

Faktenblatt

November 2013

Stilllegung und Rückbau von Kernkraftwerken

Am Ende der Betriebsdauer wird ein Kernkraftwerk stillgelegt und danach Schritt um Schritt bis zur grünen Wiese zurückgebaut. Die finanziellen Mittel für diese Arbeiten zahlen die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke bereits während des Betriebs in einen Fonds ein. Bei Stilllegung und Rückbau fallen schwach- und mittelradioaktive Abfälle an, die sachgerecht entsorgt werden. 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 Lebensdauer. Der schweizerische Gesetzgeber gibt keine fixe Betriebsdauer vor. Ein Kernkraftwerk darf hierzulande 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 20 Jahren 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 der Stilllegung, des Rückbaus und der Entsorgung der radioaktiven Abfälle. Zur Finanzierung dieser Arbeiten tätigen die Betreiber bereits während des Betriebs jährliche Rückstellungen in einen Stilllegungsfonds.

Zusätzlich äufnen sie in einem Entsorgungsfonds die Mittel für die Entsorgung der beim Betrieb und bei der Stilllegung anfallenden radioaktiven Abfälle. Diese Kosten von rund einem Rappen pro Kilowattstunde sind im Gestehungspreis von Atomstrom enthalten. 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 vom Stilllegungsfonds getragen. 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.

Mehrjährige Nachbetriebsphase

Die Nachbetriebsphase beginnt direkt nach der endgültigen Ausserbetriebnahme eines Kernkraftwerks. Sie dient der Vorbereitung der eigentlichen Stilllegung. In dieser rund fünf Jahre dauernden Phase wird der Kernbrennstoff weiter gekühlt und aus dem Reaktordruckbehälter und den Lagerbecken entladen. Anschliessend wird er in Transport- und Lagerbehälter verpackt und in ein vom Kernkraftwerk unabhängiges Zwischenlager verbracht, so dass kein hochradioaktives Material mehr in der Anlage verbleibt. Ebenso werden die schwach- und mittelradioaktiven Betriebsabfälle entsorgt und nicht mehr benötigte Systeme ausser Betrieb genommen.

Parallel dazu erstellen die Betreiber die Unterlagen zum Stilllegungsprojekt und legen sie den Behörden zur Prüfung vor. Im Anschluss an die Nachbetriebsphase erlässt das zuständige Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Uvek) die

Stilllegungsverfügung. Die Nachbetriebsphase, die noch unter der Betriebsbewilligung abläuft und selbst mehrere Hundert Millionen Franken kostet, wird direkt vom Betreiber bezahlt.

Rückbau von innen nach aussen

Mit dem Vorliegen der Stilllegungsverfügung beginnt die Demontage der Anlage. 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 der Umwelt und des Personals 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 Hilfsanlagengebäude. Bei Siedewasserreaktoren wie in Mühleberg und Leibstadt zählt auch das Maschinenhaus dazu.

Ausserhalb der kontrollierten Zone findet der Rückbau auf konventionelle Art statt. Innerhalb der kontrollierten Zone gibt die Aufsichtsbehörde gewisse Arbeiten schrittweise frei (z.B. die Demontage des Reaktordruckbehälters).

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.

Schrittweise Demontage

Typischerweise wird der Rückbau der kontrollierten Zone in drei Schritte gegliedert:

- **Demontage von kontaminierten Systemen und Komponenten (Phase I):** Der Ausbau von Bauteilen wie Flutwasserbehälter, Regelstabsführungen oder Druckspeicher schafft Platz für spätere Arbeit



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

Foto: CY

Quellen:

- swissnuclear, **Kostenstudie 2011** (13. Oktober 2011):
 - Mantelbericht
 - Bericht «Schätzung der Entsorgungskosten der Schweizer Kernkraftwerke»
 - Bericht «Schätzung der Kosten der Nachbetriebsphase der Schweizer Kernkraftwerke»
 - Bericht «Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen»

Download der Berichte beim Bundesamt für Energie unter: www.stilllegungsfonds.ch

ten. Gleichzeitig wird die Demontage von Grosskomponenten vorbereitet. Bei Siedewasserreaktoren findet in dieser Phase zusätzlich der Abbau der Turbinen und anderer Anlagen im Maschinenhaus statt. In einem weiteren Schritt folgt der Abbau von grossen Anlagenteilen wie den Dampferzeugern oder dem Primärkühlsystem mit seinen Pumpen und Leitungen.

- **Demontage von aktivierten Komponenten (Phase II):** Der Reaktor Druckbehälter und die umliegende Betonabschirmung, der sogenannte biologische Schild, sind die am stärksten belasteten Komponenten eines Kernkraftwerks. Sie sind während des Betriebs aktiviert worden und nun selbst radioaktiv. Diese Aktivität kann nicht durch Dekontamination entfernt werden.
- **Abbau der restlichen Einbauten (Phase III):** In der letzten Phase werden die Krananlagen und weitere Systeme entfernt, die zuvor für den Rückbau anderer Komponenten benötigt wurden. Als Letzte werden die Abwasser- und Abluftaufbereitungsanlagen demontiert.

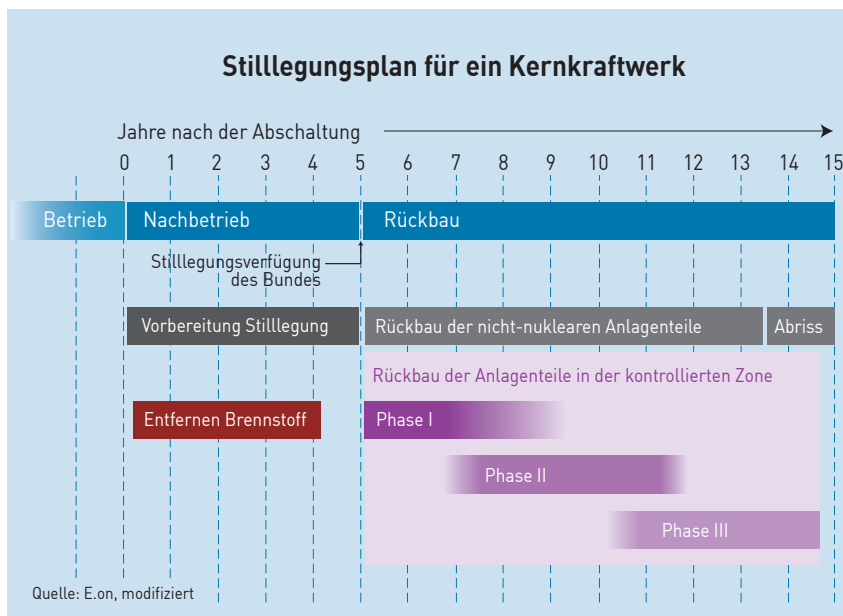
Bis zur grünen Wiese

Sind alle kontaminierten Anlagenteile entfernt, werden die Gebäudestrukturen auf Radioaktivität überprüft und wo nötig dekontaminiert (gereinigt). Kann nachgewiesen werden, dass keine erhöhten Radioaktivitätswerte mehr vorhanden sind (sogenannte Inaktiv-Freimessung), entlässt das Uvek die Anlage aus dem Kernenergiegesetz. Der Standort kann nun anderweitig genutzt werden.

Es ist jedoch international üblich und auch in der Schweiz vorgesehen, sämtliche Gebäude abzureissen und das Kernkraftwerksareal bis zur grünen Wiese zurückzubauen. Am Ende des Stilllegungsprozesses sieht das Areal wieder aus wie vor dem Bau des Kraftwerkes. Die gesamte Stilllegung, einschliesslich der Nachbetriebsphase, dauert 15 bis 20 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 Zer-



legungs- 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 inzwischen erbaute zentrale Zwischenlager in Würenlingen (Zwilag) 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 technisch bereits zurückgebaut. Der Rückbau eines zweiten Forschungsreaktors aus dieser Zeit, «Diorit», wurde im Herbst 2012 abgeschlossen. Die Gebäude werden weiter genutzt.

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 rund ein Dutzend Kernkraftwerke zur grünen Wiese zurückgebaut worden. Der

Weitere Informationen zum Thema auf:

Nuklearforum Schweiz, Faktenblatt «Finanzierung der nuklearen Entsorgung»: www.nuklearforum.ch

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

World Nuclear Association: www.world-nuclear.org/info/inf19.html

U.S. Nuclear Regulatory Commission: www.nrc.gov/about-nrc/regulatory/decommissioning.html

Nuklearforum Schweiz
 Postfach 1021
 3000 Bern 14
 Telefon 031 560 36 50
 Telefax 031 560 36 59
 info@nuklearforum.ch
 www.nuklearforum.ch

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.

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 stengelassen, wobei die Radioaktivität laufend abklingt.

Weltweit wurden bisher über 80 kommerzielle Kernkraftwerke stillgelegt. Die meisten von ihnen stammen aus den Anfangsjahren der zivilen Kerntechnik und haben das Ende ihrer wirtschaftlichen Betriebsdauer erreicht.

Möglichst wenig radioaktive Abfälle

Parallel zur schrittweisen Demontage werden die ausgebauten Komponenten zerlegt und konditioniert. Weit mehr als die Hälfte 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 die nicht-radioaktiven Anteile aussortiert. Kontaminierte Anlagenteile können dekontaminiert und danach ebenfalls konventionell entsorgt werden.

«Kontaminiert» bedeutet, dass sich auf der Oberfläche eines Bauteils radioaktive Stoffe abgelagert haben, während das Material des Bauteils selbst nicht radioaktiv ist. «Aktiviert» heisst hingegen, dass ein Material durch Bestrahlung selbst radio-

aktiv geworden ist und daher nicht dekontaminiert werden kann. Ziel ist, die Menge der schliesslich übrigbleibenden radioaktiven Abfälle möglichst gering zu halten.

Heute liegen praktische Erfahrungen mit einer Vielzahl von Zerlege- und Dekontaminationsverfahren vor. Beim Zerlegen wird darauf geachtet, dass möglichst wenig Staub entsteht. Dazu werden beispielsweise langsam laufende Sägen benutzt. Die Dekontamination von Bauteilen geschieht mittels Stahlkies-Strahlen oder Hochdruck-Wasserstrahlen.

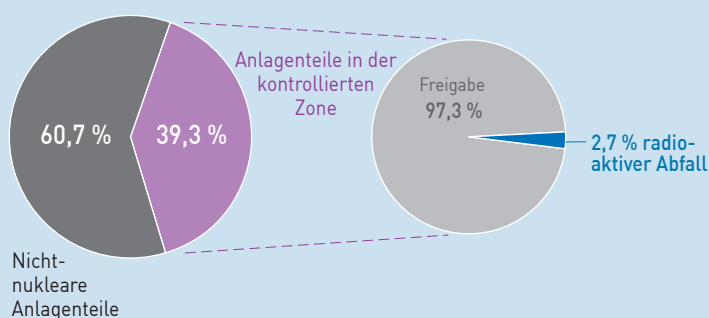
Weniger als fünf Prozent

Dank dieser Verfahren gelingt es, 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 als schwach- oder mittelradioaktiver Abfall, bei Bedarf nach einer Zwischenlagerung, in ein geologisches Tiefenlager verbracht.

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

Anteil des radioaktiven Abfalls am rückgebauten Material

am Beispiel des deutschen Kernkraftwerks Stade (Druckwasserreaktor, 640 MW)



Quelle: E.on, modifiziert