

# Erste Stilllegung eines kommerziellen Kernkraftwerks in der Schweiz

Dr. Anton von Gunten<sup>a</sup>; Julia Heizinger<sup>a</sup>, Thomas Herren<sup>a</sup>,  
Michael Kruse<sup>b</sup> Philippe-André Künzi<sup>a</sup>, Erwin Neukäter<sup>a</sup>

<sup>a</sup> BKW Energie AG, Kernkraftwerk Mühleberg, CH-3203 Mühleberg;

<sup>b</sup> Arthur D. Little GmbH, The Squire, D-60600 Frankfurt am Main

Mit der Entscheidung, das Kernkraftwerk Mühleberg 2019 ausser Betrieb zu nehmen, wird zum ersten Mal ein kommerziell betriebenes Kernkraftwerk in der Schweiz stillgelegt. Nach kurzer Erläuterung der Energiestrategie der Schweiz und der daraus für die BKW resultierenden Folgen werden die Gründe für die Ausserbetriebnahme erläutert. Danach wird auf die personellen und technischen Herausforderungen der letzten Betriebsjahre zur Gewährleistung des sicheren Betriebes eingegangen. Zu diesen Herausforderungen zählen insbesondere die Bindung von Wissensträgern, die Überführung der Betriebs- in eine Projektorganisation sowie die angemessene Kommunikation der Massnahmen. Schliesslich wird im Hauptteil die eigentliche Stilllegung erläutert. Hierbei wird sowohl auf technische als auch auf regulatorische Besonderheiten der Projektentwicklung und -abwicklung eingegangen. Die technischen Aspekte umfassen neben dem eigentlichen Rückbau auch den Nachbetrieb sowie vorbereitende Massnahmen, wie die Umnutzung des Maschinenhauses als Materialbehandlungszentrum. Ferner werden Voraussetzungen diskutiert, welche den Rückbau ermöglichen, sobald die Stilllegung verfügt wird, unabhängig von allfällig dann noch auf der Anlage vorhandener Brennelemente. Der rechtliche Rahmen einer Stilllegung in der Schweiz wird dargestellt unter Berücksichtigung von Stilllegungsziel, Bewilligungsverfahren, Behörden und Zuständigkeiten sowie dem Einbezug Dritter. Ebenfalls wird auf das Projekt zur Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg eingegangen. Dabei werden nicht nur die Organisation des Projektes vorgestellt, sondern auch die strategischen Überlegungen für eine sachgerechte Vorbereitung bereits Jahre vor der endgültigen Ausserbetriebnahme.

## Inhalt

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>2</b>
1.1 Energiestrategie der Schweiz .....	2
1.2 BKW und KKM.....	2
<b>2. Der sichere Betrieb und die endgültige Ausserbetriebnahme des KKM.....</b>	<b>3</b>
2.1 Gründe für die Ausserbetriebnahme des KKM .....	3
2.2 Sicherer Betrieb bis zum Schluss .....	3
<b>3. Rechtlicher Rahmen der Stilllegung.....</b>	<b>4</b>
3.1 Bewilligungssituation nach endgültiger Ausserbetriebnahme .....	4
3.2 Bewilligungssituation im Nachbetrieb .....	4
3.3 Bewilligungssituation nach Verfügung der Stilllegung.....	5
<b>4. Überlegungen zum Ablauf der Stilllegung .....</b>	<b>6</b>
<b>5. Das Stilllegungsprojekt der BKW .....</b>	<b>8</b>
5.1 Inhalte, Verfügungsverfahren und Erarbeitung.....	8
5.2 Projektorganisation.....	9
5.3 Herausforderungen des Stilllegungsprojektes .....	9
<b>6. Technische Aspekte der Stilllegung.....</b>	<b>10</b>
6.1 Das Maschinenhaus als Entsorgungszentrum .....	10
6.2 Autarkie des Brennelementlagerbeckens .....	11
6.3 Entsorgung .....	12
<b>7. Fazit .....</b>	<b>14</b>
<b>8. Schlussbemerkung.....</b>	<b>14</b>
<b>Referenzen .....</b>	<b>15</b>

# 1. Einleitung

## 1.1 Energiestrategie der Schweiz

### Strommix der Schweiz und Energiestrategie 2050

Wichtigste Stromquelle der Schweiz ist die Wasserkraft. Sie liefert nahezu 60 % des hierzulande erzeugten Stroms. An zweiter Stelle stehen die fünf Kernkraftwerke, welche mit über 36 % der Stromproduktion einen wesentlichen Beitrag zum Schweizer Strommix leisten. Thermische Kraftwerke spielen mit weniger als 4 % nur eine untergeordnete Rolle. Auch die sonstigen Erneuerbaren (Photovoltaik, Wind, etc.) tragen bislang nur einen kleinen Teil zum Energiemix bei<sup>1</sup>.

Trotz der langen und erfolgreichen Geschichte der Schweizer Kernenergie, haben Bundesrat und Parlament im Jahr 2011 einen (allerdings dem Souverän noch nicht vorgelegten) Grundsatzentscheid für einen schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie gefällt. Die fünf existierenden Kernkraftwerke sollen am Ende ihrer sicherheitstechnischen Betriebsdauer stillgelegt und nicht durch neue Kernkraftwerke ersetzt werden. Dieser Entscheid sowie die zu beobachtenden Veränderungen im internationalen Energieumfeld machen einen Umbau des Schweizer Energiesystems erforderlich. Hierfür wurde vom Bundesrat die Energiestrategie 2050 erarbeitet. Damit legte der Bundesrat ein erstes Massnahmenpaket für die langfristige Sicherstellung der Energieversorgung vor. Dabei soll in erster Linie auf eine konsequente Erschliessung der vorhandenen Energieeffizienzpotenziale und in zweiter Linie auf eine ausgewogene Ausschöpfung der vorhandenen Potenziale der Wasserkraft und der neuen erneuerbaren Energien gesetzt werden. Zudem soll in einer zweiten Etappe das bestehende Fördersystem durch ein Lenkungssystem abgelöst werden.

Trotz des Entscheids für einen sukzessiven Ausstieg aus der Kernenergie wurden für die bestehenden Kraftwerke keine maximalen Betriebsdauern oder feste Ausserbetriebnahmezeitpunkte festgelegt. Jedoch wurde bislang – zum Beispiel bei den Berechnungen für den Bedarf an erneuerbarer Energie im Rahmen der Energiestrategie – mit einer Laufzeit von 50 Jahren gerechnet. Im Oktober 2014 gab das Eidgenössische Nuklearinspektorat (Ensi) bekannt, dass zumindest die neueren Anlagen (Leibstadt und Gösgen) aus technischer Sicht auch über 60 Jahre hinaus betrieben werden könnten. Ein definitiver Ausstiegszeitpunkt ist in der Schweiz daher heute nicht absehbar.

## 1.2 BKW und KKM

Die BKW Energie AG (BKW) ist eine gemischtwirtschaftliche Unternehmung im Bereich der Energieversorgung mit starker Verwurzelung im schweizerischen Mittelland. Ihre Kerntätigkeit besteht aus Strombeschaffung, -handel, -verteilung und -verkauf sowie den zugehörigen Energiedienstleistungen. Sie verfügt über Werke und Anlagen, Beteiligungen und Bezugsrechte in der ganzen Schweiz und im Ausland.

Das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) gehört zu 100 % der BKW und ist bis heute ihre wichtigste Produktionsanlage. Es liegt inmitten des traditionell von der BKW versorgten Gebiets, welches hauptsächlich die Kantone Bern und Jura sowie Teile der Kantone Solothurn, Baselland und Neuenburg umfasst. Das KKM produziert rund 30 % des Stroms aller Kraftwerke der BKW und ihrer -Beteiligungen beziehungsweise rund 40 % der Energie, welche von den direkt versorgten Kunden verbraucht wird. Entsprechend hoch ist die Bedeutung des zuverlässigen und sicheren Betriebs dieser Anlage.

---

<sup>1</sup> BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2013; BFE; schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien, Ausgabe 2013

## 2. Der sichere Betrieb und die endgültige Ausserbetriebnahme des KKM

### 2.1 Gründe für die Ausserbetriebnahme des KKM

Die BKW hat im Oktober 2013 entschieden, das KKM unter Einhaltung aller Sicherheitsanforderungen bis ins Jahr 2019 weiter zu betreiben und anschliessend vom Netz zu nehmen. Bei dieser unternehmerischen Entscheidung wurden sämtliche bekannten technischen, wirtschaftlichen, regulatorischen und politischen Aspekte berücksichtigt.

Die Investitionen für einen Langzeitbetrieb hätten für die BKW hohe Kosten zur Folge gehabt, deren Amortisation in der restlichen Laufzeit der Anlage unter den gegebenen wirtschaftlichen, regulatorischen und politischen Rahmenbedingungen zu unsicher gewesen wären. Die BKW rechnet auch damit, dass mittelfristig weitere, gegenwärtig noch undefinierte und nicht quantifizierbare technische, wirtschaftliche und politische Unwägbarkeiten eintreten, welche die wirtschaftlichen Risiken des Langzeitbetriebs zusätzlich erhöhen würden. Die aktuellen und prognostizierten Marktverhältnisse lassen einen wirtschaftlichen Betrieb des KKM nicht mehr zu. Die BKW rechnet damit, dass die Handelspreise für Strom am europäischen Markt bis mindestens ins Jahr 2020 tiefer sind als die Gestehungskosten des KKM.

Zudem setzt der Verzicht auf einen Langzeitbetrieb finanzielle Mittel frei und erlaubt es der BKW, gemäss ihrer Konzernstrategie verstärkt in neue, alternative Produktionskapazitäten sowie in innovative Produkte und Energiedienstleistungen zu investieren. Der Verzicht auf die Investitionen für einen Langzeitbetrieb reduziert das unternehmerische Risiko wesentlich und unterstützt einen verstärkten Ausbau von Wasserkraft und Windenergie im In- und Ausland sowie Investitionen in neue innovative Produkte und Dienstleistungen.

Für eine Ausserbetriebnahme im Jahre 2019 sprachen für die BKW wesentliche Gründe:

- Überblickbare Investitionen in das KKM,
- Geordnete Abschaltung und ausreichend Vorbereitungszeit,
- Robuste Lösung bezüglich der Strompreisentwicklung sowie
- Begrenzung der politischen Unsicherheiten.

### 2.2 Sicherer Betrieb bis zum Schluss

Bis zum Betriebsende 2019 werden sämtliche Mitarbeitende des KKM in der Anlage weiterbeschäftigt. Es sind keine betrieblichen Entlassungen vorgesehen. Primäres Ziel ist es vielmehr, die heute im KKM tätigen Spezialisten und Fachkräfte für die restlichen Betriebsjahre der Anlage sowie für einen allfälligen Nachbetrieb und die Stilllegung zu halten.

Die auf den Betrieb einer Anlage ausgerichtete Organisationsstruktur ist spätestens mit Beginn der vorbereitenden Arbeiten für den Rückbau überholt. Nach der endgültigen Ausserbetriebnahme ist nicht mehr ein Kernkraftwerk zu betreiben, sondern eine Kernanlage mit anfangs noch vorhandenem Kernbrennstoff. Dementsprechend bestehen andere Anforderungen und Betriebsbedingungen. Das Arbeiten in der Anlage erfolgt in zunehmendem Ausmass in einer Vielzahl von Projekten, was eine andere Arbeitsweise und eine andere Organisationsstruktur erfordert. Das Primat der Sicherheit ist nach wie vor zu beachten, jedoch ist die Zielsetzung hinsichtlich zeitlicher Abläufe und Kosten völlig anders. Daraus ergeben sich folgende Konsequenzen:

- Die Organisationsstruktur und das Managementsystem, insbesondere auch die auf den Betrieb ausgerichteten Prozesse, sind baldmöglichst zu überarbeiten und an die erforderliche neue Linien- und Organisationsstruktur anzupassen.

- Vorgehensweisen und Arbeiten im Nachbetrieb und im Rückbau beziehungsweise während der gesamten Stilllegung müssen durch Etablierung eines zweckmässigen Projektmanagements planbar und steuerbar sein. Nur so kann
  - dem erforderlichen Change-Management Rechnung getragen werden,
  - dem Bedürfnis des Personals nach Sicherheit des Arbeitsplatzes beziehungsweise belastbaren Zukunftsperspektiven entsprochen werden und
  - dem Betreiber ermöglicht werden, frühzeitig die Weiterentwicklung der Mitarbeitenden auf Basis der Altersstruktur zu planen.

Nur mit der frühzeitigen Umsetzung einer neuen Organisationsstruktur und dem rechtzeitigen Erkennen und Umsetzen der Bedürfnisse des Personals können Motivation und Leistungsbereitschaft aufrechterhalten sowie zugunsten eines sicheren und effizienten Rückbaus weiterentwickelt werden.

### 3. Rechtlicher Rahmen der Stilllegung

#### 3.1 Bewilligungssituation nach endgültiger Ausserbetriebnahme

Die endgültige Ausserbetriebnahme<sup>2</sup> eines Kernkraftwerks beruht auf dem Entscheid des Bewilligungsinhabers, die Anlage nicht mehr zur Stromproduktion zu nutzen. Der Entscheid des Bewilligungsinhabers kann auch dadurch ausgelöst werden, dass die Aufsichtsbehörde Nachrüstmassnahmen verlangt, die der Bewilligungsinhaber (aus technischen, wirtschaftlichen oder anderen Gründen) nicht umsetzen will<sup>3</sup>.

Der Inhaber der Betriebsbewilligung ändert mit der endgültigen Ausserbetriebnahme insofern den Zweck des Kernkraftwerks, als er auf einen Teil der Betriebsbewilligung, namentlich auf die darin festgelegte zulässige Reaktorleistung<sup>4</sup>, verzichtet. Ausserdem wird der Eigentümer der Anlage stilllegungspflichtig<sup>5</sup>.

Nach der endgültigen Ausserbetriebnahme bleibt die bestehende Betriebsbewilligung – sofern diese nicht entzogen<sup>6</sup> worden ist – die Grundlage für die Vorbereitung der Stilllegung bis zum Inkrafttreten der Stilllegungsverfügung und grundsätzlich auch darüber hinaus bis zur Entlassung aus der Kernenergiegesetzgebung.

#### 3.2 Bewilligungssituation im Nachbetrieb

An die endgültige Ausserbetriebnahme schliesst sich gegebenenfalls die Zeit des Nachbetriebs an<sup>7</sup>. Dieser dauert bis zum Inkrafttreten der Stilllegungsverfügung. Er umfasst Massnahmen und administrative Tätigkeiten, um nach der endgültigen Ausserbetriebnahme den sicheren Betrieb der noch benötigten Systeme und der Gesamtanlage unter den Vorgaben der Betriebsbewilligung aufrechtzuerhalten. Darüber hinaus umfasst er auch Massnahmen zur Ausserbetrieb-

<sup>2</sup> Die endgültige Ausserbetriebnahme ist klar von einer vorläufigen Ausserbetriebnahme zu unterscheiden. Letztere erfolgt, wenn eines oder mehrere der gemäss Artikel 22 Absatz 3 des Kernenergiegesetzes (KEG [1]) in Artikel 44 der Kernenergieverordnung (KEV [2]) bezeichneten Kriterien erfüllt sind. Sie kann – im Gegensatz zur endgültigen Ausserbetriebnahme – von den Aufsichtsbehörden bei bestimmten Ereignissen bzw. Verhältnissen angeordnet werden.

<sup>3</sup> Sollte der Bewilligungsinhaber eine Auflage oder eine verfügte Massnahme trotz Mahnung nicht erfüllen, würde gemäss Art. 67 Abs. 1 KEG [1] das Uvek die Betriebsbewilligung entziehen und die Stilllegung anordnen. Die in der Betriebsbewilligung enthaltenen Bestimmungen, die zur Sicherheit der Kernanlage auch nach der Ausserbetriebnahme erforderlich sind, bleiben gemäss Art. 69 KEG [1] nach dem Entzug oder Erlöschen der Bewilligung bis zur Anordnung der Stilllegungsarbeiten bzw. bis zum Inkrafttreten der Stilllegungsverfügung gültig.

<sup>4</sup> Artikel 21 Absatz 1 Buchstabe b KEG [1]

<sup>5</sup> Artikel 26 Absatz 1 KEG [1]

<sup>6</sup> gemäss Artikel 67 KEG [1]

<sup>7</sup> Der Nachbetrieb entfällt, falls die Stilllegungsverfügung zum Zeitpunkt der endgültigen Ausserbetriebnahme rechtskräftig vorliegt.

nahme nicht mehr benötigter Systeme sowie die Arbeiten zur Vorbereitung des Rückbaus. Der Nachbetrieb ist gesetzlich nicht ausdrücklich geregelt. Dies ist auch nicht erforderlich, weil die bei endgültiger Ausserbetriebnahme geltenden Bestimmungen und insbesondere die Freigabepflicht<sup>8</sup> weiterhin anwendbar sind<sup>9</sup>. Somit ist der Nachbetrieb durch die Betriebsbewilligung abgedeckt, allerdings mit der Einschränkung, dass die darin genannte, zulässige Reaktorleistung<sup>4</sup> nach dem Verzicht auf die Stromproduktion ausschliesslich durch die Nachzerfallsleistung des Kernbrennstoffs gegeben ist.

Mit dem Wegfall der Stromproduktion ist im Nachbetrieb die Wesentlichkeit von Anlageänderungen<sup>10</sup> anders zu beurteilen als während des Leistungsbetriebs. Die Grundsätze zur Vorsorge<sup>11</sup> behalten unverändert ihre Gültigkeit und prinzipiell ebenso die Schutzmassnahmen<sup>12</sup>. Einige Sicherheitsbarrieren oder Sicherheitssysteme respektive Bauteile von solchen werden allerdings keine sicherheitstechnische Bedeutung mehr haben. Somit wird unter Beachtung der Melde-<sup>13</sup> beziehungsweise Freigabepflicht<sup>8</sup> auf viele Komponenten ohne jegliche Schwächung von Schutzzielen verzichtet werden können. Zu diesen Komponenten können zum Beispiel auch der Reaktordruckbehälter und die ihn umgebenden Gebäudeteile gehören.

### 3.3 Bewilligungssituation nach Verfügung der Stilllegung

Die Stilllegungspflicht, welche mit dem Entscheid zur endgültigen Ausserbetriebnahme erwächst<sup>5</sup>, beinhaltet, dass der Eigentümer der Anlage den Aufsichtsbehörden ein Projekt für die vorgesehene Stilllegung vorzulegen hat<sup>14</sup>, welches

- die Phasen und den Zeitplan der Stilllegung,
- die einzelnen Schritte von Demontage und Abbruch,
- die Schutzmassnahmen,
- den Personalbedarf und die Organisation,
- die Entsorgung der radioaktiven Abfälle und
- die Gesamtkosten sowie die Sicherstellung der Finanzierung durch die Betreiberin

darlegt<sup>15</sup>.

Basierend auf dem Stilllegungsprojekt wird dann das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Uvek) mittels einer Stilllegungsverfügung die Stilllegungsarbeiten anordnen und festlegen, welche Arbeiten einer Freigabe durch die Aufsichtsbehörden bedürfen<sup>16</sup>. Die Stilllegungsverfügung legt

- den Umfang der Stilllegungsarbeiten,
- die einzelnen Stilllegungsphasen,
- insbesondere die Dauer eines allfälligen gesicherten Einschlusses der Kernanlage,
- die Limiten für die Abgabe von radioaktiven Stoffen an die Umwelt,
- die Überwachung der Immissionen radioaktiver Stoffe und der Direktstrahlung sowie
- die Organisation

fest<sup>17</sup>.

---

<sup>8</sup> Artikel 40 KEV [2]

<sup>9</sup> Artikel 69 Absatz 1 KEG [1]

<sup>10</sup> im Sinn von Artikel 65 KEG [1]

<sup>11</sup> Artikel 4 KEG [1]

<sup>12</sup> Artikel 5 KEG [1]

<sup>13</sup> Artikel 38 bzw. 39 KEV [2]

<sup>14</sup> Artikel 27 Absatz 1 KEG [1]

<sup>15</sup> Artikel 27 Absatz 2 KEG [1]

<sup>16</sup> Artikel 28 KEG [1]

<sup>17</sup> Artikel 46 KEV [2]

Der Abschluss der Stilllegung ist erreicht, wenn die Stilllegungsarbeiten ordnungsgemäss abgeschlossen sind und das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation festgestellt hat, dass die Anlage keine radiologische Gefahrenquelle mehr darstellt und somit nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht<sup>18</sup>.

Während für die Meldepflicht<sup>13</sup> bei der Stilllegung die Bestimmungen der Kernenergieverordnung sinngemäss weiterhin gelten<sup>19</sup>, wird die Freigabepflicht<sup>8</sup> in der Stilllegungsverfügung (neu) geregelt<sup>16</sup>, insbesondere für<sup>20</sup>

- das Vorgehen zur Inaktiv-Freimessung der anfallenden Materialien,
- die Konditionierung der anfallenden radioaktiven Abfälle,
- den Abbruch von Gebäuden nach deren Dekontamination und Inaktiv-Freimessung,
- die nichtnukleare Weiternutzung von Anlageteilen vor Abschluss der Stilllegung,
- die Aufhebung von Sicherungsmassnahmen und
- die Stilllegung von Kernkraftwerken zudem für die Demontage des Reaktordruckbehälters und der ihn umgebenden Gebäudeteile.

## 4. Überlegungen zum Ablauf der Stilllegung

Während das Stilllegungsprojekt<sup>21</sup> – zumindest bei einer im Voraus geplanten endgültigen Ausserbetriebnahme – im Wesentlichen bereits während des Leistungsbetriebs erarbeitet und so weit wie möglich mit der Aufsichtsbehörde verbindlich abgestimmt werden kann, erfolgen die eigentlichen Rückbauarbeiten erst nach der Verfügung der Stilllegung durch das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation.

Im Idealfall ist die Stilllegungsverfügung am Tag nach der endgültigen Ausserbetriebnahme in Kraft. Somit könnten neben den Tätigkeiten, welche durch die Betriebsbewilligung abgedeckt sind, Rückbau-Massnahmen durchgeführt werden.

Den Rückbau vorbereitende Arbeiten werden jedoch in jedem Fall bereits im Nachbetrieb, unmittelbar nach der endgültigen Ausserbetriebnahme, durchgeführt. Ein möglicher Ablauf ist in Tabelle 1 dargestellt.

Der Darstellung des Ablaufs liegen folgende Erwägungen zugrunde:

- Es ist nicht auszuschliessen, dass sich das Inkrafttreten der Stilllegungsverfügung verzögert, sei es weil das Erarbeiten des Stilllegungsprojektes mehr Zeit in Anspruch nimmt als vorgesehen, das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat für sein Gutachten mehr Zeit benötigt als geplant, das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation nicht so schnell verfügt, wie vom Betreiber benötigt, oder Gerichtsverfahren den ganzen Prozess (unter Umständen um Jahre) verzögern.
- Es ist nicht auszuschliessen, dass der Abtransport des Kernbrennstoffs mehr Zeit in Anspruch nimmt, als den heutigen Annahmen entspricht.

Aus diesen Gründen ist Flexibilität zur Einordnung der Rückbauarbeiten in die gesetzlich<sup>22</sup> geforderten Stilllegungsphasen erforderlich, was zu folgenden Überlegungen führt:

- Der Betreiber muss in der Lage sein, bereits während des Nachbetriebs möglichst viele Vorbereitungen für die Stilllegung zu leisten. Dies betrifft das Bereitstellen für den Rückbau benötigter Infrastruktur und – um insbesondere in Siedewasseranlagen dafür Platz zu schaffen – das Entfernen von Einrichtungen wie Turbogeneratoren und Kondensation im Maschinenhaus, aber auch Systeme wie z. B. das Steuerstab-

<sup>18</sup> Artikel 29 Absatz 1 KEG [1]

<sup>19</sup> Artikel 49 KEV [2]

<sup>20</sup> Artikel 47 KEV [2]

<sup>21</sup> Abgrenzung Stilllegungskonzept, Stilllegungsplan und Stilllegungsprojekt s.z.B. Beitrag zur Kontec 2011 [5]

<sup>22</sup> Artikel 27 Absatz 2 Buchstabe a KEG [1]

**Erste Stilllegung eines kommerziellen Kernkraftwerks in der Schweiz**

antriebssystem im Reaktorgebäude. Darüber hinaus ist auch die Vorbereitung des Reaktordruckbehälters für dessen spätere Zerlegung erforderlich. Dazu erfolgt das Entfernen sämtlicher sich darin befindender, austauschbarer Komponenten, welche nach Feststehen ihrer Nichtwiederverwendbarkeit nicht als Stilllegungs- sondern als Reaktorabfälle gelten. Eine wichtige vorbereitende Tätigkeit ist – insbesondere in Druckwasseranlagen – auch das Entfernen nicht mehr benötigter Grosskomponenten.

- Der Betreiber ist darauf angewiesen, in der ersten Phase der Stilllegung bereits wesentliche Rückbauarbeiten vornehmen und insbesondere auch mit der Demontage des Reaktordruckbehälters beziehungsweise deren Vorbereitung beginnen zu können. In einzelnen Anlagebereichen sind dafür allerdings gewisse Voraussetzungen zu schaffen. Um möglichst viele Rückbauarbeiten bereits vor dem Abtransport des Kernbrennstoffs durchführen zu können, ist es notwendig, den Nachbetrieb und die erste Stilllegungsphase so zu gestalten, dass es möglich ist, alles zurückzubauen, was nicht zur Aufrechterhaltung der Schutzziele, zum Abtransport der Brennelemente oder für den weiteren Rückbau benötigt wird.
- Für jede Stilllegungsphase sind die Sicherheits- und Sicherungsanforderungen und damit die noch notwendigen Anlageteile zu definieren. Dies ist im Sicherheitsbericht zu berücksichtigen. Mit der Freigabe einer Stilllegungsphase bestätigt die Behörde die neuen, dem abnehmenden radiologischen Gefährdungspotenzial angepassten und damit tieferen Anforderungen an Sicherheit und Sicherung, wodurch weitere Systeme dem Rückbau zugeführt werden können. Das Ende einer Stilllegungsphase wird durch das Erreichen eines oder mehrerer Meilensteine definiert und nicht durch das Abschliessen aller in dieser Phase geplanten Arbeiten.
- Zwecks Minimierung des administrativen Aufwandes kann es sinnvoll sein, die Stilllegung in möglichst wenige Stilllegungsphasen einzuteilen. Das Minimum sind zwei Rückbaubeziehungsweise Stilllegungsphasen, eine für Rückbauarbeiten in Anwesenheit von Kernbrennstoff und eine für solche nach Erreichen der Kernbrennstofffreiheit bis zum Abschluss der Stilllegung.

**Tabelle 1** Möglicher Ablauf der Stilllegung mit Vorbereitung im Nachbetrieb, zwei Stilllegungsphasen und anschliessendem Abschluss der Stilllegung

Nachbetrieb	Rückbau (RB) in zwei Phasen		Abschluss
mit Vorbereitung Stilllegung	1. RB mit Kernbrennstoff	2. RB ohne Kernbrennstoff	Stilllegung
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nachbetrieb (allenfalls mit aktualisiertem SIB und angepasster Betriebsdokumentation).                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verbringen der BE und Steuerstäbe in das BEB.</li> <li>– Verbringen der konditionierten Betriebsabfälle in eine andere Kernanlage, z.B. in Lager der Zwiilag.</li> </ul> </li> <li>■ Vorbereitende Tätigkeiten:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Konditionieren RDB Einbauten (Reaktorabfälle).</li> <li>– Systemdekontamination.</li> <li>– Entfernen nicht mehr benötigter Einrichtung.</li> <li>– Herstellen BEB Autarkie.</li> <li>– Errichten Zentrum für Materiallogistik und Dekontamination (im SWR z.B. im Maschinenhaus).</li> <li>– Bereitstellen sonstiger Infrastruktur (und Platz schaffen dafür), auch auf dem Areal.</li> <li>– Errichten von (konventionellen) Ersatzsystemen.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Forts. Vorbereitung Stlg (ggf. mit formaler Anpassung der Unterlagen zum Nachbetrieb).</li> <li>■ Rückbau sämtlicher Systeme, welche nicht noch benötigt werden                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– zu Aufrechterhaltung der Schutzziele oder Abtransport der BE</li> <li>– oder für den weiteren Rückbau.</li> </ul> </li> <li>■ Nach Herstellung der Autarkie des BEB                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Demontage RDB</li> <li>– Abbau Bioschild.</li> </ul> </li> <li>■ Abtransport der BE, im Anschluss Aufhebung der Sicherungsmassnahmen</li> <li>■ Vorziehen später vorgesehener Arbeiten zum Rückbau von Nebenanlagen und -gebäuden gemäss im Stilllegungsprojekt festzulegendem Freigabeverfahren.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Restarbeiten Phase 1 (i.V.m. formaler Anpassung Endzustand Phase 1).</li> <li>■ Rückbau aller Wasser führenden Systeme.</li> <li>■ Rückbau restlicher Systeme und – soweit für Versorgung mit Medien notwendig – Anschluss an Ersatzsysteme.</li> <li>■ Herstellen freimessbarer Räume.</li> <li>■ Freimessen der kontrollierten Zone.</li> <li>■ Auszonung.</li> <li>■ Geländefreigabe.</li> <li>■ Aufhebung Bewachung.</li> <li>■ Vorziehen später vorgesehener Arbeiten zum Rückbau von Nebenanlagen und -gebäuden gemäss im Stilllegungsprojekt festzulegendem Freigabeverfahren.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Restarbeiten Phase 2 (dürfte höchstens vorgezogene Arbeiten betreffen).</li> <li>■ Konventioneller Abbau soweit im Stilllegungsprojekt vorgesehen.</li> <li>■ Erstellen und Einreichen des Abschlussberichtes über die Stilllegung.</li> <li>■ Entlassung aus dem Geltungsbereich der Kernenergiegesetzgebung.</li> </ul>
<p>Der Nachbetrieb endet mit Inkrafttreten der Stilllegungsverfügung.</p>	<p>Phase 1 endet mit Erreichen der Kernbrennstofffreiheit.</p>	<p>Phase 2 endet mit Auszonung der kontrollierten Zonen.</p>	<p>Die Stilllegung endet mit der Entlassung aus dem Geltungsbereich des KEG.</p>

## 5. Das Stilllegungsprojekt der BKW

Der Rückbau einer Kernanlage setzt eine rechtskräftige Stilllegungsverfügung voraus. Ziel der BKW ist, dass diese Verfügung bereits bei endgültiger Ausserbetriebnahme der Kernanlage vorliegt. Hierfür ist es erforderlich, als Gesuchsunterlage für die Stilllegungsverfügung ein Stilllegungsprojekt einzureichen<sup>14</sup>.

### 5.1 Inhalte, Verfügungsverfahren und Erarbeitung

#### Inhalte

Die Inhalte des Stilllegungsprojekts sind im Kernenergiegesetz [1] festgelegt, in der Kernenergieverordnung [2] detailliert und in behördlichen Vorgaben<sup>23</sup> präzisiert. Die Grundlagen für den Inhalt sind in Kernenergiegesetz<sup>15</sup> und –verordnung<sup>24</sup> gegeben. Das Stilllegungsprojekt beschreibt neben technischen Inhalten auch organisatorische und finanzielle Fragestellungen, unter anderem den Ablauf der Stilllegung und die geplanten Arbeitsschritte. Das Gesuch auf Stilllegung, bestehend aus dem Stilllegungsprojekt und weiteren, erläuternden Unterlagen, darunter der Umweltverträglichkeitsbericht, wird als Gesamtunterlage beim Bundesamt für Energie (BFE) eingereicht.

#### Verfügungsverfahren

Das Stilllegungsverfügungsverfahren beginnt mit dem Einreichen der Gesuchsunterlage beim Bundesamt für Energie und endet mit der Erteilung der Stilllegungsverfügung durch das Eidgenössische Departement für Umwelt, Energie und Kommunikation. Zunächst erfolgt eine Vorprüfung durch das BFE. Im folgenden Verfahrensverlauf erstellt das Eidgenössische Nuklearinspektorat ein Gutachten, weitere Stellungnahmen zum Gesuch geben beispielsweise die Kantone und die betroffenen Fachstellen ab. Bei Bedarf werden dem Nuklearinspektorat nachgängig zur Gesuchsunterlage weitere Konzepte und Detailkonzepte zu freigabepflichtigen Stilllegungsarbeiten im Zuge der Freigabeverfahren eingereicht. Die Bevölkerung wird im Rahmen einer öffentlichen Auflage eingebunden. Nach Kenntnissgabe aller Stellungnahmen und Gutachten erfolgen die Redaktion und der Erlass der Stilllegungsverfügung durch das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation. Das Ergreifen von Rechtsmitteln durch Betroffene kann allerdings zu erheblichen Verzögerungen führen.

Die BKW strebt ein schlankes und ergebnisorientiertes behördliches Verfahren an, was durch die frühzeitige Einbindung relevanter behördlicher, auch kantonaler, Fachstellen sichergestellt wird. Zur Klärung verfahrenstechnischer Fragen hat das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation eine Begleitgruppe und zugehörige Arbeitsgruppen gegründet, um Behördenanforderungen bezüglich Form und Inhalt des Stilllegungsprojektes zu klären. Auf diese Weise soll eine rechtskonforme Gesuchsunterlage und ein schlanker Verfahrensablauf gewährleistet werden.

#### Erarbeitung des Stilllegungsprojekts

Das Stilllegungsprojekt soll einen Übersichtscharakter besitzen und die Rahmenbedingungen für die Stilllegung festlegen<sup>25</sup>. Das Erstellen des Stilllegungsprojekts erfolgt in drei Schritten:

- Die **Auslegeordnung** legt die zu erarbeitenden Inhalte für jedes Kapitel fest, benennt Kapitelverantwortliche und gibt einen Zeitablauf vor. Sie leitet die BKW internen Arbeiten zum Stilllegungsprojekt an.
- Der **Grobentwurf** erfasst bereits vorhandene Inhalte je Kapitel basierend auf technischen Konzepten, dem bestehenden Sicherheitsbericht, weiteren relevanten Unterlagen.

---

<sup>23</sup> Richtlinie Ensi-G17 [3]

<sup>24</sup> Artikel 45 KEV [2]

<sup>25</sup> siehe Erläuterungsbericht [4] zur Richtlinie Ensi-G17 [3]



- Die **Konkretisierung und Finalisierung** der Kapitel beinhaltet zunächst die Ausarbeitung der noch fehlenden Inhalte sowie die anschliessende Konsolidierung im Gesamtdokument.

Das Stilllegungsprojekt fasst die erarbeiteten Gesamtkonzepte zusammen. Zu diesen gehören unter anderem technisches Konzept, Entsorgungskonzept und Finanzierungskonzept. Gemeinsam bilden sie die Basis für die Gesuchsunterlage. Dieses Vorgehen gewährleistet die systematische Erarbeitung der erforderlichen Inhalte, wobei Risiken einer nicht zweckmässigen Detailtiefe sowie Verzögerungen bei der Erarbeitung aller geforderten Unterlagen reduziert werden.

## 5.2 Projektorganisation

Das Projekt für die Stilllegung des KKM basiert auf dem Ansatz einer hybriden Projektorganisation mit vier Teilprojekten. Bis zur endgültigen Ausserbetriebnahme ist das Projekt organisatorisch am Konzernhauptsitz verankert. Die Planung der Stilllegung wird hauptsächlich von dafür bestimmten Vollzeitmitarbeitenden erarbeitet, die das Kernteam bilden. Dieses Kernteam untersteht fachlich dem Gesamtprojektleiter Stilllegung. Alle für die Planung relevanten Themen werden hierunter strukturiert und mit entsprechenden Ressourcen ausgestattet. Die technische Planung erfolgt durch Mitarbeitende des KKM. Diese sind in einer Abteilung Projekte organisiert und unterstehen fachlich dem Gesamtprojektleiter. Hierarchisch ist die Abteilung in die Kernanlage eingebunden.

Unterstützt wird das Kernteam von Fachexperten, welche aus der Kernanlage oder dem Konzernhauptsitz stammen. Diese Mitarbeitenden bilden das erweiterte Team und arbeiten mit einem fest vereinbarten Anteil ihrer Arbeitskraft im Projekt mit. Für das Stilllegungsprojekt betrifft dies unter anderem Juristen und Spezialisten zu Störfallbetrachtungen. Die Mitarbeitenden des erweiterten Teams wirken nebst ihrer Projektarbeit in ihrer Linienorganisation oder in anderen Projekten mit.

Durch die Einrichtung eines technischen Ausschusses Stilllegung KKM wird die Kraftwerksleitung des KKM in das Projekt eingebunden, um insbesondere eine Prüfung der Projektergebnisse auf die Einhaltung der nuklearen Sicherheit und Betriebsanforderungen zu gewährleisten. Zudem stellt der technische Ausschuss sicher, dass ausreichend technisches Fachpersonal für die Mitarbeit im Projekt zur Verfügung steht.

Die organisatorische Verankerung des Projekts am Konzernhauptsitz stellt sicher, dass bis zur Ausserbetriebnahme der Konzern für die Planung der Stilllegung verantwortlich ist und auf der Anlage dagegen der Fokus auf dem sicheren Leistungsbetrieb verbleibt.

## 5.3 Herausforderungen des Stilllegungsprojektes

Das Stilllegungsprojekt basiert auf einer Reihe von Gesamtkonzepten und fasst deren Inhalte gemäss den Vorgaben von Kernenergiegesetz [1], Kernenergieverordnung [2] und einer Richtlinie der Aufsichtsbehörde<sup>23</sup> zusammen. Die Herausforderung für das Stilllegungsprojekt liegt in der systematischen Konsolidierung der Inhalte der verschiedenen Gesamtkonzepte und dem Definieren eines angemessenen Detailgrads, ohne Sachverhalte bereits zu präjudizieren. Da bislang kein Referenzbeispiel für die Stilllegung eines kommerziellen Kernkraftwerks in der Schweiz existiert, ist die BKW gefordert, diesbezüglich eine Pionieraufgabe zu leisten. Daher ist es wichtig, mit den Behörden ein gemeinsames Verständnis über den vorgegebenen Rechtsrahmen zu finden. Dazu gehört unter anderem die Klärung der Frage, welche Arbeiten zu welcher Zeit im Rahmen der weiterhin gültigen Betriebsbewilligung oder der Stilllegungsverfügung bei einem über die Zeit abnehmenden Gefährdungspotenzial der Anlage durchführbar sind.

Vor dem Hintergrund unterschiedlicher Anforderungen an den Leistungsbetrieb und die Stilllegung ist es für das Projekt Stilllegung KKM insgesamt bedeutsam, die Transformation von einer sicherheitsorientierten Betriebskultur hin zu einer Grossprojektkultur bei gleichbleibender Gewährleistung der nuklearen Sicherheit in die Wege zu leiten. Die Fortführung des Betriebes der

Anlage bis ins Jahr 2019 bei gleichzeitiger Vorbereitung der Stilllegung stellt dabei ein Spannungsfeld dar, welchem frühzeitig durch Einbinden des Betriebspersonals und Schaffen von Personalperspektiven für die Stilllegung Rechnung getragen wird.

## 6. Technische Aspekte der Stilllegung

Technik und Ablauf einer Stilllegung sind von Anlage zu Anlage und von Betreiber zu Betreiber sehr unterschiedlich. Meist sind technische, den Standort respektive das Kernkraftwerk betreffende Details ausschlaggebend, welche nicht verallgemeinert und ohne weiteres auf andere Anlagen übertragen werden können. Beispielhaft sei hier nur auf die Unterschiede zwischen Siede- und Druckwasserreaktoren hingewiesen, welche Einfluss auf die erforderliche Demontagearbeiten haben.

Die im Folgenden dargelegten Überlegungen beziehen sich konkret auf das Kernkraftwerk Mühleberg mit seinen Spezifika. Zum Teil bauen diese Überlegungen auf Erfahrungen aus Rückbauprojekten der Vergangenheit auf und spiegeln lediglich das KKM betreffende Bedingungen wieder (Nutzung des Maschinenhauses als Entsorgungszentrum), andererseits bergen sie aber auch aus technischer Sicht innovative Ansätze (Autarkie des Brennelementlagerbeckens).

### 6.1 Das Maschinenhaus als Entsorgungszentrum

Die Trennung der Materialbehandlung, des Freigabeverfahrens und der Konditionierung radioaktiver Abfälle für ein geologisches Tiefenlager von den eigentlichen Rückbauarbeiten ist eine Grundvoraussetzung für einen reibungslosen Ablauf der Stilllegung.

Grundsätzlich werden zur Materialbehandlung Bearbeitungseinrichtungen bereits während des Betriebs des KKM eingesetzt. Diese entsprechen aber den Anforderungen an die Bewältigung des während der Stilllegung massiv höheren Massenstromes nicht und müssen daher erst beschafft und in der Anlage aufgebaut werden.

Aufgrund der zu erwartenden hohen Kosten für ein neues Gebäude, in dem die Bearbeitung der anfallenden radioaktiven Materialien und Abfälle zur Entsorgung stattfinden könnte, wird im KKM stattdessen die Nutzung des Maschinenhauses angestrebt. Folgende Gründe sind dafür ausschlaggebend:

- Beschränkte Platzverhältnisse auf dem Areal.
- Bewilligungs- und Realisierungszeit für ein neues Gebäude, welche die konventionelle Baubewilligung, und die nukleare Betriebsbewilligung betreffen.
- Das Maschinenhaus kann nach der endgültigen Ausserbetriebnahme ohne grössere zeitliche Verzögerung genutzt werden.

Die Platzverhältnisse im Maschinenhaus bedingen eine enge Verknüpfung der Aufbauarbeiten für die Bearbeitungseinrichtungen mit den dafür notwendigen Demontagearbeiten. Im Wesentlichen ist der Turbinenflur betroffen, der möglichst frühzeitig geräumt wird, indem die Komponenten der beiden Turbinengruppen ohne weitere Zerlegung respektive Behandlung über die Vorbereitungen zum Abtransport hinaus ausgebaut und als Grosskomponenten in einem externen Umgangsbereich zerlegt und anschliessend entsorgt werden.

Die Grösse der Komponenten, welche im Anschluss im KKM noch zu bearbeiten sind, ihr zeitlicher Anfall und das Entsorgungsziel bestimmen nun den Aufbauzeitpunkt, die Auslegung und den Platzbedarf der Bearbeitungsmaschinen einschliesslich der erforderlichen Infrastruktur, wie beispielsweise der Pufferbereiche.

Die Vorbereitungen können bereits während des Betriebes des KKM erfolgen, so dass zum Zeitpunkt der endgültigen Ausserbetriebnahme die geplanten Einrichtungen einsatzbereit zur

Verfügung stehen und sukzessive mit dem Aufbau von Komponenten im Maschinenhaus eingerichtet und in Betrieb genommen werden können:

- Planung einer Pufferung von radioaktiven Rohabfallgebinden im Maschinenhaus des KKM bis zur Konditionierung für das geologische Tiefenlager.
- Erstellung und Abstimmung eines Konzeptes zur Nachzerlegung, Dekontamination und Freigabe von Komponenten.
- Erstellung eines detaillierten Arbeitsablaufplanes zum Ausbau von Komponenten und Einbau von Behandlungseinrichtungen.
- Vorbereitende Arbeiten wie das Entfernen der Splitterschutzsteine um die Turbinengruppen unmittelbar nach endgültiger Ausserbetriebnahme oder der Abschluss der radiologischen Charakterisierung im Maschinenhaus.

So kann einerseits im Maschinenhaus relativ frühzeitig Platz für die Aufstellung von Bearbeitungsanlagen geschaffen werden, andererseits wird durch diese Vorgehensweise der Arbeitsablauf insgesamt optimiert.

Die bei einer Stilllegung erforderlichen Maschinen zur Bearbeitung, Dekontamination und Zerlegung sollen nach Möglichkeit die aktuelle, betriebliche Situation berücksichtigen. Es werden vorzugsweise trockene Zerlege- und Dekontaminationsverfahren verwendet.

Die Bearbeitungsmaschinen werden nicht zur Abdeckung einer Spitzenlast ausgelegt, weil dadurch erhebliche Mehrkosten für überdimensionierte Maschinen entstehen würden. Sie werden so ausgewählt, dass der Grossteil der anfallenden Materialien und Abfälle bearbeitet werden kann.

## 6.2 Autarkie des Brennelementlagerbeckens

Bei der Stilllegungsplanung kristallisiert sich ein für jede Anlage anderer terminkritischer Pfad heraus, welcher allerdings nicht unveränderbar ist, sondern sich stetig weiterentwickelt und der oft auch von äusseren, nicht selbst bestimmbar Randbedingungen abhängt.

Zur Optimierung des Arbeitsablaufs und der Gesamtdauer der Stilllegung ist es empfehlenswert, den jeweiligen terminkritischen Pfad in mehrere, voneinander unabhängige und parallel verlaufende Arbeitspakete aufzuteilen, so dass Arbeiten voneinander entkoppelt werden. Dadurch entsteht einerseits Flexibilität im Hinblick auf sich ändernde Randbedingungen, andererseits kann ein terminkritischer Pfad gegebenenfalls zeitlich verkürzt werden.

Die BKW beabsichtigt daher, so früh wie möglich eine autonome, redundante Brennelementbecken Kühlung (Arbek) zu errichten, welche die Schutzziele für die Kühlung der Brennelemente vollumfänglich erfüllt. Der Reaktordruckbehälter und das Primärcontainment sowie die meisten der ehemaligen Sicherheitssysteme werden für die Erfüllung der schutzzielrelevanten Aufgaben nicht mehr benötigt. Sie können somit früher in den Rückbau einbezogen und unter Berücksichtigung der Auslastung von Entsorgungswegen jeweils priorisiert demontiert werden.

Die Autarkie des Brennelementbeckens besteht aus

- sicherheitstechnischen, betrieblichen und der Notfallbeherrschung dienenden Einrichtungen, welche die relevanten Schutzziele für die Brennelementekühlung vollumfänglich erfüllen, sowie dem
- baulichen Schutz der Sicherheitseinrichtungen, welcher vor Fehlbedienung, Lasteintrag und Brand schützt (Rückwirkungsschutz der Abbaumassnahmen auf Sicherheitseinrichtungen).

Damit wird insgesamt die deterministisch ausreichende Sicherheit der Brennelemente im Brennelementlagerbecken bei den die Anlage betreffenden auslegungsbestimmenden Störfallereignissen gewährleistet. Probabilistische Verbesserungen sind bereits durch die determinis-

tisch wirkenden Massnahmen gegeben, weitere Verbesserungen werden über zusätzliche Notfallmanagementmassnahmen erreicht.

Die autonome, redundante Brennelementbeckenkühlung setzt sich aus folgenden fünf Teilen zusammen:

- Arbek-Z, ein Zusatzverschluss im Kanal zwischen Brennelementlagerbecken und Reaktorgrube, der als redundante Barriere zusätzlich zum vorhandenen Dammbalken die Sicherstellung des Wasserinventars im Brennelementlagerbecken bewirkt.
- Arbek-S, ein Sicherheitssystem, welches die Beherrschung der Auslegungsstörfälle während der Stilllegung gewährleistet und zudem (bereits während der letzten Jahre des Leistungsbetriebs) einen probabilistischen Sicherheitsgewinn erzielt.
- Arbek-B, ein verschlanktes betriebliches Brennelementbeckenkühlsystem.
- Arbek-N, diverse Notfalleinrichtungen respektive Notfallmassnahmen für weitere probabilistische Verbesserungen und gegebenenfalls Begrenzung der Folgen auslegungsüberschreitender Störfälle.
- Arbek-R, dem Rückwirkungsschutz dieser Ausrüstung gegen fehlerhafte Beeinflussung durch Rückbautätigkeiten.

Damit ist es möglich, im Reaktorgebäude auch bei Anwesenheit von Brennelementen im Brennelementlagerbecken bereits mit Stilllegungstätigkeiten grösseren Ausmasses zu beginnen. Dieser frühzeitige Beginn und die dadurch mögliche Parallelisierung von Arbeiten erlauben es, die anfallenden Massen optimiert in den Bearbeitungszyklus im Maschinenhaus einzubringen. Die autonome, redundante Brennelementbeckenkühlung ist damit ein wesentlicher Beitrag zur Optimierung des Ablaufs der Stilllegung.

### 6.3 Entsorgung

Unter Entsorgung ist die Gesamtheit aller Verfahren und Tätigkeiten zu verstehen, die der Verwendung und Verwertung von Materialien sowie der Beseitigung von Abfällen dienen. Die Entsorgung radioaktiver Abfälle beinhaltet die Konditionierung, Zwischenlagerung und Lagerung in einem geologischen Tiefenlager sowie damit verbundene Transporte. Als Entsorgungsziele stehen grundsätzlich die Freigabe, die Abklinglagerung mit anschliessender Freigabe und die Konditionierung als radioaktiver Abfall zur Verfügung.

Bei der Stilllegung ist die Gesamtheit aller anfallenden radioaktiven und nicht radioaktiven Stoffe zu entsorgen. Dazu gehört gegebenenfalls auch die Freigabe der Gebäudestrukturen, welche auf dem Areal verbleiben und nach Abschluss der Stilllegung zusammen mit diesem aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen werden.

Priorität bei den Entsorgungszielen hat die Freigabe, gegebenenfalls nach einer Abklinglagerung. Der am wenigsten präferierte Entsorgungsweg ist die geologische Tiefenlagerung, welche eine vorgängige Konditionierung und Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle erfordert.

#### Kernbrennstofffreiheit

In der Schweiz können ausgediente Brennelemente im Hochaktiv-Lager der Zwischenlager Würenlingen AG (Zwilag) trocken gelagert werden. Dort hat die BKW bereits Lagerbehälter mit Kernbrennstoff und Abfällen aus der Wiederaufarbeitung eingelagert. Eine Besonderheit besteht darin, dass im KKM keine grossen Transport- und Lagerbehälter gehandhabt werden können und daher der Abtransport mit einem kleineren Transportbehälter erfolgt. Dies erhöht die Komplexität der Abtransporte gegenüber grösseren Anlagen und erfordert ein Umladen in der heissen Zelle der Zwilag. Die Abläufe sind erprobt, so dass eine reibungslose Durchführung erwartet wird. Aktuell plant die BKW, bis zur endgültigen Ausserbetriebnahme eine Anzahl Brennelemente abzutransportieren. Dies gewährleistet einen sicheren und zügigen Abtransport der verbleibenden Brennelemente nach 2019. Abhängig von der Auslegung der letzten Nachladun-

gen wird die Kernbrennstofffreiheit der Anlage etwa drei bis fünf Jahre nach endgültiger Ausserbetriebnahme erreicht werden.

### Radioaktive Abfälle

Beim Rückbau des KKM fällt eine radioaktive Abfallmenge von etwa 3'500 Mg an, die vor einer geologischen Tiefenlagerung längerfristig zwischengelagert werden muss. Dies entspricht unter Berücksichtigung der heute verwendeten Abfallgebindetypen einem Zwischenlagervolumen von rund 6'400 m<sup>3</sup>.

Radioaktive Abfälle sind derart zu konditionieren, dass die resultierenden Abfallprodukte samt ihrer Verpackung als Einheit (Gebinde) ohne Eingriffe in ihre Integrität gehandhabt und den weiteren Entsorgungsschritten Transport, Zwischenlagerung und geologische Tiefenlagerung zugeführt werden können. Die Anwendung eines Konditionierungsverfahrens und die damit hergestellten Abfallgebindetypen oder Einzelgebinde unterliegen der Aufsicht des Eidgenössischen Nuklearinspektorats. Die ordnungsgemässe Konditionierung radioaktiver Abfälle sowie das Verfahren zum Erlangen von Einzel- und Typengenehmigungen sind behördlich festgelegt<sup>26</sup>.

Die Verfügbarkeit eines geologischen Tiefenlagers in der Schweiz wird ab 2050 erwartet. Daher kann ausgeschlossen werden, dass Transporte vom KKM direkt zum geologischen Tiefenlager erfolgen. Die verpackten Abfälle und ausgedienten Brennelemente aus dem KKM werden bis zu ihrer geologischen Tiefenlagerung in den Lagerhallen der Zwiilag zentral zwischengelagert und von dort dereinst zum geologischen Tiefenlager transportiert.

Durch eine Optimierung der Auswahl von Abfallbehältern und deren Beladung mit radioaktiven Abfällen sowie optimierten Transportkonzepten kann das erforderliche Zwischenlagervolumen deutlich reduziert und es können Kosteneinsparungen erreicht werden.

### Radiologische Freigaben

In der zurzeit noch geltenden Fassung der Strahlenschutzverordnung (StSV [7]) sind die Mittelungsflächen mit 100 cm<sup>2</sup> definiert, wobei im Zuge der gegenwärtigen Revision dieser Verordnung höhere Mittelungsflächen erwartet werden.

Ohne Erhöhung der Mittelungsfläche werden insbesondere die Nachweise der Grenzwertunterschreitung an stehenden Gebäudestrukturen mit einem hohen Aufwand verbunden sein. Moderne Messtechniken (beispielsweise in situ Gammaskopimetrie) wären praktisch ausgeschlossen.

Gleiches gilt für die Freigabe der demontierten Anlageteile, an denen gegebenenfalls nach einer Dekontamination radiologische Messungen durchzuführen sind. Diese Messungen haben unmittelbar Einfluss auch auf die andere Problemstellung bei der Freigabe, dem möglichst ungestörten Massenfluss vom Areal. Insbesondere bei kleineren Anlagen wie dem KKM spielt die Logistik bei der Stilllegung eine grosse Rolle.

### Abklinglagerung

Abfälle, die spätestens 30 Jahre nach ihrer Entstehung aufgrund des radioaktiven Zerfalls aus dem Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung fallen, sind gemäss Strahlenschutzverordnung<sup>27</sup> von den radioaktiven Abfällen zu trennen, wenn keine gesamthaft günstigere Alternative für Mensch und Umwelt zur Verfügung steht. Sie sind in geeigneter Weise zu verpacken, zu kennzeichnen, zu dokumentieren und gesichert aufzubewahren.

Gemäss der behördlicher Vorgaben<sup>23</sup> ist darzulegen, wo die Abklinglagerung erfolgen soll und dass entsprechende Lagerkapazitäten vorhanden sind. Aufgrund der Halbwertszeit des Leitnuklids Co-60 ist die Abklinglagerung insbesondere für aktivierte Metalle oder metallische Komponenten mit geringer Kontamination relevant.

---

<sup>26</sup> Richtlinie HSK-B05 [6]

<sup>27</sup> Artikel 85 StSV [7]

Die für eine Abklinglagerung zulässige Dauer beträgt zwar bis zu 30 Jahre, für die beim Rückbau anfallenden Materialien steht, solange die Abklinglagerung nur im KKM erfolgen kann, jedoch nur ein Bruchteil dieser Zeitdauer zur Verfügung. Allein aus praktischen Gründen wird kaum ein Zeitraum von mehr als maximal 10 Jahren zur Verfügung stehen. Daher ist eine Abklinglagerung an einem externen Standort zu erschliessen.

## 7. Fazit

Der rechtliche Rahmen für die Stilllegung von Kernanlagen ist in der Schweiz anders als in anderen Ländern, was bei der Übertragbarkeit ausländischer Erfahrungen, zumindest solcher hinsichtlich der Verfahrensabläufe, unbedingt berücksichtigt werden muss. Beim Stilllegungsprojekt der BKW handelt es sich um die erste Stilllegung eines kommerziellen Kernkraftwerks in der Schweiz. In Verbindung mit den in der Praxis noch nicht erprobten gesetzlichen und behördlichen Regelungen beinhaltet dies insofern Chancen als zurzeit noch erhebliche Gestaltungsmöglichkeiten bestehen. Es besteht jedoch auch das Risiko, dass durch ein übertrieben konservatives Vorgehen – sei es seitens der Behörde oder auch seitens des Gesuch stellenden Betreibers – der Gestaltungsspielraum unnötig eingeengt wird. Eine sachgerechte, gesetzlich und regulatorisch konforme Vorbereitung der Stilllegung bereits Jahre vor der endgültigen Ausserbetriebnahme soll auch dazu dienen, diese Risiken zu minimieren.

In bisherigen Stilllegungsprojekten gewonnene Erfahrungen sind selbstverständlich auch für die Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg sehr wertvoll. Die BKW ist bestrebt, solche Erfahrungen, adaptiert an die Bedingungen in der Schweiz, zu nutzen. Dies betrifft sowohl technische als auch weitere – etwa organisatorische – Aspekte. Nebst Nutzung der vielen wertvollen Erfahrungen, welche bis heute gesammelt wurden, strebt die BKW auch an, den Ablauf der Stilllegung weiter zu optimieren, beispielsweise durch eine konsequente Nutzung des Maschinenhauses als Materialbehandlungszentrum oder durch innovative Konzepte, wie die autonome, redundante Brennelementbeckenkühlung.

Bereits vor der endgültigen Ausserbetriebnahme, aber auch während Nachbetrieb und Rückbau, stellen sich neben den technischen auch besondere personelle Herausforderungen. Mit der frühzeitigen Planung und Kommunikation einer neuen Organisationsstruktur sowie dem rechtzeitigen Erkennen und Umsetzen der Bedürfnisse des Personals ist die BKW bestrebt, Motivation und Leistungsbereitschaft des Personals aufrechtzuerhalten und zugunsten eines sicheren und effizienten Rückbaus weiterzuentwickeln.

Die BKW hat sich zum Ziel gesetzt, mit einer hinsichtlich Technik und Verfahren optimierten, das vorhandene Personal optimal einsetzenden sowie nicht zuletzt kostengünstigen Stilllegung ein positives Beispiel für die Schweizer Nuklearbranche zu schaffen.

## 8. Schlussbemerkung

Bei den Überlegungen zum konkreten Vorgehen beim Rückbau eines Kernkraftwerks ist aufgefallen, dass in der Kernenergiegesetzgebung, insbesondere in der Kernenergieverordnung, Optimierungspotenzial in Bezug auf die Berücksichtigung der Bedürfnisse der Betreiber besteht. Es ist zu überlegen, inwieweit Anpassungen erforderlich sind.

Die bevorstehende Novellierung der Strahlenschutzverordnung (voraussichtlich zum 1.1.2016) lässt eine Absenkung von Freigabewerten erwarten. Insbesondere ist die noch ungeklärte Frage eines eventuellen Bestandsschutzes für Freigabewerte relevant und grundsätzlich zu klären, da in der Zukunft weitere Änderungen nicht auszuschliessen sind. Ohne einen solchen Bestandsschutz könnten Abklingabfälle nach weiteren Novellierungen der Strahlenschutzverordnung wieder als radioaktive Abfälle einzustufen sein.

## Referenzen

- [1] Kernenergiegesetz vom 21. März 2003 (KEG), SR 732.1 (Stand 1. Januar 2009).
- [2] Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (KEV), SR 732.11 (Stand 1. Mai 2012).
- [3] Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen Ensi-G17, Stilllegung von Kernanlagen, Ausgabe April 2014.
- [4] Erläuterungsbericht zur Richtlinie Ensi-G17, Stilllegung von Kernanlagen, Ausgabe April 2014.
- [5] von Gunten, Anton; Parmar, Yogesh; Ritter, Max; «Stilllegungskonzept als Bestandteil der Planung neuer Kernanlagen in der Schweiz am Beispiel der Rahmenbewilligungsgesuche für die Anlagen zum Ersatz der Kernkraftwerke Beznau und Mühleberg»; Kontec 2011, 10. Internationales Symposium «Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle»; Dresden, 6.–8. April 2011.
- [6] Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen HSK-B05, Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle, Ausgabe Februar 2007.
- [7] Strahlenschutzverordnung vom 22. Juni 1994 (StSV), SR 814.501 (Stand 1. Januar 2014).