

STILLEGUNG VON KERNKRAFTWERKEN
STATUS IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

VON

J. ESSMANN

Preussische Elektrizitäts A.G. (Bundesrepublik Deutschland)

ZUSAMMENFASSUNG

In der Bundesrepublik Deutschland wird im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren für Kernkraftwerke der Nachweis gefordert, dass die Anlagen am Ende ihrer Betriebszeit stillgelegt und beseitigt werden können. Insbesondere wird die Forderung nach stilllegungsfreundlicher Auslegung der Anlagen erhoben. Die deutschen Energieversorgungsunternehmen, die Kernkraftwerke betreiben, haben sich schon frühzeitig mit den Fragen der Stilllegung befasst und insbesondere untersucht, ob aus der Stilllegung Fakten erkennbar sind, die eine Konzeptänderung der Anlagen nach sich ziehen könnten. Zu diesem Zweck wurde bei einem Ingenieur-Unternehmen eine Untersuchung in Auftrag gegeben, mit dem Ziel, das gesamte Spektrum der Stilllegung zu untersuchen, von der Ermittlung der Stilllegungstechniken bis hin zu den bei der Stilllegung zu erwartenden Kosten.

Die Untersuchungen, die im Jahre 1978 begonnen haben, wurden im Herbst 1980 abgeschlossen, so dass jetzt die Möglichkeit besteht, die gesamten Aspekte der Stilllegung auf einer neuen Basis zu behandeln. Die Ergebnisse bestätigen, dass bei heutigen Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren keine Konzeptänderungen speziell im Hinblick auf eine erleichterte Stilllegung notwendig sind, da dieser Gesichtspunkt schon durch die Auslegung der Anlagen auf erleichterte Inspektion, Wartung und Reparatur (einschliesslich des Austausches grosser Komponenten) bereits voll abgedeckt ist.

Die für eine Beseitigung der Anlage notwendige Technik ist heute voll verfügbar, jedoch erscheinen in einzelnen Teilbereichen noch Entwicklungsarbeiten zur weiteren Optimierung sinnvoll.

Insbesondere wurde die technische Durchführbarkeit der Stilllegung von Kernkraftwerken vom Typ der Referenzanlagen (Biblis A und KRB) auch in Form der totalen Beseitigung bis in die Details nachgewiesen. Dies wurde insbesondere dadurch erreicht, dass über die bisher auch im internationalen Rahmen angefertigten Studien hinaus durch Aufstellung konkreter, an den Referenzanlagen orientierter Arbeitspakete und durch die Bearbeitung dieser Arbeitspakete durch kompetente Fachfirmen erstmalig der Nachweis geführt wird, dass die heute verfügbaren Stilllegungstechniken den Anforderungen genügen. Insofern besteht keine Erfordernis, für Anlagen des gleichen Typs weitere Studien - insbesondere zum Zweck des Nachweises im Genehmigungsverfahren - zu erstellen; vielmehr wird man weitergehende Untersuchungen erst zu dem Zeitpunkt benötigen, zu dem die konkrete Stilllegung einer bestimmten Anlage am Ende ihrer Lebensdauer ansteht.

Schätzungen über die Menge der zu erwartenden und zu beseitigenden Stilllegungsabfälle wurden nicht nur bestätigt, sondern konnten mit hoher Genauigkeit bis ins Detail ermittelt werden. Es konnte insbesondere nachgewiesen werden, dass die Beseitigung einer stillgelegten Anlage eine rein technische Angelegenheit ist und vom Standpunkt der radiologischen Umweltbelastung vernachlässigbar ist.

Die Strahlendosis des Abbruchpersonals bewegt sich in dem durch den Gesetzgeber (die Grössenordnung derjenigen, die bei einer der jährlich vorgenommenen Betriebsrevisionen eines Kernkraftwerkes anfällt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass sich im Gegensatz zu einer Revision die Strahlendosis hier auf den sich über mehrere Jahre erstreckenden Abbruchvorgang verteilt.

R E S U M E

DESAFFECTATION DES CENTRALES NUCLEAIRES
SITUATION EN REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE

En République Fédérale d'Allemagne, la procédure de permis de construire des centrales nucléaires dans le cadre de la loi sur l'énergie atomique exige que soit préalablement prouvé que les centrales concernées peuvent être désaffectées et démantelées au terme de leur durée prévue de fonctionnement.

Presented at "Journées internationales d'étude des centrales électriques
modernes, Liège, 26 - 30 October 1981"

Il est, en particulier, exigé que la conception de la centrale tienne compte explicitement de cette possibilité de désaffectation. Les régies allemandes qui gèrent ces centrales nucléaires se sont depuis longtemps penchées sur les problèmes liés à la désaffectation et ont consacré une attention particulière aux aspects de la désaffectation qui pourraient impliquer des modifications dans la conception même des centrales. A cette fin, un contrat a été passé avec une firme conseil en génie civil aux fins pour celle-ci d'entreprendre l'analyse exhaustive du problème de la désaffectation en partant des techniques de désaffectation pour aboutir à l'extinction du volume des déchets de désaffectation et du coût global de l'opération.

Cette étude a commencé en 1978 pour se terminer en automne 1980. Les résultats en sont à présent disponibles. Il est donc désormais possible d'ouvrir le débat sur tous les aspects de la désaffectation sur une base nouvelle. Les résultats indiquent qu'il n'est pas nécessaire de modifier la conception des centrales nucléaires du type LWR actuellement en fonctionnement ou en cours de construction pour faciliter leur désaffectation ultime. Cette considération est en effet toujours intégrée dans la conception d'une centrale nucléaire eu égard à la nécessité d'assurer dans de bonnes conditions les contrôles, entretiens et réparations nécessaires (y compris la possibilité de démonter et de remonter de grands éléments constitutifs).

Les techniques de désaffectation des centrales nucléaires sont d'ores et déjà bien connues, encore qu'il reste possible de les améliorer au niveau de certains aspects mineurs.

En particulier, on a démontré en détail la possibilité technique de désaffecter des centrales nucléaires du même type que les centrales de référence (Biblis A et KRB), et ceci jusqu'au stade de leur démantèlement intégral. Ceci a été possible en raison du fait que, contrairement à ce qu'indiquent les études nationales et internationales sur ce sujet, des "ensembles opératoires" bien définis ont été mis au point en fonction des centrales de référence elles-mêmes. Ces "ensembles opératoires" ont en outre été confiés à des sociétés compétentes connaissant bien le travail à réaliser. Il a ainsi été possible de montrer que les techniques de désaffectation disponibles à l'heure actuelle répondent à toutes les exigences en la matière. Il n'est donc plus nécessaire de lancer d'autres études sur les centrales nucléaires du même type, particulièrement en vue de faire la preuve de la possibilité de désaffectation dans le cadre de la procédure d'octroi du permis de construire. Selon nous, une approche plus approfondie de la désaffectation ne deviendra nécessaire qu'au moment où une centrale donnée arrive à la fin de sa durée opératoire. C'est alors qu'un équipement spécial de désaffectation doit être prévu.

Les estimations du volume de déchets résultant du démantèlement d'une centrale nucléaire ont pu être confirmées et précisées à un niveau très raffiné. Cet exercice a permis en outre de démontrer que le démantèlement d'une centrale nucléaire en fin de "carrière" ne pose que des problèmes strictement techniques, l'irradiation de l'environnement qu'il est susceptible de provoquer étant négligeable.

En particulier, le degré d'irradiation du personnel chargé de la désaffectation est conforme aux prescriptions de protection contre l'irradiation et du même ordre de grandeur que celui auquel sont exposés les responsables du contrôle interne annuel. La différence est qu'en cas de désaffectation, ce degré d'irradiation est entraîné par un travail qui dure plusieurs années, ce qui n'est pas le cas pour les contrôles de routine annuels.

S U M M A R Y

DECOMMISSIONING OF NUCLEAR POWER PLANTS STATUS IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY

In the Federal Republic of Germany the licensing procedure for nuclear power plants under the Atomic Energy Act requires provision of proof that the plants can be decommissioned and removed at the end of their operating time. In particular, the requirement is specified that the design of the plants must take account of decommissioning. The German utilities which operate nuclear power plants have long concerned themselves with aspects of decommissioning, and they have especially studied the question of whether there are aspects of decommissioning which could necessitate a change in the concept of the plant. For this purpose, an engineering company was given a contract to make a study with the objective of analysing the entire spectrum of decommissioning, ranging from determination of the decommissioning techniques and extending to the calculation of the masses of decommissioning wastes and the costs expected to be incurred during the decommissioning.

The whole study was initiated in 1978 and was finished in autumn 1980 and the results are now available. Therefore it is possible to discuss all the aspects of decommissioning on a new basis. The results indicate that changes in the design concept of LWR nuclear power plants today in operation or under construction especially for easier decommissioning are not necessary, because this aspects is always taken into account when planning a nuclear power plant with regard to a good possibility for inspection, maintenance and repairs (incl. to the possibility of disassembly and reassembly of large components).

The techniques necessary for decommissioning of a power plant are fully available today, nevertheless it seems to be ingenious to initiate some development in order to optimize some details of that known techniques.

Especially the technical feasibility of decommissioning of nuclear power plants which are of the same type as the reference-plants (Biblis A and KRB), up to the complete removal has been shown in detail. This could be realized while - differently to the national and international studies on this topic - well defined "working packages" has been achieved which are orientated on the reference-plants themselves and while these "working packages" were given to competent corporations which are familiar with the special work to be done. So it was possible to show that the decommissioning techniques available today fulfil all demands. Therefore there is no necessity to work out another studies on power plants of the same type - especially for the purpose of demonstrating within the licensing procedure -; in our meaning more details of decommissioning will be necessary at that time when the plant has reached the end of its lifetime. In this case a special decommissioning plant is to work out.

The calculations of the quantity of waste produced during removal of a nuclear power plant could be confirmed and it could be determined with high procedure. Further it could be pointed out that the removal of a nuclear power plant out of service is only a point of technique, the radiation to the public is neglectible.

The radiation dose to the decommissioning personnel is in the range of the radiation protection regulations and is in the same range as the radiation dose to the personal within a yearly inservice inspection. It has to be noted that in contrast to the inservice inspection the named radiation dose is distributed on the decommissioning work which has a duration of some years.

S A M E N V A T T I N G

BUITEN BEDRIJFSTELLEN VAN KERNCENTRALES SITUATIE IN DE DUITSE BONDSREPUBLIC

In de Duitse Bondsrepubliek impliceert de vergunningsprocedure voor kerncentrales volgens de Atoomenergiewet dat bewijzen worden geleverd dat de installatie buiten bedrijf kan worden gesteld op het einde van het gebruik. Bij het ontwerp van installaties dient daarmee rekening te worden gehouden. De Duitse bedrijven die deze kerncentrales uitbaten hebben dit probleem van buiten bedrijfstelling grondig onderzocht en zij hebben voornamelijk bestudeerd of dit een verandering van het ontwerp vereist. Ten einde dit te bepalen werd een engineering maatschappij belast met het maken van een studie omvattende alle aspecten van het buiten bedrijfstellen, onder meer het bepalen van de te gebruiken technieken, berekenen van de afvalmassa's en het bepalen van de kostprijs ervan.

Er werd een aanvang genomen met de studie in 1978 en in de herfst 1980 werd zij beëindigd en de resultaten zijn nu beschikbaar. Bijgevolg is het mogelijk alle aspecten van het buiten bedrijfstellen op een nieuwe basis te bespreken. De resultaten tonen aan dat veranderingen in het ontwerp van LWR nucleaire installaties, die nu in bedrijf zijn of worden gebouwd niet vereist zijn, aangezien dit aspect steeds in overweging wordt genomen bij het ontwerpen van een nucleaire installatie met betrekking tot het toezicht, onderhoud en herstellingen (met inbegrip van het uit elkaar halen en samenbrengen van componenten).

De technieken voor het buiten bedrijfstellen van nucleaire installaties zijn thans volledig beschikbaar, maar een verdere ontwikkeling is positief ten einde sommige details van de gekende technieken te optimaliseren.

De technische uitvoerbaarheid van het buiten bedrijfstellen van nucleaire installaties die van hetzelfde type zijn als de referentie-installaties (Biblis A en KRB) is in detail besproken. Dit zou kunnen worden gerealiseerd, afwijkend van sommige nationale en internationale studies hieromtrent, door goed bepaalde "working packages" die georiënteerd zijn op de referentie-installaties en door deze "working packages" toe te vertrouwen aan organisaties die hiermee vertrouwd zijn. Er kon worden aangehouden dat de huidige technieken volledig alle eisen opvangen. Bijgevolg is het niet nodig verdere studies uit te werken voor andere installaties van hetzelfde type-voornamelijk met betrekking tot eisen gesteld door de vergunningsprocedure. Volgens ons zullen verdere details vereist zijn op het einde van de levensduur van een installatie.

De berekeningen betreffende de hoeveelheid geproduceerde afval gedurende het verwijderen van een installatie werden bevestigd en nauwkeurig bepaald. Verder werd eveneens aangetoond dat het verwijderen van een nucleaire installatie een louter technisch probleem is, zonder aanzienlijk stralingsgevaar voor het publiek.

De stralingsdosis voor het personeel belast met het verwijderen van de installatie bevindt zich binnen de toegelaten grenzen. Deze dosis kan worden vergeleken met deze waaraan het inspectie personeel is blootgesteld tijdens een jaar. Er dient te worden opgemerkt dat in tegenstelling met de inspectie, dezelfde stralingsdosis bij het buiten bedrijfstellen over meerdere jaren is gespreid.

Die Stilllegung von Kernkraftwerken
- Status in der Bundesrepublik Deutschland

J. Eßmann

Preußische Elektrizitäts-AG, Hannover

1. Grundsätzliche Ausgangsposition

Mit der Zunahme der Anzahl der Kernkraftwerke für die Stromversorgung in der Bundesrepublik Deutschland wurde die Frage der Stilllegung dieser Anlagen am Ende ihrer Lebensdauer in verstärktem Maße diskutiert. Es ist unbestreitbar, daß infolge des vorhandenen Aktivitätsinventars detaillierte Überlegungen notwendig sind, wie diese Stilllegungen ohne Gefährdung der Bevölkerung und des Betriebspersonals durchgeführt werden können.

Dementsprechend wurde die Stilllegung im deutschen Atomgesetz (AtG) /17/ in § 7 Abs. 3 so verankert, indem dort ausgeführt wird, daß auch die Stilllegung einer kerntechnischen Anlage einem atomrechtlichen Genehmigungsverfahren zu unterziehen ist. Darüber hinaus kann die Genehmigungsbehörde, wozu ihr das Atomgesetz das Recht gibt, eine Beseitigung eines Zustandes anordnen, wenn er dem Schutzziel der Gesetze widerspricht.

Weiterhin befaßt sich der Gesetzgeber schon bei der Errichtung einer Anlage mit der Möglichkeit der späteren Stilllegung und fordert in den Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke /2/, in denen die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden näher konkretisiert werden, unter der Nummer 2.10 folgendes:

"Kernkraftwerke müssen so beschaffen sein, daß sie unter Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen stillgelegt werden können. Ein Konzept für eine Beseitigung nach der endgültigen Stilllegung unter Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen muß vorhanden sein."

Damit ist schon bei der Errichtung der Anlage sichergestellt, daß auf jeden Fall ein Zustand hergestellt werden kann, der die spätere Erteilung einer Genehmigung zur Stilllegung ermöglicht.

2. Verhalten der Elektrizitätsversorgungsunternehmen

Die deutschen Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) hatten sich aus eigenem Verantwortungsbewußtsein heraus schon frühzeitig mit den Fragen der Stilllegung befaßt, insbesondere auch mit den dabei zu erwartenden Kosten. Dazu wurde von den EVU, die Kernkraftwerke bauen oder betreiben, über die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) schon 1972 bei einem Ingenieurunternehmen eine Vorstudie in Auftrag gegeben /3/.

Mit der Veröffentlichung der erwähnten Sicherheitskriterien und der damit verbundenen Nachweispflicht im Rahmen laufender Genehmigungsverfahren für Kernkraftwerke wurden die EVU veranlaßt, die bis dahin geführten Überlegungen zu intensivieren und Untersuchungen über die technischen Maßnahmen anzustellen, die aus heutiger Sicht notwendig sind, um Kernkraftwerke am Ende ihrer Betriebszeit stillzulegen.

Zu diesem Zweck wurde bei der VDEW ein Arbeitskreis gebildet, der zunächst die Aufgabe hatte, die grundsätzliche Auffassung der EVU zu den Fragen der Stilllegung und ihrer Machbarkeit zu artikulieren, mit dem Ziel, diese Problematik von den anstehenden Genehmigungsverfahren zu lösen und die Fragen generell mit den Genehmigungsbehörden zu diskutieren. Schon bald kam der Arbeitskreis zu der Meinung, nach Sichtung und Wertung der in- und ausländischen Untersuchungen, daß aus heutiger Sicht ein Kernkraftwerk am Ende seiner Betriebszeit ohne Änderung des Konzeptes stillgelegt werden kann /3/.

Andererseits wurde aber auch bald klar, daß ohne eine detaillierte eigene generelle Untersuchung der Nachweispflicht in den speziellen Genehmigungsverfahren nicht Rechnung getragen werden kann. Das basiert im wesentlichen darauf, daß die in Deutschland in Bau und in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke nicht unerhebliche Unterschiede gegenüber in anderen Ländern zum Einsatz kommenden Kernkraftwerken aufweisen. Erinnert sei in diesem Zusammenhang nur an die sicherheitstechnische Forderung, den Flugzeugabsturz und den damit verbundenen Treibstoffbrand bei der Auslegung mit zu berücksichtigen, was sich u.a. in bis zu 2,50 m dicken Wandstärken für einige sicherheitstechnisch wichtigen Bauteile niederschlägt. Aber auch die im Ausland bereits durchgeführten Stilllegungen sind wegen der erreichten Stilllegungszustände sowie wegen der unterschiedlichen Genehmigungssituation und Endlagerkonzepte nur teilweise auf deutsche Verhältnisse übertragbar, obwohl die dort angewandten Stilllegungstechniken und -verfahren grundsätzlich auch bei deutschen Kernkraftwerken eingesetzt werden können.

Um hier Einblick zu gewinnen, beauftragte die VDEW Mitte 1976 ein Ingenieurunternehmen mit einer mehr ins Detail gehenden dreiteiligen Untersuchung, deren Ziel es war, für große, in der Bundesrepublik errichtete, Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren am Beispiel der beiden Referenzanlagen Biblis A (DWR) und Brunsbüttel (SWR) die Stilllegungstechnik darzulegen, die Stilllegungskosten und die akkumulierte Dosis bei der Stilllegung für das Stilllegungspersonal zu ermitteln und die schließlich anfallenden endlagerfähigen Produkte aufzulisten.

Im ersten Teil der Studie wurden die Randbedingungen und Grundlagen sowie die Bestandsaufnahme einschließlich des Aktivitätsinventars der Referenzanlagen, ferner die erforderlichen und heute verfügbaren Stilllegungstechniken und die wesentlichen Schritte des Stilllegungsablaufes erarbeitet.

Im zweiten Teil wurde die Arbeitsstruktur der Stilllegungsdurchführung sowie ein erster Modellrahmen für die Kostenstruktur erstellt und die kollektive und kumulierte Strahlendosis auf der Basis von spezifischen Dosiswerten aus amerikanischen Stilllegungen sowie aus Großreparaturen und Revisionen deutscher Kernkraftwerke näherungsweise ermittelt /4/.

Im dritten Teil sind für die Kostenermittlung anhand der zuvor erarbeiteten Spezifikationen für die einzelnen Arbeitspakete von verschiedenen Spezialfirmen detaillierte Angebote eingeholt worden. Anhand dieser Unterlagen wurden die Stilllegungsdosen ermittelt, ein Kostenmodell aufgestellt und mit Hilfe eines Rechenprogrammes die Stilllegungskosten errechnet.

Alle drei Teile der Untersuchung liegen jetzt vor und können in das Genehmigungsverfahren eingespeist werden. Die Ergebnisse hinsichtlich der Kosten erlauben darüber hinaus, die Rückstellungen für Stilllegungen den Finanzbehörden der Höhe nach zu begründen /5/.

3. Definitionen zur Stilllegung

In der Fachpresse und in Fachgremien werden mit der Stilllegung von Kernkraftwerken oftmals sehr unterschiedliche Zustände der Anlagen verbunden. Die deutschen EVU verstehen unter Stilllegung die endgültige Außerbetriebsetzung der Anlage sowie der damit verbundenen notwendigen Maßnahmen zur Herleitung dieses Zustandes. Da die abgebrannten Brennelemente in der Regel ein Jahr in der Anlage verbleiben ehe sie entsorgt werden, bedeutet das, daß das Entsorgen der Betriebsmittel einschließlich der Brennelemente als noch zum Betrieb gehörend angesehen wird.

Auch die Beseitigung der konventionellen Anlagenteile wird nicht als Stilllegungsmaßnahme betrachtet, da hierfür keine besonderen Techniken benötigt werden und deren Abfallbeseitigung nicht unter die Regelungen des Atomgesetzes fallen.

Die Frage, ob und zu welchem Zeitpunkt ein Kernkraftwerk stillgelegt werden muß, wird sich im allgemeinen aus der Betriebsweise und den Betriebserfahrungen bzw. der Genehmigungssituation der Anlage ergeben. Man wird aber im allgemeinen davon ausgehen können, daß ein Kernkraftwerk am Ende seiner technischen Lebensdauer, d.h. nach etwa 40 Jahren, außer Betrieb genommen wird.

Darüber hinaus kann die Stilllegung eines Kernkraftwerkes auch aus den folgenden Gründen erforderlich werden /3/:

- unwirtschaftlich gewordener Betrieb infolge zunehmender Betriebserschwernisse, z.B. wegen erhöhter Wartungs- und Reparaturbedürfnisse und damit abnehmender Verfügbarkeit,
- Notwendigkeit größerer, schwieriger Reparaturen, für die der Aufwand unangemessen hoch wäre,
- nachträgliche Genehmigungsaufgaben zur Ertüchtigung der Anlage auf einen geänderten sicherheitstechnischen Stand, deren Erfüllung einen wirtschaftlich nicht vertretbaren Aufwand erfordern würde. Dies ist dann der Fall, wenn entweder der Aufwand aufgrund des Fehlens klarer sicherheitstechnischer Vorgaben nicht nach oben begrenzt ist oder wenn der Aufwand den zu erwartenden Nutzen nicht mehr vertretbar erscheinen läßt,
- Eintreten eines größeren Störfalles, der zu der Meinung führt, daß die Anlage stillgelegt werden muß, weil eine erneute Inbetriebsetzung aus wirtschaftlich-technischen oder sicherheitstechnischen Gründen nicht oder nur mit unangemessenen Kosten durchführbar wäre.

4. Stilllegungsvarianten und optimale Einschlußzeit

Weltweit sind bis heute bereits mehr als 50 Kernreaktoren stillgelegt worden, überwiegend Forschungs- und Versuchsreaktoren sowie einige frühe Versuchs- und Demonstrationskernkraftwerke bis zu einer Leistungsgröße von etwa 250 MW elektrisch.

Aus diesen Fällen lassen sich drei Hauptvarianten der Stilllegung unterscheiden, nämlich

- der gesicherte Einschluß
- die teilweise Beseitigung mit Resteinschluß
- die totale Beseitigung.

Jede Variante kann für sich als eine mögliche endgültige Art der Stilllegung betrachtet werden, es kann jedoch auch in zeitlicher Abfolge von einer Variante zur nächsten übergegangen werden /6/.

4.1 Gesicherter Einschluß (Variante I)

Bei dieser Variante wird die Anlage im wesentlichen unverändert gelassen. Die verbleibende Radioaktivität liegt nach Durchführung der betrieblichen Entsorgung nur noch in fester Form vor, wird bzw. bleibt eingeschlossen oder wird in anderer Weise fixiert. Flüssige oder gasförmige radioaktive Medien gibt es nicht mehr. Die nuklearen Anlagenteile werden verschlossen, gegen Zutritt Unbefugter gesichert, und ein radiologisches Überwachungsprogramm wird durchgeführt.

Ziel des gesicherten Einschlusses ist es, möglichst schnell ohne sofortige Demontage der Anlage das verbleibende Aktivitätsinventar mit möglichst geringem Aufwand sicher so einzuschließen, daß das Aktivitätsinventar allein durch natürlichen Zerfall im Verlauf der "Einschlußzeit" kleiner wird. Sobald die Herleitungsmaßnahmen zur Erreichung des Status "Gesicherter Einschluß" abgeschlossen sind, beginnt die sogenannte "Einschlußzeit". Ihre Dauer kann von zahlreichen Faktoren abhängen und wird in Abschnitt 4.5 gesondert diskutiert.

Der gesicherte Einschluß wird stets so vorgenommen, daß die Einschlußzeit zu einem beliebigen Zeitpunkt abgebrochen und zu einer anderen Stilllegungsvariante über-

gegangen werden kann. Dazu werden schon bei der Herleitung des gesicherten Einschlusses jene Anlagenteile konserviert, die später bei einem solchen Übergang gebraucht werden.

4.2 Teilbeseitigung mit gesichertem Resteinschluß (Variante II)

Bei dieser Variante werden aktive und inaktive Teile des Kraftwerkes zum Teil demontiert und beseitigt, zum anderen Teil komprimiert in den verbleibenden Kraftwerksteilen eingeschlossen. Die aktiven Anlagenteile werden dabei durch teilweise Demontage mehr oder weniger umgruppiert, um einen möglichst geringen Raum einzunehmen. Hinter teils vorhandenen, teils speziell ergänzten massiven Baustrukturen sind sie gegen die Außenwelt abgeschirmt und hierdurch gleichzeitig gegen das Eindringen Unbefugter gesichert.

Das Ziel dieser Variante ist im Prinzip das gleiche wie bei Variante I: Dem natürlichen Zerfall des Aktivitätsinventars Zeit geben, um Beseitigungsarbeiten unter einer Strahlenbelastung entsprechend der Forderung des Atomgesetzes "so gering wie möglich" durchzuführen. Gleichzeitig soll bei Variante II aber auch im Hinblick auf Standortnutzung und Landschaftsbild Platz geschaffen werden.

4.3 Totale Beseitigung (Variante III)

Bei dieser Variante wird unterstellt, daß alle aktiven und inaktiven Teile des gesamten Kontrollbereiches des Kraftwerksblocks vom Standort entfernt und an anderer Stelle zwischen- oder endgelagert werden. Praktisch ist das nicht ohne Abbruch und Beseitigung aller wesentlichen Kraftwerksbauten möglich, so

daß man als Ziel dieser Variante die "Wiederherstellung der grünen Wiese" angeben kann. Gemeint ist damit eine in radiologischer Hinsicht unbeschränkte Freigabe des Standorts und seiner evtl. noch verbleibenden Einrichtungen, d.h. hierfür kommt das Atomrecht nicht mehr zur Anwendung.

4.4 Kombinationen von Varianten

Grundsätzlich kann jede der drei Hauptvarianten als eine endgültige Art der Stilllegung betrachtet werden. Möglich und zur Zeit wahrscheinlicher sind jedoch Kombinationen, z.B. zeitliche Hintereinanderschaltungen von

Variante III nach I: Totalbeseitigung nach einer Einschlußzeit

Variante III nach II

Variante III nach I und II.

Die Varianten I und III sind relativ eindeutig zu umreißen. Für Variante II hingegen lassen sich zahlreiche Ausführungsformen unterscheiden, auf die hier jedoch nicht eingegangen wird. Aus wirtschaftlichen und politischen Gründen kann es notwendig sein, kurzfristig oder nach einer mehr oder weniger langen Einschlußzeit die vollständige Beseitigung vorzusehen. In diesem Fall wären größere Aufwendungen für den Zwischenschritt einer Teilbeseitigung mit gesichertem Resteinschluß aber nicht sinnvoll, insbesondere deshalb nicht, weil die neueren Kernkraftwerke wegen der für den Betrieb bei uns geforderten Auslegung des ganzen Reaktorgebäudes gegen Flugzeugabsturz bereits einen so massiven baulichen Schutz für die darin befindlichen nu-

klaren Anlagenteile besitzen, daß in dieser Hinsicht die Schutzqualität der Variante II bereits weitgehend für den gesamten nuklearen Teil gegeben ist.

Für eine totale Beseitigung (Variante III) sind alle technischen Mittel grundsätzlich schon heute vorhanden, wie auch durch viel schwierigere Reparaturen an großen Kraftwerksreaktoren (z.B. Einstieg von Personal in das bestrahlte Reaktordruckgefäß des KKW Stade zur Reparatur des Kernschemels) oder durch die Beseitigung US-amerikanischer KKW-Reaktoren (Elk River, SRE und Hallam) gezeigt worden ist. Trotzdem verspricht die Vorschaltung einer befristeten Einschlußzeit, d.h. eine Kombination der Variante III mit I einige Vorteile: Durch das natürliche Abklingen der Radioaktivität des eingeschlossenen Inventars (z.B. in 30 Jahren etwa um den Faktor 10) werden bei den späteren Beseitigungsarbeiten geringere akkumulierte Personendosen des Stilllegungspersonals erreicht, d.h. die Zahl der dabei im zulässigen Rahmen bestrahlten Personen und ihre individuelle Dosis wird verringert. Näheres ist in Kapitel 5 beschrieben. Zum Teil wird durch die Vorschaltung von Variante I auch der Beseitigungspersonalaufwand insgesamt und der Umfang der Strahlenschutzmaßnahmen verringert.

Auch die Zugänglichkeit zu den einzelnen Anlagenteilen wird erleichtert und deren Handhabung vereinfacht. Es werden weniger Spezialgeräte benötigt und der erforderliche Zerkleinerungsgrad und die Menge des radioaktiven Abfalles geringer. Alle diese Punkte führen sowohl zu einer Verringerung der "Beseitigungsdosis" wie zur Kostensenkung.

Le
Au
te
wä

Di
St
in
St
li
mä
so
sc
Va
na

4.

Di
ko
Re
de
be
Ab
An
ol
be
da
be
Nu
ni
fi
au
we
St
be
un
fü
Da
Ha
mä
Re
na
al

Letztere vermindert sich jedoch um den Aufwand für die Herleitung des gesicherten Einschlusses und für die Überwachung während der Einschlußzeit.

Die vorgenannten Ausführungen zu den Stilllegungsvarianten gelten weitgehend international. Unterschiede in einzelnen Studien bzw. praktischen Vorgehensweisen liegen im wesentlichen in den zahlenmäßigen Ergebnissen. Dies gilt insbesondere für die optimale Dauer der Einschlußzeit bei einer Kombination der Varianten I und III: Totalbeseitigung nach gesichertem Einschluß.

4.5 Zur optimalen Einschlußzeit

Die Untersuchung im Auftrage der VDEW kommt aufgrund einer radiologischen Bewertung des Aktivitätsinventars zu dem Ergebnis, einen Totalbeseitigungsbeginn rund 30 Jahre nach der letzten Abschaltung zu empfehlen. Bei dieser Angabe wurde die unterschiedliche radiologische Bedeutung der einzelnen Nuklide berücksichtigt. Dies geschah, indem man das Abklingverhalten der bedeutsamsten, beim Betrieb entstehenden radioaktiven Nuklide miteinander verglich und dabei nicht nur ihre Menge und massenspezifische Nuklidaktivität (Ci/g), sondern auch ihre radiologische Bedeutung bewertete. Hierzu wählte man die in der Strahlenschutzverordnung in Ci angegebenen Grenzwerte der einzelnen Nuklide und gab sie als Vielfaches des Wertes für den Gammastrahler Kobalt 60 an. Dabei zeigt sich, daß das mit einer Halbwertszeit von 5,3 Jahren aktivitätsmäßig bedeutsame Kobalt 60 bei einer Reaktorbetriebszeit von 17 bis 40 Jahren nach 34 bzw. 26 Jahren, d.h. im Mittel also rund 30 Jahre nach der letzten

Abschaltung in seiner radiologischen, d.h. in der für die Personalstrahlenbelastung maßgebenden Bedeutung zurücktritt gegenüber dem Nuklid Nickel 63, das ein β -Strahler ist. Da Ni 63 eine Halbwertszeit von 100 Jahren hat, lohnt es nicht, seine Aktivitätsabnahme durch Zerfall zu berücksichtigen. Es ist daher nicht sinnvoll, eine beabsichtigte totale Beseitigung wesentlich später als 30 Jahre nach der Außerbetriebnahme des KKW zu beginnen.

5. Untersuchungsergebnisse

Basis für das weitere Vorgehen der deutschen EVU sind die Ergebnisse der in Auftrag gegebenen Studie. Aufgrund der Ausführungen in Kapitel 4 wurden in der Studie zwei Alternativen untersucht, nämlich die unmittelbare totale Beseitigung, was der Variante III entspricht, und den gesicherten Einschluß mit einer 30 Jahre danach folgenden totalen Beseitigung. Wie schon erwähnt, wurden die Anlagen Biblis A mit Druckwasserreaktor und 1204 MW elektrischer Leistung und die Anlage Biblis mit Siedewasserreaktor und 805 MW elektrischer Leistung ausgewählt.

Es würde den Umfang dieses Berichtes sprengen, wenn die Ergebnisse detailliert beschrieben würden. Hier sei auf /5, 7/ verwiesen. Im Rahmen dieses Berichtes soll lediglich eine Zusammenfassung der Ergebnisse erfolgen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen, daß bei heutigen Kernkraftwerken die Stilllegung unter Einhaltung aller gesetzlichen Vorschriften machbar ist. Änderungen im Konzept aus Gründen einer späteren leichteren Stilllegung

sind nicht erforderlich. Hier kommt ganz wesentlich zum Tragen, daß die Auslegung der Anlage auf erleichterte Inspektion, Wartung und Reparatur (einschließlich des Austausches großer Komponenten) bereits eine wesentliche Rolle für den Betrieb spielt. Diese Aussage kann gemacht werden, da diese betrieblichen Aspekte wegen der vergleichbaren Tätigkeiten auch für die Stilllegung relevant sind. Insbesondere konnte nachgewiesen werden, daß die für die Beseitigung der Anlagen notwendigen technischen Verfahren schon heute voll verfügbar sind. Weiterhin wird detailliert ausgewiesen, daß Kernkraftwerke vom Typ der Referenzanlage auch "total beseitigt" werden können. Dies wurde insbesondere dadurch erreicht, daß über die bisher auch im internationalen Rahmen angefertigten Studien hinaus durch Aufstellung konkreter, an den Referenzanlagen orientierter Arbeitspakete und durch die Bearbeitung dieser Arbeitspakete durch kompetente Fachfirmen erstmalig der Nachweis geführt wurde, daß die heute verfügbaren technischen Verfahren allen Anforderungen genügen. Insofern konnte eine der Zielsetzungen der Studie erreicht werden, nämlich daß kein Erfordernis besteht, für Anlagen des gleichen Typs weitere Studien - insbesondere als Nachweis bei Genehmigungsverfahren - zu erstellen. Vielmehr wird man erst dann weitergehende Untersuchungen anstellen müssen, wenn die konkrete Stilllegung einer bestimmten Anlage ansteht. Schätzungen in vorhergehenden Studien über die Menge der zu erwartenden und zu beseitigenden Stilllegungsabfälle wurden nicht nur bestätigt, sondern mit hoher Genauigkeit bis ins Detail belegt. So beträgt z.B. bei einem Druckwasserreaktor vom Typ Biblis A die Gesamtmasse des

Kontrollbereiches etwa 144 000 Tonnen, davon sind weniger als ein Zehntel nach 1 Jahr Abklingzeit als radioaktiv anzusehen, nämlich etwa 12 500 Tonnen. Dabei belaufen sich die aktivierten Massen auf etwa 1 440 Tonnen und die ausschließlich kontaminierten Massen auf etwa 11 600 Tonnen. Durch eine Dekontamination der durch luftgetragene Aktivitäten kontaminierten Anlagenteile bis unter die nach Strahlenschutzverordnung zulässigen Grenzwerte für Handhabung ohne besondere Vorkehrungen läßt sich eine weitere Reduzierung um etwa 6 050 Tonnen erreichen. Es entstehen jedoch auch Sekundär-Abfälle, so daß insgesamt etwa 8 250 Tonnen als radioaktiver Abfall zu beseitigen sind.

Nach den für die bis Ende 1978 nutzbare Versuchslagerstätte Asse geltenden Einlagerungsbedingungen sind davon etwa 7 930 Tonnen schwachaktiver Abfall und ca. 300 Tonnen mittelaktiver Abfall. Dieser entfällt im wesentlichen auf die Kerneinbauten und Teile des Reaktor-druckbehälters, hochaktiver Abfall fällt nach dieser Einteilung bei der Stilllegung nicht an. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen weiterhin, daß die Beseitigung einer stillgelegten Anlage eine rein technische Angelegenheit und vom Standpunkt der radiologischen Umweltbelastung vernachlässigbar ist. Dies ist in Übereinstimmung mit früheren praktischen Erfahrungen bei kleineren Anlagen. Dabei bewegen sich die Strahlendosen des Personals, das die Stilllegung durchführt, in dem durch die deutsche Strahlenschutzverordnung vorgegebenen Rahmen und liegen in der Größenordnung derjenigen, die bei einer der jährlich vorgenommenen Revisionen eines Kernkraft-

werkes anfallen (bei einer typischen jährlichen Revision ca. 300-500 manrem). Dabei muß hervorgehoben werden, daß im Gegensatz zu einer Revision die bei einer Stilllegung zu erwartende Strahlendosis sich über den über mehrere Jahre erstreckenden Stilllegungsvorgang verteilt. Beispielhaft sei hier darauf hingewiesen, daß sich bei einer unmittelbaren totalen Beseitigung für eine Anlage vom Typ Biblis A eine Strahlendosis von rund 700 manrem ergibt, während sich bei der Wahl des gesicherten Einschlusses und einer totalen Beseitigung nach 30 Jahren die Dosis auf rund 850 manrem reduziert. Daraus läßt sich ableiten, daß vom Standpunkt des Strahlenschutzes aus gesehen der gesicherte Einfluß mit späterer totaler Beseitigung leichter durchzuführen ist. Für diese Zahlenwerte erscheint ein Vertrauensbereich von ± 30 % als realistisch.

Eine weitere wesentliche Zielsetzung war die Forderung nach einer Detaillierung und Präzisierung der früher nur pauschal angestellten Kostenschätzungen. So wurden für die am Beispiel Biblis Block A durchgeführten Untersuchungen für eine unmittelbare totale Beseitigung Basis-kosten in Höhe von 207 Mio DM, bezogen auf den Preisstand von 1979, ermittelt. Die Zahlen für die Referenzanlage Brunsbüttel liegen für die unmittelbare totale Beseitigung bei 199 Mio DM. Die Genauigkeit dieser Gesamtkosten beträgt etwa ± 20 %.

6. Zusammenfassung

Wie stellt sich nun aus Sicht der deutschen EVU die Stilllegung dar? Es konnte in verschiedenen Untersuchungen, zuletzt in der im einzelnen vorgestellten Studie,

dargelegt werden, daß Kernkraftwerke heutiger Bauart mit den heute bekannten technischen Mitteln auch kurzfristig beseitigbar sind; jedoch kann eine vorangehende begrenzte Einschlußzeit, z.B. aus radiologischen Gründen im Sinne einer Minimierung der Strahlenbelastung des Personals, aus besonderen Verhältnissen am Standort oder auch aus Kostengründen zweckmäßiger sein.

Weiter konnte gezeigt werden, daß Kernkraftwerke, die den heutigen Anforderungen nach einer leichten Wartung, Inspektion, Reparatur und Austauschbarkeit großer Komponenten unter Beachtung der Strahlenschutzvorschriften entsprechen, keiner besonderen Auslegung für eine erleichterte Stilllegung bedürfen; im Gegenteil, es dürfen etwa geforderte Änderungen nicht im Widerspruch zur Sicherheit der Anlage für den Betrieb und für die leichte Betriebsführung stehen.

Bezüglich der Erfahrung mit den untersuchten Stilllegungstechniken ist darauf hinzuweisen, daß vielfach die gleichen oder leicht modifizierten Techniken auch bei den betrieblichen Instandhaltungs- und vor allem Reparaturarbeiten angewandt werden. Dabei ist besonders an Reparaturen von Primärkreis-komponenten einschließlich solcher an oder im Reaktordruckgefäß zu erinnern. Auch der Austausch von Komponenten und Rohrleitungen wurde bereits in größerem Umfang durchgeführt. Auf diesen Sektor nehmen die Erfahrungen mit der Zahl der Betriebsjahre laufend zu. Es ist ferner zu berücksichtigen, daß Reparaturarbeiten im Vergleich zu Stilllegungsarbeiten schwieriger durchführbar sind, da bei ersteren eine zeitliche Begrenzung vorliegt und damit

unter erhöhtem Strahlenpegel mit den damit verbundenen Erschwernissen gearbeitet werden muß und außerdem nur solche Techniken einsetzbar sind, die eine Schädigung der zu reparierenden Komponenten hinsichtlich des beabsichtigten Weiterbetriebes (z.B. durch Dekontaminationsverfahren) ausschließen.

Die weitgehende Übereinstimmung der Studienergebnisse für eine 1 300 MW-Anlage mit Druckwasserreaktor einerseits und für eine 800 MW-Anlage mit Siedewasserreaktor andererseits sowie spezielle Detailbetrachtungen zeigen, daß mit dem Nachweis der Stilllegbarkeit der beiden Referenzanlagen dieser Nachweis gleichzeitig für große LWR-Anlagen generell erbracht ist. Unterschiede hinsichtlich Personal-, Zeit- und Geldaufwand ergeben sich eher durch Wahl anderer - ebenfalls vorhandener - Stilllegungstechnologien oder durch noch offene Randbedingungen als durch Abweichungen in Bauart und Leistungsgröße einer LWR-Anlage von den hier untersuchten Referenzanlagen. Detailstudien für spezielle einzelne Anlagen lohnen erst zum Zeitpunkt der real bevorstehenden Stilllegung der Anlage, zumal sich auch die Stilllegungstechnologien ihrerseits schnell weiterentwickeln.

Bibliographie

/1/ Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 1976 (BGBl I, S. 3053)

/2/ Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke
Bundesminister des Innern
21. Oktober 1977

/3/ D. Brosche, J. Eßmann
Zur Stilllegung von Kernkraftwerken Atom und Strom, Jg. 22 (1976) Heft 3, S. 81 - 87

/4/ J. Eßmann et. al
Provision for decommissioning Light Water Reactor Power Plants by the German utilities
IAEA-SM 234/2, Decommissioning of nuclear facilities
International Symposium, Vienna, Austria, 13. - 17. November 1978

/5/ G.V.P. Watzel et. al
Stilllegungssituation bei Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland
Veröffentlichung in Vorbereitung (VDI-Fortschrittsbericht)

/6/ J. Eßmann et. al
Decommissioning status in Germany
Conference Decontamination and Decommissioning of nuclear facilities
Sun Valley, ID, 16. - 20. Sept. 1979

/7/ D. Brosche, J. Eßmann
Untersuchungen zur Stilllegung von Kernkraftwerken als Vorsorgemaßnahme der Elektrizitätsversorgungsunternehmen
Veröffentlichung in Vorbereitung (Energiewirtschaftliche Tagesfragen)

