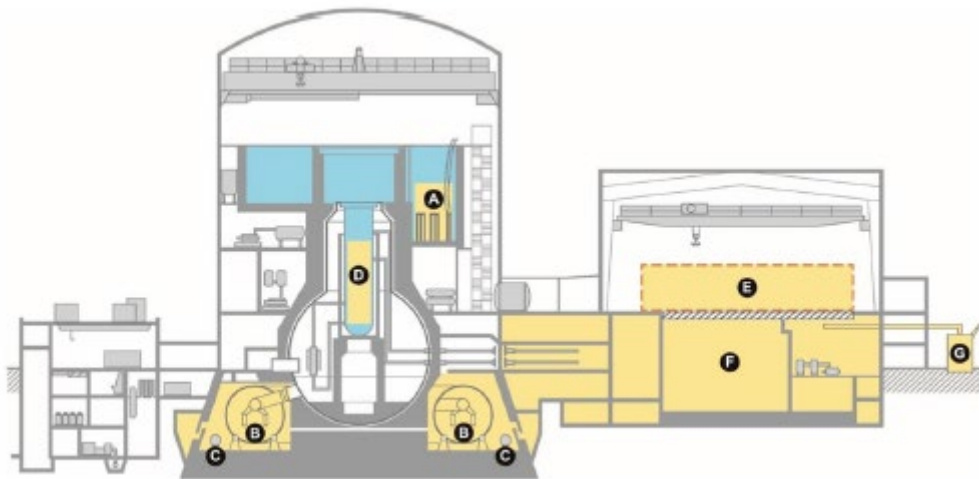
renden Betriebsbewilligung, die rund ein Dreivierteljahr andauern soll, wird die endgültige Außerbetriebnahme der Anlage festgestellt und die erste Phase (SP1) der Stilllegung beginnt /GRS 19a/.

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

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

In der ersten Phase der Stilllegung, in der sich noch Brennelemente im Brennelement-Lagerbecken befinden, werden Abbauarbeiten an folgenden Orten/Systemen durchgeführt (siehe Abb. 6.1):

- Im Reaktorgebäude -11 m-Ebene (C), inkl. Torus (B)
- Kerneinbauten (D)
- Im Maschinenhaus: Freiräume (F), Demontage Blocktransformator (G), Aufbau Materialbehandlung (E)
- Im Brennelement-Lagerbecken: Ausladen und Abtransportieren der Brennelemente (A)



**Abb. 6.1** Abbaubereiche in der ersten Stilllegungsphase /ENS 19/

Die Zerlegung der Kerneinbauten wird laut Planung im Einbautenbecken und in der Reaktorgrube erfolgen.

Die nukleare Stilllegung des KKM (Stilllegungsphase 2) soll bis 2030 abgeschlossen sein. Danach erfolgt der konventionelle Gebäudeabriss, welcher erneut beantragt und bewilligt werden muss, da er im Bewilligungsverfahren für die ersten beiden Phasen unberücksichtigt geblieben ist /GRS 19a/.

## 7 Analyse

### 7.1 Zusammenfassung der Anlagenbetrachtung

In Tab. 7.1 und Tab. 7.2 werden für die in Kapitel 4 betrachteten Einrichtungen anlagenübergreifend erfassbare Faktoren hinsichtlich des Abbaus mit Brennelementen und/oder Einzelstäben zusammengefasst. Auf dieser Basis kann eine gestufte Unterscheidung gemäß den folgenden Kategorien vorgenommen werden:

- Kategorie 1a: Die Kernbrennstofffreiheit ist Voraussetzung für die komplette Restbetriebsphase, da die Planung sowohl für die Brennelemente als auch für Einzelstäbe (insb. Sonderbrennstäbe) einen Abtransport aus der Anlage bzw. aus dem Reaktorgebäude spätestens in der Nachbetriebsphase vorsieht.  
Beispiele hierfür sind: KWO, KKS
- Kategorie 1b: Die Planung für den Restbetrieb setzte die Brennelement- bzw. Kernbrennstofffreiheit nicht zwingend voraus, faktisch lag eine Kernbrennstofffreiheit aber zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der 1. SAG vor.  
Beispiele hierfür sind: KKK, KWB-A, KKP 1 und KKB
- Kategorie 2: Die Planung für den Restbetrieb setzte die Brennelement- bzw. Kernbrennstofffreiheit nicht zwingend voraus und diese lag auch zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der ersten Stilllegungs- und Abbaugenehmigung nicht vor, obwohl eine Nasslagerung nicht mehr zwingend notwendig wäre.  
Beispiele hierfür sind: KWB-B, KKG, KKI 1 und GKN I
- Kategorie 3: Die Planung für den Restbetrieb ging bzw. geht explizit davon aus, dass sich zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der 1. SAG noch bestrahlte Brennelemente und ggf. Einzelbrennstäbe in der Anlage befänden, da für diesen Zeitpunkt die Notwendigkeit einer aktiven Kühlung vorausgesehen wird bzw. wurde.

Beispiele hierfür sind all diejenigen Kraftwerke, die sich derzeit noch im Leistungsbetrieb befinden, aber auch solche, bei denen zwischen Ende des Leistungsbetriebs und der Erteilung der ersten Stilllegungs- und Abbaugenehmigung nur ein kurzer Zeitraum liegt (z. B. KRB II-B, KKP 2).

Im Falle der Kategorie 2 sind oft äußere Randbedingungen für die nicht erreichte Kernbrennstofffreiheit verantwortlich. Beispiele hierfür sind eine unzureichende Anzahl an Transport- und Lagerbehältern aber auch noch ausstehende Änderungsgenehmigungen für das Standortzwischenlager, z.B. für die Einlagerung von Köchern mit Sonderbrennstäben /UMBW 15/. In den Fällen, in denen diese Kategorie greift, stellt sich in der Praxis heraus, dass diese Phase des Restbetriebs verhältnismäßig kurz ausfällt (z. B. 14 Monate im Falle des GKN I) und somit für typische erste Abbaumaßnahmen genutzt werden kann, die in den meisten Fällen nicht als substanzielle Stilllegungsmaßnahmen eingeschätzt werden. Beispielhaft für solche Maßnahmen können Freiräumaktivitäten genannt werden, um Platz für die benötigte Logistik oder Reststoffbearbeitung zu schaffen.

Umgekehrt kann festgestellt werden, dass bei den betrachteten Fällen die verantwortliche Betreiberin die Restbetriebsphase mit Kernbrennstoff in den ersten Antrag auf Stilllegungs- und Abbaugenehmigung nur dann aufgenommen hat, wenn das Verfehlen der Kernbrennstofffreiheit mit Stilllegungsbeginn nicht unwahrscheinlich war. Dies erklärt sich zum einen durch finanzielle und organisatorische Aspekte, wie z. B. erhöhte Versicherungskosten aufgrund der deutlich höheren Deckungssumme nach AtDeckV (Reduzierung der Deckungssummen wurde für KKK und KKB mit Erreichen der Kernbrennstofffreiheit beantragt /KKB 12/, /KKK 15/) sowie ein deutlich höherer Prüfumfang bei Wiederkehrenden Prüfungen bei Anwesenheit von Brennelementen. Zum anderen kann dies aber auch als Argument dafür gewertet werden, dass die durch die Anwesenheit von Kernbrennstoff bedingten Restriktionen von der Betreiberin auch tatsächlich als solche wahrgenommen werden.

Für die Kategorie 3 trifft die Aussage, dass die Restbetriebsphase in Anwesenheit von Kernbrennstoffen im Verhältnis zur kompletten Restbetriebsphase (typischerweise 10 – 15 Jahre) verhältnismäßig kurz ist, nicht mehr zu, da für die unter Umständen direkt aus dem Leistungsbetrieb stammenden Brennelemente eine aktive Kühlung von etwa vier Jahren zwingend notwendig ist.

**Tab. 7.1** Zusammenfassung der in Kapitel 4 durchgeführten Anlagenauswertung

Anlage	Randbedingungen		Schlüsseldaten						Planung RB mit BE/BS	Beginn RB mit BE/BS	Gründe für RB mit BS		
	Ext NL	Mehr block	Ende LB	Antrag SAG	Erteilung SAG	Beginn RB	BE-Freiheit	BS-Freiheit			A	B	C
Stilllegungs- und Abbau ausgewählter Kernkraftwerke mit Aufnahme des Restbetriebes vor Inkrafttreten des Dreizehnten Gesetzes zur Änderung des Atomgesetzes am 06. August 2011 (Kapitel 4.1)													
KGR	✓		18.12.90	5.03.93	30.06.95			21.05.06					
KKR			01.06.90	26.03.92	28.04.95			09.05.01					
KWO	✓		11.05.05	21.12.04	28.08.08								
KKS	-	-	14.11.03	23.07.01	07.09.05	~ Sep `05	27.04.05	27.04.05	Nein / Nein	Nein / Nein	-	-	-
Stilllegung und Abbau von Kernkraftwerken deren Leistungsbetrieb zwischen dem 06. August 2011 und dem 30. Juni 2015 eingestellt wurde (Kapitel 4.2)													
KWB-A	✗	✓	06.08.11	06.08.12	30.03.17	01.06.17	≤ Nov `16	Nov `16	(Ja) / Ja	Nein / Nein	-	-	-
KWB-B	✗	✓	06.08.11	06.08.12	30.03.17	01.06.17	23.09.18	Jun `19	(Ja) / Ja	Ja / Ja	✗	✓	?
KKB	✗	✗	06.08.11	01.11.12	21.12.18	~Jan `19	21.06.17	17.02.18	Nein / Ja	Nein / Nein	-	-	-
KKG	✗	✗	27.06.15	28.03.14	11.04.18	~April `18	16.05.20	(Ende`20)	Ja / Ja	Ja / Ja	?	?	?
KKI 1	✗	✓	06.08.11	04.05.12	17.01.17	~Jan `17	Apr `20	Okt `20	Ja / Ja	Ja / Ja	✗	?	?
KKK	✗	✗	06.08.11	24.08.15	(2021)	-	04.10.17	11.12.19	Nein / Ja	Nein / Nein	-	-	-
GKN I	✗	✓	06.08.11	24.04.13	03.02.17	~Feb `17	Beginn`18	Apr `18	Ja / Ja	Ja / Ja	✗	?	?

Abkürzungen: Externes Nasslager (Ext NL), Leistungsbetrieb (LB), SAG (Erste Genehmigung im Rahmen der Stilllegung und des Abbaus), RB (Restbetrieb), BE (Brennelement), BS (Brennstoff). Hinsichtlich der Gründe bedeuten die entsprechenden Kürzel A, B,C: Nasslagerung notwendig (A), Fehlende Transport- und Lagerbehältnisse oder fehlende Genehmigungen für die Einlagerung in das Standortzwischenlager (B), Sonstige (C).



**Tab. 7.2** Zusammenfassung der in Kapitel 4 durchgeführten Anlagenauswertung (Fortsetzung Tab. 7.1)

Anlage	Randbedingungen		Schlüsseldaten						Planung RB mit BE/BS	Beginn RB mit BE/BS	Gründe für RB mit BS		
	Ext NL	Mehr block	Ende LB	Antrag SAG	Erteilung SAG	Beginn RB	BE-Freiheit	BS-Freiheit			A	B	C
KKP 1	x	✓	06.08.11	24.04.13	07.04.17	18.04.17	Ende `16	Ende `16	Ja / Ja	Nein / Nein	-	-	-
KKU	x	x	18.03.11	04.05.12 20.12.13	05.02.18	19.02.18	25.02.18	21.02.19	Ja / Ja	Ja / Ja	x	?	?
Stilllegung und Abbau von Kernkraftwerken mit Einstellung des Leistungsbetriebs nach dem 30. Juni 2015 (Kapitel 4.3)													
KBR	x	x	31.12.21	01.12.17 24.03.20				~2026	Ja / Ja				
KKE	x	x	31.12.22	22.12.16					Ja / Ja				
KWG	x	x	31.12.21	26.10.17					Ja / Ja				
KKI 2	x	✓	31.12.22	01.07.19				~2027	Ja / Ja				
KRB II-B	x	✓	31.12.17	11.12.14	19.03.19	~März/ April `19			Ja / Ja	Ja / Ja	?	?	?
KRB II-C	x	✓	31.12.21	31.07.19					Ja / Ja				
KKP 2	x	✓	31.12.19	18.07.16 15.05.17	17.12.19				Ja / Ja	Ja / Ja	?	?	?
GKN II	x	✓	31.12.22	18.07.16 15.05.17					Ja / Ja				

Der Umfang der Maßnahmen im Rahmen der 1. SAG wird in den betrachteten Anlagen in Phasen unterteilt, die durch geeignete Meilensteine voneinander getrennt sind. Häufig beziehen sich manche dieser Meilensteine auf die erreichte Brennelement- bzw. Kernbrennstofffreiheit, in manchen Fällen wird auch ein Bezug zur benötigten Kühlung (aktiv, passiv sowie nicht benötigt) vorgenommen. Durch ihre Relevanz hinsichtlich der zu berücksichtigenden Schutzziele sind solche Meilensteine aus Sicht der GRS zielführend und bieten eine klare Struktur, insbesondere für den behördlichen Austausch sowie der Einstufung von Verfahren im Zuge konkreter Abbaumaßnahmen.

In der ersten Phase des Abbaus finden im Regelfall vorbereitende Maßnahmen statt. Hierbei werden zum Beispiel Flächen freigeräumt, die dann entweder zu Lager- bzw. Reststoffbearbeitungszwecken für die eigentlichen Abbaumaßnahmen genutzt werden können. Diese Maßnahmen sind bezogen auf die Schutzziele und die Rückwirkungsfreiheit auf möglicherweise noch vorhandene Kernbrennstoffe im Regelfall als unkritisch zu betrachten.

Die GRS stellt fest, dass in allen betrachteten Fällen der jüngeren Vergangenheit die Anwesenheit von Kernbrennstoff beim Abbau im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung kontrovers diskutiert wird. Neben reinen Sicherheitsbedenken wurde in dieser Frage oft eingewendet, dass aufgrund enger Vermaschungen den vorhandenen Systemen die Rückwirkungsfreiheit nicht vorstellbar sei. Diese Wahrnehmung ist teilweise darauf zurückzuführen, dass die der Öffentlichkeit vorliegenden Dokumente einerseits eine hohe Komplexität vermitteln, andererseits aber hinsichtlich tatsächlich durchzuführender Maßnahmen einen niedrigen Detaillierungsgrad aufweisen. Exemplarisch ist hier die häufig fehlende Abbaureihenfolge zu nennen. De facto lässt sich dies auf eine nicht erfüllte Erwartungshaltung an die Unterlagen zur 1. SAG zurückführen.

In Bezug auf die Ereignisanalysen sind sowohl in den ESK-Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen sowie im Stilllegungsleitfaden Ereignisse genannt, die bei Stilllegungsverfahren fallbezogen sicherheitstechnisch zu betrachten und zu bewerten sind. Solange sich die Brennelemente in der Anlage befinden, sind einige Ereignisse, wie Ausfall des Lagerbeckenkühlsystems, Leckage des Brennelementlagerbeckens oder Brennelementbeschädigung bei der Handhabung, hinsichtlich ihrer Auswirkungen nicht vernachlässigbar oder nicht hinreichend unwahrscheinlich, um sie aus der Betrachtung herauszulassen. Zu diesen Ereignissen zählen auch Absturz von Behältern mit freisetzbarem radioaktivem Inventar, Herabstürzen von Lasten auf Behälter mit freisetzbarem

radioaktivem Inventar sowie Ereignisse bei Transportvorgängen. Die zur Beherrschung dieser Ereignisse benötigten Systeme sind zu bestimmen und sollen unverändert erhalten und weiterbetrieben werden. Diese Ereignisse werden durch die Betreiber in den Antragsunterlagen betrachtet.

## **7.2 Einhaltung der Schutzziele**

Die Schutzziele sind, wie auch im Leistungsbetrieb, bei nicht vorliegender Kernbrennstofffreiheit:

- Kontrolle der Reaktivität (R),
- Kühlung der Brennelemente (K),
- Einschluss der radioaktiven Stoffe (B), sowie
- Begrenzung der Strahlenexposition (S).

In diesem Kontext ist es positiv zu bewerten, dass die Betreiberinnen – sofern nicht auszuschließen ist, dass sich zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der 1. SAG noch Kernbrennstoffe in der Anlage befinden könnten – in der Regel geeignete Anlagenmeilensteine (Anlagenzustände) identifizieren und den Genehmigungsumfang entsprechend in Phasen unterteilen. In der Regel wird bei Erreichen dieser hervorgehobenen Anlagenzustände dies der Behörde zur Bestätigung vorgelegt. Dadurch können sich z. B. Konsequenzen für die behördliche bzw. gutachterliche Beteiligung bei Abbaumaßnahmen ergeben, sofern dies durch das Betriebsreglement abgedeckt ist.

Bei der Umsetzung dieser Meilensteine finden sich im Wesentlichen zwei Ansätze: Für einen Teil der Anlagen wird explizit Bezug auf die Brennelemente und/oder Einzelbrennstäbe genommen, so dass hinsichtlich der Schutzziele prinzipiell zwei Szenarien – (R,K,B,S) bzw. (B,S) im Falle der Kernbrennstofffreiheit – unterschieden werden. In anderen Anlagen wird wiederum auch Bezug zur Art der aktiven Kühlung genommen, so dass hier drei Szenarien – (R,K,B,S), (R,B,S) und (B,S) – zu betrachten sind.

Aus Sicht der GRS erscheint ein Kriterium auf Basis noch vorhandener Brennelemente bzw. Kernbrennstoffe (d.h. auf Basis des Anlagenzustands) zwar greifbarer, ein direkter Bezug zu den Schutzziele wird aber aufgrund der Eindeutigkeit als bevorzugt eingeschätzt.

Mit dem Voranschreiten der Stilllegung der Anlagen werden einige Systeme nicht mehr benötigt oder sind für ihre verbleibenden Aufgaben überdimensioniert. Solche Systeme können in Anpassung an den Fortschritt des Abbaus geändert (z. B. durch Austausch) oder abgebaut werden.

Tab. 7.3 führt auf, welche Systeme in dem jeweiligen Anlagenzustand noch benötigt werden /GRS 19/. Zu diesem Zweck werden vier Anlagenzustände unterschieden:

- Anlagenzustand 1: Es befinden sich noch Brennelemente im Reaktordruckbehälter.
- Anlagenzustand 2: Der Kern ist entladen, es befindet sich noch aktiv zu kühlender Kernbrennstoff im Brennelement-Lagerbecken.
- Anlagenzustand 3: Es befindet sich kein aktiv zu kühlender Kernbrennstoff mehr im Brennelement-Lagerbecken.
- Anlagenzustand 4: Die Anlage ist kernbrennstofffrei.

Während der Anlagenzustände 1 und 2 muss die Einhaltung folgender Schutzziele sichergestellt werden /ESK 15/:

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

Bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit dürfen die Abbauarbeiten keine unzulässigen Rückwirkungen auf die Lagerung oder Handhabung des Kernbrennstoffes haben.

**Tab. 7.3** In den verschiedenen Anlagenzuständen von Nachbetrieb und Stilllegung benötigte Systeme /GRS 19/

Die Tabelle umfasst der Vollständigkeit halber auch mehrere betriebliche Systeme.  
X: System wird benötigt, -: System wird nicht mehr benötigt

System Systemkennzeichnung	Anlagen- zustand 1	Anlagen- zustand 2	Anlagen- zustand 3	Anlagen- zustand 4
Dieselmotorenanlagen / XJ	X	X	X	X
Krananlagen, stationäre Hebezeuge, Befahrenrichtungen / SM	X	X	X	X
Stationäre Brandschutzsysteme / SG	X	X	X	X
Zwischenkühlwassersystem sicherheitstechnisch wichtig / PJ	X	X	X	X
Gesichertes Nebenkühlwassersystem / PE	X	X	X	X
Nukleartechnische Sperr- und Spülmedi- umversorgung / KW	X	-	-	-
Nuklear-technisches Probenahmesystem / KUF	X	X	X	X
Nukleartechnische Sammel- und Ableit- systeme / KT	X	X	X	X
Behandlung radioaktive Abfälle / KP	X	X	X	X
Lüftungstechnische Anlagen in Kontroll- und Überwachungsbereichen / KL	X	X	X	X
Kühlmittelbehandlung / KB	X	X	X	-
Nukleartechnische Zwischenkühlkreise / KA	X	X	X	X
Reaktorschutzsystem	X	X	X	X
Nukleare Nachwärmeabfuhrsysteme / JN	X	X	-	-
Volumenregelsystem / KB	X	X	-	-
Reaktorsicherheitsumschließung und Ein- bauten / JM	X	X	X	X
Reaktorsystem / JA Reaktorkühlsystem / JE	X	-	-	-
Wechsel-, Transport- und Lagerungsein- richtungen für Brennelemente / FA, FC	X	X	X	-
Brandmeldeanlage / CYE	X	X	X	X
Elektrischer Eigenbedarf B Externer Netzanschluss	X	X	X	X
Leit- und nachrichtentechnische Einrich- tungen	X	X	X	X

Für die aktive Kühlung der Brennelemente im Brennelement-Lagerbecken werden im Wesentlichen das Beckenkühl- und Reinigungssystem, das nukleare Zwischenkühlwassersystem und das nukleare Nebenkühlwassersystem benötigt. Für den Fall der Nichtverfügbarkeit des Beckenkühlsystems werden Systeme zur Beckennotkühlung vorgehalten. Dazu gehören Teilfunktionen des Not- und Nachkühlsystems des Volumenregelsystems und der Kühlmittelreinigung. Zu den sicherheitstechnischen Aufgaben dieser Systeme gehört die Abfuhr der Nachzerfallswärme über die Nachkühlkette, die Abschirmung des im Brennelement-Lagerbecken untergebrachten radioaktiven Inventars und die Kühlung von sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten. Sicherheitstechnische Anforderungen und betriebliche Aufgaben der Einrichtungen entfallen zum Teil mit Erreichen des Anlagenzustandes 3 und zum großen Teil mit Erreichen des Anlagenzustandes 4. Auch für leittechnische Einrichtungen gilt, dass sie im Laufe des Abbaus ggf. angepasst beziehungsweise durch neue, dem Bedarf angepasste Systeme ausgetauscht werden. Über die Anforderungen an die Systeme zur aktiven Kühlung des Brennelement-Lagerbeckens während des Restbetriebes berät derzeit die RSK. Zur Bewertung, welche Systeme zur aktiven Kühlung vorgehalten werden müssen, werden die Karenzzeiten betrachtet, die bis zum Erreichen von definierten Beckentemperaturen zur Verfügung stehen. Hieran orientieren sich die Anforderungen an verfügbare Kühlsysteme und mögliche Ersatzmaßnahmen.

Für den in der RSK Stellungnahme „Anforderungen bei einer passiven Kühlung der Brennelemente im Lagerbecken“ beschriebenen Fall, bei dem die abzuführende Nachwärme soweit reduziert ist, dass bei einem Ausfall der aktiven Systeme eine Lagerbeckentemperatur von 60 °C dauerhaft nicht überschritten wird, sind konkrete Nachweiskriterien genannt worden (s. Abschnitt 5.2).

### **7.3 Rückwirkungsfreiheit der Abbaumaßnahmen auf die Schutzziele**

Generell finden die Maßnahmen im Rahmen des Restbetriebs unter Maßgabe der Rückwirkungsfreiheit hinsichtlich der einzuhaltenden Schutzziele statt. Dies betrifft zum einen die Auswirkungen der aktiv durchzuführenden Maßnahmen auf die weiteren Anlagenteile (aktive Auswirkung), zum anderen können aber auch die weiteren Anlagenteile Auswirkung auf anvisierte Maßnahmen haben (passive Auswirkung).

Als Beispiel sei hier auf die Antragsunterlagen des KKP 1 verwiesen, in denen u. a. aufgeführt wird, dass der Ausbau der RDB-Einbauten prinzipiell auch bei nicht erreichter

Kernbrennstofffreiheit erfolgen können, dann dafür aber nicht das Brennelement-Lagerbecken, sondern nur das Flutbecken zur Verfügung stünde. Diese Einschränkung kann prinzipiell Auswirkungen auf die entsprechenden Schutzziele haben, so dass hier eine sorgfältige Prüfung vorgenommen werden muss. Nach Einschätzung der GRS stehen der zuständigen Aufsichtsbehörde hier insbesondere aufgrund der gestuften Behördenbeteiligung in Abhängigkeit des Anlagenzustandes die notwendigen Werkzeuge zur Verfügung.

Das Kernkraftwerk GKN I liefert ein Beispiel, bei dem die Kerneinbauten unter Anwesenheit und in räumlicher Nähe der Brennelemente zerlegt wurden /WES 19/. Seitens des Dienstleisters wurden diese Randbedingungen zwar als herausfordernd bezeichnet, jedoch konnte die Zerlegung und Verpackung – wenn auch mit Verzögerungen – abgeschlossen werden. Ein technischer Zusammenhang zwischen der Verzögerung und der Anwesenheit der Brennelemente kann aus Sicht der GRS anhand der vorliegenden Informationen nicht hergestellt werden. Nach Auskunft des Dienstleisters wurden Maßnahmen, um die Rückwirkungsfreiheit der Arbeiten auf die Brennelemente sicherzustellen, ergriffen. Hierbei handelt es sich in erster Linie um Fangnetze, die die lagernden Brennelemente schützen sollten. Weitere Maßnahmen, wie gesonderte Schulungen der Mitarbeiter oder der Aufbau spezieller Gerüste unterschieden sich nicht von den Ausführungen, wie sie in der kernbrennstofffreien Anlage KKP 1 bei den gleichen Tätigkeiten durch den Dienstleister zum Einsatz kamen. Folglich sind für diese Zerlegetätigkeiten die technischen Maßnahmen zur Sicherstellung der Rückwirkungsfreiheit aus Sicht der GRS gegenüber einer kernbrennstofffreien Anlage nicht wesentlich verändert. Ein Mehraufwand wird hier durch den Dienstleister eher auf der administrativen Seite im Austausch mit der Aufsichtsbehörde gesehen. Inwieweit dies zutreffend ist, kann derzeit nicht beurteilt werden.

#### **7.4 Auswirkungen der fehlenden Kernbrennstofffreiheit auf die Stilllegung und den Abbau der zukünftigen Stilllegungsprojekte**

Allein aufgrund der notwendigen mehrjährigen Nasslagerung wird für die noch ausstehenden bzw. für die gerade angefangenen Stilllegungsprojekte, die Wahrscheinlichkeit, dass die Anwesenheit von Brennelementen bzw. Kernbrennstoff mittelbare Auswirkungen auf die Durchführung der Abbaumaßnahmen hat, im Vergleich höher ausfallen. Insbesondere im Vergleich zu Anlagen der Kategorie 2 (vergleiche Abschnitt 5.1) wird man

sich in dieser Phase nicht nur auf weitestgehend vorbereitende Maßnahmen beschränken können, sondern wird sich auch mit substanziellen Maßnahmen – wie den Ausbau von RDB Einbauten - auseinandersetzen müssen. Dies gilt sowohl für die Betreiberin als auch für die zuständigen Behörden und Sachverständige. Hierbei ist es grundsätzlich positiv zu bewerten, dass sich in Abhängigkeit des Anlagenzustandes ein Betriebsreglement etabliert hat, in dem die Art der behördlichen/sachverständlichen Beteiligung vom Anlagenzustand abhängt.

In Anbetracht der verkürzten oder entfallenden Nachbetriebsphase dieser Anlagen, müssen zu Beginn der Stilllegung vorbereitende Arbeiten durchgeführt werden, die bisher in der Nachbetriebsphase durchgeführt wurden. In diesem Zusammenhang ist z. B. die Systemdekontamination zu nennen, oder die Entsorgung von Betriebsmedien und -abfällen. Auch wenn im Leistungsbetrieb bereits die wesentlichen Planungsschritte für die Stilllegung vollzogen wurden, so sind nach dem Einstellen des Leistungsbetriebes z. B. Außerbetriebnahmen, Änderungen von Systemfahrweisen sowie Änderungen der Betriebsorganisation durchzuführen, die sonst in der Phase des Nachbetriebes stattgefunden haben. Daher ist zu erwarten, dass die Stilllegungsmaßnahmen in der ersten Zeit nach Einstellung des Leistungsbetriebes bei zukünftig in Stilllegung gehenden Anlagen nicht die gleichen sein werden, wie bei Anlagen mit mehrjähriger Nachbetriebsphase. Dementsprechend würden substanzielle Abbautätigkeiten auch eher später nach Stilllegungsbeginn stattfinden, sodass die längere Anwesenheit der Brennelemente auch bei diesen Anlagen keine wesentliche Einschränkung für die Stilllegung darstellen muss. Dass die längere Anwesenheit von Brennelementen insgesamt zu einer Verlängerung der Stilllegungsdauer verglichen mit laufenden Projekten, die kernbrennstofffrei in Stilllegung gegangen sind führt, ist aus Sicht der GRS nicht zu erwarten. Es wird damit gerechnet, dass aus zeitlicher Sicht die Summe weiterer Einflussfaktoren den Aspekt der Kernbrennstofffreiheit überlagern wird. Solche Faktoren können z. B. Optimierungen im Projektmanagement sein, die speziell auf die noch ausstehenden, weitgehend sehr ähnlichen Anlagentypen ausgerichtet sind, oder Einflüsse bei der Gebäudedekontamination und Freigabe, die sich sowohl verzögernd als auch beschleunigend auswirken können. Im Vergleich zu prototypischen Projekten, wird bei den ausstehenden Stilllegungsprojekten grundsätzlich mit einer verkürzten Stilllegungsdauer gerechnet.





## 8 Zusammenfassung

Die abgeschlossenen und die noch laufenden Abbauprojekte zeigen, dass der Abbau eines Kernkraftwerks ohne Risiken für die Bevölkerung, die Umwelt und das Personal sowie unter Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben durchgeführt werden kann.

Zwischen der endgültigen Abschaltung und dem Beginn der eigentlichen Stilllegung (mit der Inanspruchnahme der Stilllegungsgenehmigung) liegt die sogenannte Nachbetriebsphase, die in der Vergangenheit insbesondere bei den Anlagen, die im Jahr 2011 die Berechtigung zum Leistungsbetrieb verloren haben, in der Regel mehrere Jahre ange dauert hat. In diesem Zeitraum können die Brennelemente aus dem Reaktor entladen oder die Betriebsmedien und -abfälle entsorgt werden. Vor Beginn der Abbauarbeiten befindet sich die Anlage ansonsten noch weitgehend im gleichen technischen Zustand wie während des Betriebs.

In diesem Bericht wurden Anlagen betrachtet, bei denen zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme der Stilllegungsgenehmigung keine Kernbrennstofffreiheit vorlag, oder dieses Szenario bei der Antragstellung als nicht ausgeschlossen behandelt werden konnte. Gründe für die nicht vorliegende Kernbrennstofffreiheit sind hier z. B. eine unzureichende Anzahl an verfügbaren Transport- und Lagerbehältern aber auch noch ausstehende Änderungsgenehmigungen für das Standortzwischenlager, z. B. für die Einlagerung von Köchern mit Sonderbrennstäben. Grundsätzlich sind die Anlagenbetreiber jedoch an einer möglichst frühzeitigen Kernbrennstofffreiheit interessiert. Dies erklärt sich zum einen durch finanzielle und organisatorische Aspekte, wie die deutlich höhere Deckungssumme nach AtDeckV sowie ein deutlich höherer Prüfumfang bei Wiederkehrenden Prüfungen bei Anwesenheit von Brennelementen. Des Weiteren bedeutet die Anwesenheit von Kernbrennstoff einen größeren Umfang der Sicherheitsanalysen.

Zukünftig ist eine deutlich verkürzte Nachbetriebsphase zu erwarten, sodass die Stilllegung insbesondere bei den derzeit noch laufenden Kernkraftwerken unter Anwesenheit von Brennelementen stattfinden wird. Die Dauer bis zum Erreichen der Kernbrennstofffreiheit wird sich gegenüber aktuell laufender Stilllegungsprojekte aufgrund der notwendigen Nasslagerung auf ca. 4 bis 5 Jahre verlängern.

Die betrachteten Projekte, in denen die Kernbrennstoff- bzw. Brennstabfreiheit mit Beginn der Stilllegung noch nicht erreicht war, haben gezeigt, dass zu Beginn des Abbaus

die Infrastruktur an die Erfordernisse des Abbaus und der Reststoffbearbeitung angepasst wird, indem logistische Abbauvoraussetzungen (z. B. Transportwege, Materialschleusen, Stau- und Pufferlagerflächen) geschaffen werden. In frei gewordenen Bereichen werden häufig Reststoffbearbeitungseinrichtungen installiert. Diese Arbeiten laufen ohne Rückwirkungen auf die Brennelemente und daher weitgehend unabhängig ab. Lediglich nicht mehr benötigte Redundanzen von Kühlsystemen können von der Demontage betroffen sein (wie z. B. im Falle des KKG). Zu den Tätigkeiten, die zu Beginn der Stilllegung, auch bei Vorhandensein von Brennelementen im Brennelement-Lagerbecken, durchgeführt werden, zählt auch die Zerlegung der Kerneinbauten, wie sie etwa in der Anlage GKN I stattfand. Eine Teilarbeit dessen ist die Entsorgung sogenannter Core-Schrotte, welche von der Betriebsgenehmigung in der Regel abgedeckt ist und auch in der Vergangenheit schon in Anlagen während der Nachbetriebsphase praktiziert wurde. Die Betrachtungen zeigen, dass die Einhaltung der Schutzziele (Kontrolle der Reaktivität, Kühlung der Brennelemente) auch während der Stilllegung jederzeit sichergestellt werden konnten. Auch in KKI 1 wurden umfangreichere Abbaumaßnahmen unter Anwesenheit von Kernbrennstoff durchgeführt.

Es zeigt sich jedoch auch, dass abgesehen von den genannten Ausnahmen keine substantiellen Abbautätigkeiten unter Anwesenheit der Brennelemente stattgefunden haben. Dies hatte viele verschiedene Gründe. Eine Besonderheit bei den älteren Anlagen KGR und KWO stellt die Existenz eines externen Nasslagers am Standort des Kernkraftwerkes dar. Durch das externe Nasslager war es möglich, Kernbrennstofffreiheit durch den Transport der Brennelemente innerhalb der Anlage zu erreichen. Somit fand hier zwar formal die Stilllegung unter Anwesenheit mit Brennelementen statt, jedoch lässt sich diese Situation technisch nicht mit der heutigen Situation vergleichen. Eine ähnliche Situation ergibt sich für Anlagen mit mehreren Blöcken, wie z. B. KWB, wo es innerhalb der Anlage möglich war, Brennelemente von Block zu Block zu transportieren und somit Kernbrennstofffreiheit in einem Block zu erreichen. In einigen der betrachteten Fälle kam es zur Verzögerung bzw. Änderungen ursprünglicher Stilllegungspläne. Dadurch konnte der Abtransport der letzten bestrahlten Brennelemente und Sonderbrennstäbe zur Zwischenlagerung vor Beginn der ersten Phase durchgeführt werden. Im KKK wurden ursprünglich Abbaumaßnahmen der Phase 1 mit den 200 Sonderbrennstäben in der Anlage vorgesehen, jedoch zwischenzeitlich die Kernbrennstofffreiheit erreicht.

Die geplanten Abbaumaßnahmen, die im Antrag zur Stilllegung und zum Abbau dargestellt sind, werden von der zuständigen Aufsichtsbehörde auf die technische Machbarkeit geprüft und bewertet. Solange sich die Brennelemente in der Anlage befinden, wird die Rückwirkungsfreiheit der vorgesehenen Maßnahmen geprüft. Zustimmungen der Aufsichtsbehörde sind für Einstufung, Umstufung und für Anpassungen von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen an die geänderten Gegebenheiten des Abbaus erforderlich. Nach Einschätzung der GRS stehen der zuständigen Aufsichtsbehörde hier insbesondere aufgrund der gestuften Behördenbeteiligung in Abhängigkeit des Anlagenzustandes die notwendigen Werkzeuge zur Verfügung. Hierbei ist es grundsätzlich positiv zu bewerten, dass sich in Abhängigkeit des Anlagenzustandes ein Betriebsreglement etabliert hat, in dem die Art der behördlichen/sachverständlichen Beteiligung vom Anlagenzustand abhängt.

Beim Abbau bei Anwesenheit von Kernbrennstoff werden die zusätzlichen Anforderungen, die sich aus dem insoweit erweiterten Restbetrieb ergeben, eingehalten. In einigen Fällen wird von Betreibern dafür gesorgt, dass die Anzahl der Beschäftigten am Standort auf gleichem Niveau bleibt, solange sich die bestrahlten Brennelemente noch in der Anlage befinden.

Die RSK und die SSK haben in den vergangenen Jahren über die sicherheitstechnischen und strahlenschutztechnischen Aspekte der Stilllegung und des Abbaus von Kernkraftwerken unter Anwesenheit von Brennelementen oder Sonderbrennstäben ausführlich beraten. Beide Kommissionen kamen zu dem Ergebnis, dass die Antragssteller, die für die 1. SAG erforderlichen Maßnahmen getroffen haben und die vorgelegten Konzepte für die Stilllegung in seinen einzelnen Schritten folgerichtig aufgebaut und sicherheitsgerichtet sind. Dies zeigt grundsätzlich, dass die zuständigen Genehmigungsbehörden auf Basis der vorgelegten Unterlagen die Einhaltung der Genehmigungsvoraussetzungen trotz vorhandener Kernbrennstoffe positiv bescheiden können.

Stilllegung und Abbau der Kernkraftwerke unmittelbar nach endgültiger Abschaltung der Anlage und in Anwesenheit von Brennelementen wird derzeit auch in anderen Ländern vorgesehen. Die Stilllegung in Anwesenheit von Brennelementen im Brennelement-Lagerbecken findet zum Beispiel auch beim ersten schweizerischen Stilllegungsprojekt statt. Das KKM wurde im Jahr 2019 abgeschaltet. Die Planungen zum Abbau des KKM wurden schon während der letzten Jahre des Leistungsbetriebes initiiert, um einen schnellen und reibungslosen Übergang vom Betrieb in die Stilllegung zu ermöglichen.

Die Planungen sehen vor, bereits substanzielle Abbaumaßnahmen durchzuführen, während sich noch Brennelemente aus dem Leistungsbetrieb zur Abklinglagerung im Brennelement-Lagerbecken befinden. Aus den Planungen geht hervor, dass vor dem Erreichen der Kernbrennstofffreiheit ausschließlich Systeme abgebaut werden, die nach der endgültigen Außerbetriebnahme der Anlage obsolet geworden sind und dass der Rückwirkungsschutz auf die Brennelemente Priorität hat.

## Literaturverzeichnis

- /AKS 18/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Länderberichte zum Stand der Stilllegungsverfahren: Baden-Württemberg Ergebnisprotokoll der 58. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ des Länderausschusses für Atomkernenergie vom 27. und 28. Februar 2018 in Greifswald
- /ATG 19/ Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz – AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I 1985, Nr. 41, S. 1565), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I 2019, Nr. 48, S. 2510) geändert worden ist.
- /ATV 18/ Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes (Atomrechtliche Verfahrensverordnung – AtVfV) vom 3. Februar 1995 (BGBl. I 1995, Nr. 8, S. 180), die zuletzt durch Artikel 14 der Verordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I 2018, Nr. 41, S. 2034) geändert worden ist.
- /BAS 20/ Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE)  
Auflistung kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland  
Stand: Februar 2020
- /BFE 18/ Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit  
Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2017  
Juni 2018
- /BMU 15/ Bundesministerium für Umwelt- Naturschutz und nukleare Sicherheit  
Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke  
vom 22. November 2012,  
Neufassung vom 3. März 2015 (BAnz AT 30.03.2015 B2)

- /BMU 16/ Bundesministerium für Umwelt- Naturschutz und nukleare Sicherheit  
Leitfaden zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von  
Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 des Atomgesetzes vom 23. Juni  
2016 (BAnz. AT 19.07.2016 B7).  
Bonn, 2016
- /BMU 20/ <https://www.nuklearesicherheit.de/kerntechnische-anlagen/>  
Juni 2020
- /BRE 12/ Brenk Systemplanung  
Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen  
Aachen, September 2012
- /BSM 20/ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz  
(StMUV)  
[https://www.stmuv.bayern.de/themen/reaktorsicherheit/stilllegung\\_ab-  
bau/in\\_stilllegung\\_isar1\\_informationen\\_juni2020.htm](https://www.stmuv.bayern.de/themen/reaktorsicherheit/stilllegung_abbau/in_stilllegung_isar1_informationen_juni2020.htm)  
November 2020
- /ENS 19/ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat  
Thomas Ernst-Simonnot  
Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg: Stilllegungsphase 1 (SP1)  
Austausch ENSI / GRS  
Brugg, 19. – 20. November 2019
- /ESK 11/ Entsorgungskommission (ESK)  
Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerks Obrigheim (KWO)  
2. Stilllegungs- und Abbaugenehmigung  
Stellungnahme der Entsorgungskommission vom 09.06.2011
- /ESK 15/ Entsorgungskommission (ESK)  
Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen, Empfehlung der Ent-  
sorgungskommission vom 16.03.2015.

- /EWN 15a/ Energiewerke Nord GmbH Betriebsteil Rheinsberg, J. Möller  
„Projektbeispiel: Rückbauprojekt von EWN (DWR Rheinsberg)“  
Präsentation im Rahmen Stilllegung und Rückbau von Kernkraftwerken  
in Deutschland, Haus der Technik  
21. September 2015
- /EWN 95a/ Energiewerke Nord GmbH  
Kernkraftwerk Greifswald  
Sicherheitsbericht zum Innehaben und zur Stilllegung der Anlage sowie  
zum Abbau von Anlagenteilen  
Stand 27. April 1995.
- /GKN 13/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Neckarwestheim Block I (GKN I)  
Antrag auf Erteilung einer Stilllegungs- und 1. Abbaugenehmigung  
(1. SAG) gem. § 7 Abs. 3 Atomgesetzes (AtG)  
24. April 2013
- /GKN 14/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Neckarwestheim  
Sicherheitsbericht – Stilllegung und Abbau von Anlagenteilen des Kern-  
kraftwerks Neckarwestheim Block I (GKN I)  
November 2014
- /GKN 16/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Neckarwestheim Block I (GKN I)  
Antrag auf Erteilung einer Stilllegungs- und 1. Abbaugenehmigung  
(SAG) für das Kernkraftwerk Neckarwestheim Block II gem. § 7 Abs. 3  
Atomgesetzes (AtG)  
18. Juli 2016
- /GKN 17/ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-  
Württemberg  
Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Neckarwestheim Block I  
(GKN I) der EnBW Kernkraft GmbH (EnKK)  
Stilllegungs- und erste Abbaugenehmigung (1. SAG) vom 03.02.2017



- /GKN 17a/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Neckarwestheim Block I (GKN I)  
Antrag auf Erteilung der 2. Abbaugenehmigung (2. AG) für Kernkraftwerk Neckarwestheim Block I (GKN I) gem. § 7 Abs. 3 Atomgesetzes (AtG)  
21. Dezember 2017
- /GKN 17b/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Neckarwestheim  
Betriebsbericht zur Information der Reaktor-Sicherheitskommission 2017  
– Kernkraftwerk Neckarwestheim Block I (GKN I)  
EnBW, Stand: 2017
- /GKN 17c/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Neckarwestheim Block I (GKN I)  
Antrag auf Erteilung einer Stilllegungs- und 1. Abbaugenehmigung (SAG) für das Kernkraftwerk Neckarwestheim Block II gem. § 7 Abs. 3 Atomgesetzes (AtG) vom 18.07.2016  
15. Mai 2017
- /GKN 18/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Neckarwestheim  
Betriebsbericht zur Information der Reaktor-Sicherheitskommission 2018  
– Kernkraftwerk Neckarwestheim Block I (GKN I)  
EnBW, Stand: 28. März 2019
- /GKN 18a/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Neckarwestheim  
Sicherheitsbericht GKN II/SAG/II/01  
Mai 2018
- /GKN 19/ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg  
Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Neckarwestheim, Block I (GKN I) der EnBW Kernkraft GmbH (EnKK)  
Zweite Abbaugenehmigung (2. AG GKN I) vom 12.12.2019
- /GRS 17/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH;  
Planung zur Stilllegung und zum Abbau des Kernkraftwerkes Mühleberg (KKM) in der Schweiz  
Juli 2017

- /GRS 18/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH;  
Übersicht über Stilllegungsprojekte in Deutschland, Teil I: Prototyp- und  
Leistungsreaktoren, Stand: Juni 2018
- /GRS 18a/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH;  
Datenblätter zur Stilllegung von Leistungsreaktoren in Deutschland,  
Stand: Juni 2018 (Revision 19)
- /GRS 19/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH;  
Forschungen zu den Erfordernissen des Alterungsmanagements von  
KKW in der Nachbetriebs- und Stilllegungsphase  
GRS – 562  
Juli 2019
- /GRS 19a/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH;  
Reisebericht zur Teilnahme am Erfahrungsaustausch ENSI-GRS  
In Brugg, Schweiz 19. und 20. November 2019  
Im Rahmen des Vorhabens 4719R01352  
Köln, Dezember 2019
- /GRS 20/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH;  
Zusammenstellung und Vergleich der Verfahrensordnungen im Kontext  
von Änderungs-, Stillsetzungs- und Abbaumaßnahmen bei deutschen  
Kernkraftwerken in Stilllegung  
Köln, Mai 2020
- /IAE 20/ Internationale Atomenergie-Organisation  
Power Reactor Information System (PRIS)  
Juni 2020
- /ICO 17/ International Conference on Nuclear Decommissioning;  
ICOND-Tagungsband; Aachen 2017
- /ICO 18/ International Conference on Nuclear Decommissioning;  
ICOND-Tagungsband; Aachen 2018

- /INT 13/ INTAC GmbH  
Stellungnahme zu ausgewählten Anforderungen bei Stilllegung und Abbau von Atomkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland  
August 2013
- /JTK 18/ 49. Jahrestagung Kerntechnik / 49<sup>th</sup> Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT 2019)  
Berlin
- /JTK 19/ 50. Jahrestagung Kerntechnik / 50<sup>th</sup> Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT 2019)  
Berlin
- /KBR 17/ PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Brokdorf  
Antrag nach § 7 (3) AtG zur Stilllegung und zum Abbau der Anlage in der ersten Abbauphase (1. SAG)  
01. Dezember 2017
- /KBR 17a/ PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Brokdorf  
Frühzeitige Informationen zum Vorhaben Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerkes Brokdorf  
Informationszentrum Kernkraftwerk Brokdorf, 02. November 2017
- /KBR 20/ PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Brokdorf  
Antrag nach § 7 (3) AtG zur Stilllegung und zum Abbau der Anlage in der ersten Abbauphase (1. SAG) vom 01.12.2017  
Antragsergänzung  
24. März 2020
- /KBR 20a/ PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Brokdorf  
Kurzbeschreibung – Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerkes Brokdorf  
Mai 2020
- /KBR 20b/ PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Brokdorf  
Sicherheitsbericht – Stilllegung und Abbau des KBR  
Mai 2020

- /KKB 12/ Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG  
Antrag nach § auf Stilllegung und Abbau  
01. November 2012
- /KKB 14/ Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG  
Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung und Abbau; Präzisierung des Antrages  
19. Dezember 2014
- /KKB 15/ Vattenfall Europe Nuclear Energy, Kernkraftwerk Brunsbüttel  
Sicherheitsbericht – Stilllegung und Abbau  
Februar 2015
- /KKB 17/ Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung,  
Reaktorgebäude des Kernkraftwerks Brunsbüttel brennelementfrei  
<https://www.schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/V/Presse/>  
21. Juni 2017
- /KKB 18/ M. Willicks  
Vattenfall, Kernkraftwerk Brunsbüttel  
KKB Energiewende konkret  
15.05.2018
- /KKB 18a/ Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung  
Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB)  
Stilllegung und Abbau  
21. Dezember 2018
- /KKE 16/ Kernkraftwerke Lippe-Ems GmbH, Kernkraftwerk Emsland  
Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung und Abbau der Anlage  
22. Dezember 2016

- /KKG 14/ E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Grafenrheinfeld  
Antrag nach § 7 (3) AtG zur Stilllegung und zum Abbau der Anlage  
(KKG-GEN-2014-01)  
28. März 2014
- /KKG 16/ E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Grafenrheinfeld  
Sicherheitsbericht – Kernkraftwerk Grafenrheinfeld Stilllegung und Ab-  
bau  
Mai 2016
- /KKG 18/ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz  
Erste Genehmigung nach § 7 Absatz 3 des Atomgesetzes zur Stillle-  
gung und zum Abbau des Kernkraftwerks Grafenrheinfeld  
11. April 2018
- /KKG 20/ PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Grafenrheinfeld  
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld: Brennelementfreiheit erreicht –  
CASTOR-Beladekampagne erfolgreich abgeschlossen  
Pressemitteilungen 2020, <https://www.preussenelektra.de/de/>  
16. Mai 2020
- /KKG 20a/ PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Grafenrheinfeld  
Rückbau des Kernkraftwerks Grafenrheinfeld kommt gut voran  
Pressemitteilungen 2020, <https://www.preussenelektra.de/de/>  
16. Juni 2020
- /KKG 20b/ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz  
Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG): Informationen zum Rückbau  
[https://www.stmuv.bayern.de/themen/reaktorsicherheit/stilllegung\\_ab-  
bau/in\\_stilllegung\\_kkg\\_informationen.htm](https://www.stmuv.bayern.de/themen/reaktorsicherheit/stilllegung_abbau/in_stilllegung_kkg_informationen.htm)  
Stand Juli 2020
- /KKI 12/ E.ON Kernkraft GmbH  
Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG zur Stilllegung und zum Abbau der Anlage  
(KKI-I-GEN-2012-01)  
Mai 2012

- /KKI 14/ E.ON Kernkraft GmbH  
Sicherheitsbericht für den Restbetrieb und Abbau des Kernkraftwerks Isar 1  
Stand: Februar 2014
- /KKI 19/ PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Isar 2 (KKI-2)  
Antrag nach § 7 (3) AtG zur Stilllegung und zum Abbau der Anlage (Erste Abbauphase; 1. SAG), KKI-2-GEN-2019-01  
01. Juli 2019
- /KKI 19a/ PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Isar 2 (KKI-2)  
Frühzeitige Informationen zum Vorhaben Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerkes Isar 2, Informationszentrum Kernkraftwerk Isar,  
28. Mai 2019
- /KKK 15/ Kernkraftwerk Krümmel GmbH Co. OHG: Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung und Abbau Kernkraftwerk Krümmel. Stilllegungsantrag, 8 S., zitiert am 31. März 2017
- /KKK 17/ Kernkraftwerk Krümmel GmbH Co. OHG: Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung und Abbau; hier: Präzisierung des Antrags  
29. September 2017
- /KKK 18a/ Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH  
Kurzbeschreibung für die Stilllegung und den Abbau des Kernkraftwerks Krümmel  
Mai 2018
- /KKK 18b/ Vattenfall Europe Nuclear Energy, Kernkraftwerk Krümmel  
Sicherheitsbericht. Stilllegung und Abbau Kernkraftwerk Krümmel,  
Mai 2018
- /KKP 13/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Philippsburg 1 (KKP 1)  
Antrag auf Erteilung einer Stilllegung- und Abbaugenehmigung (1. SAG) gem. § 7 Abs. 3 Atomgesetzes (AtG)  
24. April 2013

- /KKP 14/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Neckarwestheim  
Sicherheitsbericht – Stilllegung und Abbau von Anlagenteilen des Kernkraftwerks Philippsburg Block 1 (KKP 1)  
Dezember 2014
- /KKP 14a/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Neckarwestheim  
Kurzbeschreibung – Stilllegung und Abbau von Anlagenteilen des Kernkraftwerks Philippsburg Block 1 (KKP 1)  
Dezember 2014
- /KKP 16/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Philippsburg 2 (KKP 2)  
Antrag auf Erteilung einer Stilllegungs- und Abbaugenehmigung (SAG) für das Kernkraftwerk Philippsburg Block 2 gemäß § 7 Abs. 3 Atomgesetzes (AtG)  
18. Juli 2016
- /KKP 17/ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg  
Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Philippsburg, Block 1 (KKP 1) der EnBW Kernkraft GmbH (EnKK)  
Stilllegungs- und erste Abbaugenehmigung (1. SAG) vom 07. April 2017
- /KKP 17a/ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg  
Bericht über die Entsorgung von radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen aus Baden-Württemberg vom April 2017
- /KKP 17b/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Philippsburg 2 (KKP 2)  
Antrag auf Erteilung einer Stilllegungs- und Abbaugenehmigung (SAG) für das Kernkraftwerk Philippsburg Block 2 gemäß § 7 Abs. 3 Atomgesetzes (AtG)  
15. Mai 2017
- /KKP 18/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Neckarwestheim  
Sicherheitsbericht KKP 2/SAG/II/01 – Stilllegung und Abbau von Anlagenteilen des Kernkraftwerks Philippsburg Block 2 (KKP 2)  
Januar 2018

- /KKP 19/ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg  
Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Philippsburg, Block 2 (KKP 2) der EnBW Kernkraft GmbH (EnKK) Stilllegungs- und Abbaugenehmigung (SAG) vom 17.12.2019
- /KKP 20/ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg  
Bericht über die Entsorgung von radioaktiven Abfällen und abgebrannten Brennelementen aus Baden-Württemberg vom Mai 2020
- /KKP 20a/ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg  
Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Philippsburg, Block 1 (KKP 1) der EnBW Kernkraft GmbH (EnKK) Zweite Abbaugenehmigung (2. AG) vom 30.07.2020
- /KKR 97/ Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung; Land Brandenburg  
Genehmigung Nr. I/97 (G 03)  
Genehmigung nach § 7 Abs. 3 Atomgesetz (AtG) zur Demontage von Komponenten in den Räumen R201/1-3 und R202/1-3 des Reaktorgebäudes des Kernkraftwerkes Rheinsberg der Energiewerke Nord GmbH (EWN GmbH)  
April 1997
- /KKR 99/ Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung; Land Brandenburg  
Genehmigung Nr. I/99  
Genehmigung zur Transportbereitstellung des Transport- und Lagerbehälters des Typs CASTOR® 440/84 mit verändertem Korb (TLB CASTOR® mvK) im Kernkraftwerk Rheinsberg der Energiewerke Nord GmbH (EWN GmbH), Az.: I4 - 77513/1-6  
April 1999



- /KKS 01/ E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Stade  
Antrag nach § 7 Absatz 3 Atomgesetz vom 23.07.2001  
Stilllegung, Abbau Phase 1 und Lager für radioaktive Abfälle  
23. Juli 2001
- /KKU 12/ E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Unterweser  
Antrag nach § 7 (3) AtG zur Stilllegung und zum Abbau der Anlage,  
KKU-GEN-2012-01  
04. Mai 2012
- /KKU 13/ E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Unterweser  
Antrag nach § 7 (3) AtG zur Stilllegung und zum Abbau der Anlage,  
Erweiterung  
20. Dezember 2013
- /KKU 15/ E.ON Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Unterweser  
Sicherheitsbericht – Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerkes Unter-  
weser (KKU) und Betrieb des Lagers für radioaktive Abfälle Unterweser  
(LUnA)  
18. Juni 2015
- /KKU 18/ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klima-  
schutz  
Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Unterweser (KKU) (Be-  
scheid I/2018) – Stilllegung und Abbau (Stilllegung, Abbauphase 1)  
Az.: 42-40311/7/170/20.8-01  
05. Februar 2018
- /KKU 18a/ PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Unterweser  
Technischer Jahresbericht zur Information der RSK 2018  
Stand: 15. März 2019
- /KKU 18b/ PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Unterweser  
Antrag nach § 7 (3) AtG zum weiteren Abbau der Anlage KKU, Phase 2  
(2. AG), KKU-GEN-2018-01,  
15. November 2018

- /KKU 18c/ PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Unterweser  
Informationen zum Standort Unterweser – Rückbauschritte im KKKU  
6. Februar 2018
- /KON 17/ KONTEC 2017; Konferenz-Tagungsband;  
Dresden 2017
- /KON 19/ KONTEC 2019; Konferenz-Tagungsband;  
Dresden 2019
- /KRB 14/ RWE Power AG, Kernkraftwerk Gundremmingen (KRB II)  
Antrag nach § 7 Abs. 3 Atomgesetz auf Abbau von Anlagenteilen des  
Blocks B des KRB II  
11. Dezember 2014
- /KRB 16/ Kernkraftwerk Gundremmingen GmbH  
Abbau KRB II – Kurzbeschreibung  
23.09.2016
- /KRB 19/ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz  
Erste Genehmigung nach § 7 Absatz 3 des Atomgesetzes zur Stille-  
legung und zum Abbau des Kernkraftwerks Gundremmingen II (KRB II)  
19. März 2019
- /KRB 19a/ RWE Power AG, Kernkraftwerk Gundremmingen (KRB II)  
Antrag nach § 7 Abs. 3 Atomgesetz auf Abbau von Anlagenteilen des  
Blocks C des KRB II  
31. Juli 2019
- /KTA 15a/ Sicherheitstechnische Regel des KTA  
KTA 1201 - Anforderungen an das Betriebshandbuch  
Fassung 2015-11
- /KTA 15b/ Sicherheitstechnische Regel des KTA  
KTA 3303 - Wärmeabfuhrsysteme für Brennelementlagerbecken von  
Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren  
Fassung 2015-11

- /KWB 12/ RWE Power AG, Kraftwerk Biblis, Block A  
Antrag nach § 7 Abs. 3 Atomgesetz auf Stilllegung und zum Abbau  
6. August 2012
- /KWB 14/ RWE Power AG, Kraftwerk Biblis  
Sicherheitsbericht – Stilllegung und Abbau des KWB-A; (A022/12)  
April 2014
- /KWB 16/ RWE Power AG, Kraftwerk Biblis  
Sitzung Informationsforum Biblis  
22. November 2016
- /KWB 18/ Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und  
Verbraucherschutz  
Staatliche Aufsicht über das Kernkraftwerk Biblis  
Jahresbericht 2018
- /KWB 18a/ RWE Nuclear GmbH, Kraftwerk Biblis  
8. Änderungsgenehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen im  
Standort-Zwischenlager in Biblis der RWE Nuclear GmbH  
14. Juni 2018
- /KWB 19/ Hessische Landesregierung  
Rückbau des Kernkraftwerks Biblis  
<https://www.hessen.de/pressearchiv/>  
03. Juni 2019
- /KWG 17/ PreussenElektra GmbH, Kernkraftwerk Grohnde  
Antrag nach §7(3) AtG zur Stilllegung und zum Abbau der Anlage in der  
ersten Abbauphase (1.SAG)  
26. Oktober 2017
- /KWO 06/ EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Obrigheim  
Stilllegung und Abbau Kernkraftwerk Obrigheim  
Angaben zu den insgesamt geplanten Maßnahmen, zur Stilllegung und  
zum Abbau des Kernkraftwerks Obrigheim (Angaben gemäß § 19  
b Abs. 1 AtVfV); 19. Mai 2006

- /KWO 07/      Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg  
Entwurf Genehmigungsbescheid für das Kernkraftwerk Obrigheim (KWO) der EnBW Kernkraftwerk GmbH (EnKK)  
1. Stilllegungs- und Abbaugenehmigung  
16. August 2007
- /KWO 08/      EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Obrigheim  
Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerkes Obrigheim (KWO)  
Sicherheitsbericht zum Antrag auf Erteilung der 2. Stilllegungs- und Abbaugenehmigung  
15. Dezember 2008
- /KWO 18/      EnBW Kernkraft GmbH, Kernkraftwerk Obrigheim Pressemitteilung:  
<https://www.enbw.com/unternehmen/konzern/energieerzeugung/kernenergie/standorte/standort-obrigheim.html>  
28. Mai 2018. (letzter Zugriff)
- /RSK 19/      Reaktor-Sicherheitskommission  
RSK-Stellungnahme (509. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 27. März 2019)  
Anforderungen bei einer passiven Kühlung der Brennelemente im Lagerbecken  
März 2019
- /RSK 95/      Reaktor-Sicherheitskommission  
Stilllegung und Teilabbau des Kernkraftwerks Rheinsberg (KKR)  
Gemeinsame Stellungnahme der Reaktor-Sicherheitskommission und der Strahlenschutzkommission  
Februar 1995
- /SSG 19/      Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I 2017, Nr. 42, S. 1966), zuletzt geändert durch Artikel 11 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I 2019, Nr. 48, S. 2510).

- /SSK 95/ Strahlenschutzkommission  
Kernkraftwerk Greifswald (KGR) Blöcke 1 – 6 Stilllegung der Anlage mit  
Abbau von Anlagenteilen  
Stellungnahme der Reaktor-Sicherheitskommission und der Strahlen-  
schutzkommission  
April 1995
- /SSV 20/ Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender  
Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 29. Novem-  
ber 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), die durch Artikel 1 der Verordnung  
vom 27. März 2020 (BGBl. I S. 748) geändert worden ist.
- /UMBW 15/ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft  
Stenografisches Wortprotokoll zum Erörterungstermin im Rahmen des  
atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens zur Stilllegung und zum Ab-  
bau von Anlagenteilen des Kernkraftwerks Neckarwestheim Block I  
(GKN I)  
Juni 2015
- /VAT 20/ Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH  
Pressemitteilungen 2020
- /WES 19/ Successful reactor vessel internals segmentation projects in Germany  
and Sweden  
Joseph Boucau, Westinghouse Electric Company  
Sebastian Grieser, Westinghouse Electric Germany GmbH Dirk Förster,  
GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH  
KONTEC, 2019

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Leistungsreaktoren in Deutschland, die sich im Betrieb, im Nachbetrieb und in der Stilllegung befinden /BMU 20/.....	8
Abb. 4.1	Verfahrensablauf des KKI 1 .....	39
Abb. 4.2	Verfahrensablauf des KKK.....	41
Abb. 4.3	Vorgesehene genehmigungstechnische Umsetzung der Stilllegung und des Abbaus von Anlagenteilen des GKN I /GKN 14/ .....	43
Abb. 4.4	Verfahrensablauf des KKP 1 /KKP 14a/.....	47
Abb. 4.5	Phasenkonzept zur Durchführung der Abbaumaßnahmen am KKV /KKU 15/.....	50
Abb. 4.6	Vorgesehener genehmigungstechnischer Ablauf der Stilllegung des KBR /KBR 20a/ .....	55
Abb. 4.7	Schematische Darstellung des Abbauprojekts (Zeitangaben geschätzt) /KRB 16/ .....	58
Abb. 4.8	Mögliche Abbaufolge im Reaktorgebäude-Innenraum /GKN 18a/ .....	62
Abb. 6.1	Abbaubereiche in der ersten Stilllegungsphase /ENS 19/.....	76



## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Auflistung der Kernkraftwerke, die die Berechtigung zum Leistungsbetrieb gemäß dem Dreizehnten Gesetz zur Änderung des AtG verloren haben bzw. verlieren werden .....	7
Tab. 7.1	Zusammenfassung der in Kapitel 4 durchgeführten Anlagenauswertung .....	79
Tab. 7.2	Zusammenfassung der in Kapitel 4 durchgeführten Anlagenauswertung (Fortsetzung Tab. 7.1).....	80
Tab. 7.3	In den verschiedenen Anlagenzuständen von Nachbetrieb und Stilllegung benötigte Systeme /GRS 19/ Die Tabelle umfasst der Vollständigkeit halber auch mehrere betriebliche Systeme. X: System wird benötigt, -: System wird nicht mehr benötigt.....	84



## Abkürzungsverzeichnis

Arbek	Autarke redundante Brennelement-Lagerbeckenkühlung
AtG	Atomgesetzes
AtVfV	Atomrechtliche Verfahrensverordnung
AVR	Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich
BE	Brennelemente
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)
EABN	Endgültigen Außerbetriebnahme
EELB	Endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs
EnKK	EnBW Kernkraft GmbH
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Schweiz
ESK	Entsorgungskommission
EtNb	Etablierung des technischen Nachbetriebs
EWN	Energiewerke Nord
GKN	Kernkraftwerk Neckarwestheim
GNS	Gesellschaft für Nuklear-Service mbH
IAEA	Internationale Atomenergie-Organisation
KBR	Kernkraftwerk Brokdorf
KGR	Kernkraftwerk Greifswald
KKB	Kernkraftwerk Brunsbüttel
KKE	Kernkraftwerk Emsland
KKG	Kernkraftwerk Grafenrheinfeld
KKI BELLA	Brennelementbehälterlager Isar
KKI	Kernkraftwerk Isar
KKK	Kernkraftwerk Krümmel
KKM	Kernkraftwerks Mühleberg
KKP	Kernkraftwerk Philippsburg

KKR	Kernkraftwerk Rheinsberg
KKS	Kernkraftwerk Stade
KKU	Kernkraftwerk Unterweser
KKW	Kernkraftwerk
KRB-A	Kernkraftwerk Gundremmingen A
KRB II-B/C	Kernkraftwerk Gundremmingen B/C
KTA	Kerntechnischer Ausschuss, Herausgeber des Deutschen Kerntechnischen Regelwerkes
KWB	Kernkraftwerk Biblis
KWG	Kernkraftwerk Grohnde
KWO	Kernkraftwerk Obrigheim
LSSB	Längerfristiger Stillstandsbetrieb
MELUND	Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung
MELUR	Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein
RDB	Reaktordruckbehälter
RSK	Reaktor-Sicherheitskommission
SAG	Stilllegungs- und Abbaugenehmigung
SiAnf	Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke
StMUG	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit
StMUV	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
StrlSchG	Strahlenschutzgesetz
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
SWR	Siedewasserreaktor
UM BW	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg
VAK	Versuchsatomkraftwerk Kahl
WWER	Wasser-Wasser-Energie-Reaktor, „russischer DWR“

ZAB	Nass-Zentrallager für abgebrannten Brennstoff
ZAW	Zentrale Aktive Werkstatt
ZLN	Zwischenlager Nord

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

Schwertnergasse 1  
**50667 Köln**

Telefon +49 221 2068-0

Telefax +49 221 2068-888

Boltzmannstraße 14

**85748 Garching b. München**

Telefon +49 89 32004-0

Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200

**10719 Berlin**

Telefon +49 30 88589-0

Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4

**38122 Braunschweig**

Telefon +49 531 8012-0

Telefax +49 531 8012-200

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

**ISBN 978-3-947685-76-9**