

Faktenblatt

Februar 2018

Stilllegung und Rückbau von Kernkraftwerken

Am Ende seiner Nutzung wird ein Kernkraftwerk stillgelegt und anschliessend zurückgebaut. Danach kann das Gelände uneingeschränkt neu genutzt werden. Bei Stilllegung und Rückbau fallen radioaktive Abfälle an, die sachgerecht entsorgt werden. Die Mittel für diese Arbeiten zahlen die Betreiber der Kernkraftwerke bereits während des Betriebs in zwei Fonds ein. Der weitaus grösste Teil des Abbruchmaterials ist jedoch nicht radioaktiv. Die Sicherheit wird von den Behörden überwacht und bleibt während des gesamten Rückbaus gewährleistet.

Wie die meisten technischen Anlagen haben auch Kernkraftwerke eine begrenzte Betriebsdauer. Der schweizerische Gesetzgeber gibt keine fixe Laufzeit vor. Ein Kernkraftwerk darf in der Schweiz betrieben werden, solange die Sicherheit gewährleistet ist.

Die Schweizer Kernkraftwerke werden sorgfältig gewartet und laufend nach dem Stand der Technik modernisiert. Diese Investitionen sind immer auch Investitionen in die weitere Erhöhung der Sicherheit und Anlagenverfügbarkeit. Ein ausgeklügeltes Alterungs-Überwachungsprogramm sorgt bereits seit mehr als zwei Jahrzehnten in allen Schweizer Kernkraftwerken für systematische Kontrollen der sicherheitstechnisch wichtigen Bauten, Systeme und Bauteile. Dank dieser sorgfältigen Wartung und Modernisierung verlängert sich die technische Betriebsdauer einer Anlage.

Vorausschauende Finanzierung

Gemäss Gesetz erstreckt sich die Verantwortung der Betreiber über den gesamten Lebenszyklus einer Kernanlage, einschliesslich des Nachbetriebs, des Rückbaus und der Entsorgung der radioaktiven Abfälle. Zur Finanzierung dieser Arbeiten bilden die Betreiber bereits während des Betriebs jährlich Rückstellungen. Die erst nach der Einstellung des Leistungsbetriebs benötigten Mittel für den Rückbau und die Entsorgung werden laufend in die entsprechenden Fonds überführt.

Die Kosten für den Rückbau und die Entsorgung der radioaktiven Abfälle liegen bei durchschnittlich einem Rappen pro Kilowattstunde Nuklearstrom. Sie werden von der heutigen Generation getragen, die auch den Nutzen aus der Stromproduktion hat.



Demontage Schritt um Schritt: Rückbau in einem deutschen Kernkraftwerk der 1300-Megawatt-Klasse.

Foto: KKW Mülheim-Kärlich

Periodische Kostenberechnung

Als Grundlage für die Berechnung der Stilllegungskosten werden Schweizer Kosten und Preise verwendet, die sich an Erfahrungswerten aus Deutschland orientieren. Bereits während des Betriebs eines Kernkraftwerks wird ein Stilllegungsplan erstellt, der die einzelnen Arbeitsschritte, den Personalbedarf und den Zeitbedarf auflistet.

Dieser Plan wird regelmässig gemäss dem aktuellen Stand der Technik aktualisiert, wobei insbesondere die Erfahrungen aus realen Stilllegungsprojekten in Deutschland einfließen. Er ist auch die Grundlage für die Berechnung der Stilllegungskosten. Dieses Vorgehen gewährleistet eine realistische Schätzung des zu erwartenden Aufwands.

Die Kosten der Stilllegung werden über den Stilllegungsfonds finanziert. Sie belaufen sich je nach Kraftwerksgrösse auf rund 500–900 Millionen Franken pro Anlage, verteilt über einen Zeitraum von 15 bis 20 Jahren nach der endgültigen Abschaltung. Beim Vergleich mit Rückbaukosten im Ausland muss berücksichtigt werden, dass dort – anders als in der Schweiz – als «Stilllegungskosten» oft die Summe von Stilllegung *und* Nachbetriebsphase angegeben wird. Die Kosten für das Etablieren und Aufrechterhalten des Nachbetriebs werden in der Schweiz direkt vom Betreiber bezahlt und nicht im Stilllegungsfonds angespart.

Mehrjährige Nachbetriebsphase

Bereits einige Jahre vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs eines Kernkraftwerks erstellen die Betreiber die Unterlagen zum Stilllegungsprojekt und legen sie den Behörden zur Prüfung und Genehmigung vor. Gestützt darauf erlässt das Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Uvek) die Stilllegungsverfügung.

Der Nachbetrieb beginnt mit der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs (siehe Grafik S. 3). In dieser je nach Kraftwerk zwei bis vier Jahre dauernden Phase wird der Kernbrennstoff aus dem Reaktordruckbehälter entladen und im Lagerbecken des Kraftwerks weiter gekühlt. Anschliessend wird er in Transportbehälter verpackt und in ein vom Reaktorgebäude unabhängiges Zwischenlager ver-

bracht, so dass kein hochradioaktives Material mehr im Innern der Anlage verbleibt. Ebenso werden die schwach- und mittelradioaktiven Betriebsabfälle entsorgt und nicht mehr benötigte Systeme ausser Betrieb genommen.

Rückbau von innen nach aussen

Für den Rückbau stehen sowohl die technischen Systeme aus dem Betrieb wie auch die Anlagenkenntnisse des Betriebspersonals zur Verfügung. Wie zuvor beim Betrieb hat die Sicherheit weiterhin oberste Priorität. Der Schutz von Umwelt, Bevölkerung und Personal muss jederzeit gewährleistet sein.

Alle Anlagenteile eines Kernkraftwerks, die mit radioaktivem Material in Berührung kommen oder kommen können, liegen in der sogenannten kontrollierten Zone. Bei Druckwasserreaktoren wie in Beznau und Gösgen beschränkt sich diese Zone im Wesentlichen auf das Reaktor- und auf Hilfsanlagegebäude. Bei Siedewasserreaktoren wie in Mühleberg und Leibstadt zählt auch das Maschinenhaus dazu.

Der Rückbau der Komponenten in der kontrollierten Zone wird bewusst von innen nach aussen durchgeführt. Der Sicherheitsbehälter (Containment) bleibt dadurch solange wie nötig intakt und dient weiterhin als Barriere gegen die Freisetzung von radioaktiven Stoffen. Auch die Systeme zur Überwachung der Radioaktivität in- und ausserhalb der Anlage bleiben weiterhin aktiv. Innerhalb der kontrollierten Zone gibt die Aufsichtsbehörde gewisse Arbeiten schrittweise frei (z.B. die Demontage des Reaktordruckbehälters). Ausserhalb der kontrollierten Zone findet der Rückbau auf konventionelle Art statt.

Schrittweise Demontage

In der Praxis erfolgt der Rückbau in mehreren Phasen. Im Fall des Kernkraftwerks Mühleberg lassen sich vier Etappen unterscheiden:

- **Etablierung des Nachbetriebs:** Unmittelbar nach dem definitiven Ende des Leistungsbetriebs werden die Brennelemente aus dem Reaktordruckbehälter ins benachbarte Lagerbecken überführt. Dieses wird so umgebaut, dass seine Kühl- und Sicherheitssysteme autonom funktionieren



Rückbau des 590-Megawatt-Kernkraftwerks Connecticut Yankee (USA): vom Abbau des Reaktorgebäudes (oben) bis zur grünen Wiese (unten).

Fotos: CY

– der Zeitpunkt der «endgültigen Ausserbetriebnahme» ist damit erreicht. Parallel mit dem definitiven Abschalten beginnt das Leerräumen des Maschinenhauses.

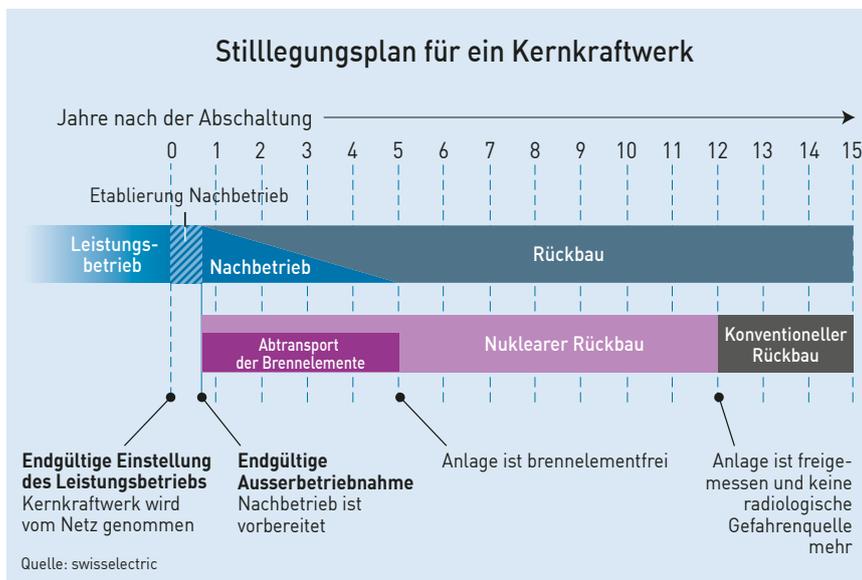
- **Rückbau mit Abtransport der Brennelemente:** In dieser Phase wird der Kernbrennstoff nach und nach ins zentrale Zwischenlager (Zwilag) in Würenlingen im Kanton Aargau transportiert. Gleichzeitig wird im Maschinenhaus der Platz für die Reinigungsarbeiten der radioaktiv verunreinigten Materialien vorbereitet.
- **Rückbau nach dem Abtransport der Brennelemente:** Mit dem Überstellen der Brennelemente ins Zwilag sind 98% der Radioaktivität von der Anlage entfernt. Jetzt werden jene Teile demontiert, die selbst radioaktiv oder radioaktiv kontaminiert sind (siehe S. 4). Die stark radioaktiven Komponenten werden im Innern des Reaktorgebäudes unter Wasser zerlegt und verpackt. Die meisten anderen Teile werden im Maschinenhaus sortiert und gereinigt (dekontaminiert), sodass sie normal entsorgt werden können.
- **Konventioneller Rückbau:** Sind alle belasteten Anlagenteile entfernt und ist nachgewiesen, dass keine erhöhten Radioaktivitätswerte mehr vorhanden sind (radiologische Freimessung), kann das Areal anderweitig genutzt werden. Je nachdem, ob es industriell oder naturnah genutzt werden soll, werden alle nicht mehr benötigten Gebäude abgebrochen.

Der gesamte Rückbau, einschliesslich der Nachbetriebsphase, dauert beim Kernkraftwerk Mühleberg etwa 15 Jahre.

Rückbauten in der Schweiz

Der Rückbau von Kernanlagen ist kein technisches Neuland. Der 1969 beschädigte Versuchsreaktor im waadtländischen Lucens ist inzwischen vollständig abgebaut. Die Zerlegungs- und Dekontaminationsarbeiten waren bereits Ende 1973 abgeschlossen.

1995 wurde der grösste Teil der in unterirdischen Kavernen gebauten Anlage aus der nuklearen Aufsicht des Bundes entlassen. Nachdem Ende 2003 auch die restlichen, teils stark radioaktiven Abfälle ins Zwilag in Würenlingen überführt worden waren, hob



der Bundesrat die Aufsicht ganz auf. Die Kavernen dienen heute dem Kanton Waadt als Lager für archäologische Funde.

Rückbauten gibt es auch unter den Forschungsreaktoren des Paul Scherrer Instituts (PSI) im aargauischen Villigen/Würenlingen. «Saphir», der erste Forschungsreaktor der Schweiz aus den 1950er-Jahren, ist bereits zurückgebaut, ebenso wie «Diorit», der zweite Reaktor aus dieser Zeit. Die Gebäude werden weiter genutzt. Das Verfahren zur Demontage des 2011 stillgelegten jüngsten Forschungsreaktors «Proteus» ist eingeleitet.

Rückbauten in aller Welt

In den vergangenen vier Jahrzehnten ist der Rückbau von Nuklearanlagen aller Art weltweit zu einem etablierten Industriezweig herangewachsen. Allein in den USA sind bis heute gut ein Dutzend Kernkraftwerke vollständig zurückgebaut worden. Der erste vollständige Rückbau in Europa – die Demontage des 1974 stillgelegten Kernkraftwerks Niederaichbach in Bayern – begann 1987 und wurde 1995 abgeschlossen. Das ohne Einschränkungen nutzbare Areal gehört heute zum Kernkraftwerk Isar und ist teilweise bereits wieder mit Wald bedeckt.

Weitere Informationen zum Thema auf:

Nuklearforum Schweiz, Faktenblatt «Finanzierung der nuklearen Entsorgung»: www.nuklearforum.ch, Link «Fakten und Wissen»

BKW: www.bkw.ch/Stilllegung

Bundesamt für Energie: www.bfe.admin.ch, Links «Themen», «Kernenergie» und «Stilllegung»

Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi): www.ensi.ch, Links «Ausserbetriebnahme» und «Stilllegung»

World Nuclear Association: www.world-nuclear.org, Link «Decommissioning» (unter Buchstabe D)

U.S. Nuclear Regulatory Commission: www.nrc.gov, Links «Radioactive Waste» und «Decommissioning of Nuclear Facilities»

Nuklearforum Schweiz
 Frohburgstrasse 20
 4600 Olten
 Telefon 031 560 36 50
 info@nuklearforum.ch
 www.nuklearforum.ch

In Deutschland werden gegenwärtig gleich mehrere grosse Kernkraftwerke zurückgebaut. In Frankreich befinden sich die stillgelegten Reaktoren der ersten Generation auf dem Gelände weiterhin in Betrieb stehender Kernkraftwerke. Da ihre Überwachung daher kaum Mehrkosten verursacht, werden die zentralen Anlagenteile vorderhand stehen gelassen, wobei die Radioaktivität laufend abklingt. Weltweit wurden gemäss der Zählung der Internationalen Atomenergie-Organisa-

tion (IAEO) bisher über 100 kommerzielle Kernkraftwerke stillgelegt. Die meisten von ihnen stammen aus den Anfangsjahren der zivilen Kerntechnik und haben das Ende ihrer wirtschaftlichen Betriebsdauer erreicht.

Der Rückbau von ausgedienten Kernanlagen ist heute ein technisch gut beherrschter Prozess. Das eigentliche Kostenrisiko liegt vorab in Verzögerungen bei den Rückbauarbeiten aufgrund von genehmigungsrechtlichen Fragen und Auflagen.

Möglichst wenig radioaktive Abfälle

Parallel zur schrittweisen Demontage werden die ausgebauten Komponenten zerlegt und für die Entsorgung vorbereitet. Der Grossteil des anfallenden Materials stammt aus dem nicht-nuklearen Teil eines Kernkraftwerks und kann ohne spezielle Behandlung wiederverwertet oder konventionell entsorgt werden.

Bei den Bauteilen aus der kontrollierten Zone werden zunächst die nicht-radioaktiven Anteile aussortiert. Die übrigen Anlagenteile werden so weit wie möglich dekontaminiert und danach ebenfalls konventionell entsorgt. Ziel ist, die Menge der schliesslich übrig bleibenden radioaktiven Abfälle möglichst gering zu halten.

«Kontaminiert» bedeutet, dass sich auf der Oberfläche eines Bauteils radioaktive Stoffe abgelagert haben, während das Ma-

terial des Bauteils selbst nicht radioaktiv ist. «Aktiviert» heisst hingegen, dass ein Material durch Bestrahlung selbst radioaktiv geworden ist und daher nicht dekontaminiert werden kann.

Weniger als fünf Prozent

Heute liegen praktische Erfahrungen mit einer Vielzahl von Zerlege- und Dekontaminationsverfahren vor. Daher es ist es möglich geworden, fast alles Rückbaumaterial aus der kontrollierten Zone für die konventionelle Entsorgung freizugeben. Weniger als fünf Prozent dieses Rückbaumaterials sind am Schluss noch kontaminiert oder aktiviert. Sie werden, nach einer Zwischenlagerung im Zwiilag, als schwach- oder mittelradioaktiver Abfall in ein geologisches Tiefenlager verbracht.

Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) hat berechnet, dass aus dem Rückbau der heutigen fünf Schweizer Kernkraftwerke etwa 30'000 Kubikmeter schwach- und mittelradioaktiver Abfälle anfallen (einschliesslich der Verpackung für die Einlagerung). Das entspricht einem Würfel mit rund 30 Metern Seitenlänge.

Die hochradioaktiven Brennelemente fallen volumenmässig kaum ins Gewicht. Auch sie werden, ebenso wie die schwach- und mittelradioaktiven Abfälle aus der Zeit des Leistungsbetriebs, nach der Zwischenlagerung schliesslich in ein geologisches Tiefenlager verbracht.

