

**Stilllegungsvarianten für Anlagen,
die nach Atom- oder Strahlenschutzrecht genehmigt wurden.**

30.03.2006

Positionspapier des Arbeitskreises Entsorgung (AKE)
des Fachverbands für Strahlenschutz

Erarbeitet unter Mitwirkung von

Dr. Georg Bacmeister, E.ON Kernkraft GmbH
Martin Bindl, Ingenieurbüro Ralf Kienzle
Dr. Friedhelm Börchers, TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG
Carola Dominke-Bendix, Forschungszentrum Karlsruhe
Anja Graf, Forschungszentrum Karlsruhe
Walter Plank, TÜV Industrie Service GmbH
Dr. Thomas Streil, SARAD GmbH
Dr. Stefan Theis, Hauptabteilung für die Sicherheit von Kernanlagen, Schweiz

Inhalt

- 1 Einleitung
 - 2 Stilllegungsvarianten
 - 3 Einflussgrößen bei der Entscheidung für eine Stilllegungsvariante
 - 3.1 Strahlenschutzrelevante Einflussfaktoren
 - 3.1.1 Qualifiziertes Personal
 - 3.1.2 Systemtechnik und Handhabungseinrichtungen
 - 3.1.3 Hygienetrakt
 - 3.1.4 Strahlungsüberwachung
 - 3.1.5 Radiologischer Arbeitsschutz
 - 3.1.6 Behandlung von Abfällen und Verwertung von Reststoffen
 - 3.2 Wirtschaftliche und gesellschaftspolitische Einflussfaktoren
 - 4 Bewertung der strahlenschutzrelevanten Einflussfaktoren
 - 4.1 Kernkraftwerke
 - 4.2 Anlagen des Brennstoffkreislaufes
 - 4.3 Anlagen zur Abfallkonditionierung
 - 4.4 Forschungseinrichtungen
 - 4.5 Sonstige genehmigungspflichtige Anlagen
 - 5 Zusammenfassung
 - 6 Literatur
- Anlage 1 Tabellarische Zusammenstellung der Einflussfaktoren

1. Einleitung

Jede technische Anlage oder Einrichtung, deren Betrieb oder Nutzung einer Genehmigung nach dem Atom- oder der Strahlenschutzrecht bedarf, muss irgendwann einmal stillgelegt werden. Unter Stilllegung wird dabei die gesamte Phase von der Beendigung des ursprünglich genehmigten Betriebs bis zur endgültigen Aufgabe der bisherigen Nutzung verstanden. Hierbei ist zu beachten, dass sich diese Definition sich etwas von der Definition der IAEA /8/ unterscheidet. Der Endpunkt einer solchen Stilllegung kann dabei unterschiedlich aussehen. Es ist die vollständige Beseitigung der Anlage (grüne Wiese) möglich, eine konventionelle Weiternutzung von Teilen der Anlage aber auch eine andere genehmigungspflichtige Nutzung von Teilen der Anlage, die sich von der bisherigen Nutzung grundlegend unterscheidet. Letzteres stellt jedoch in der Praxis einen seltenen Sonderfall dar und soll in den kommenden Ausführungen nur gestreift werden.

Der Entschluss des Genehmigungsinhabers zur Stilllegung einer Anlage kann unterschiedliche Gründe haben: technische, wirtschaftliche aber auch gesellschaftspolitische. Wie auch immer der Stilllegungsbeschluss motiviert sein mag, in der Regel gibt es verschiedene Wege, über die die betroffene Anlage stillgelegt werden kann.

Grundsätzlich gibt es zwei Stilllegungsvarianten, die in ihrer Ausformung jedoch variiert werden können:

- der sofortige Rückbau nach Beendigung des Betriebes und
- der sichere Einschluss der Anlage für eine längere Zeit mit anschließendem Rückbau.

Dabei wird hier davon ausgegangen, dass entsprechend der bewährten Praxis vor Beginn der Stilllegung die radioaktiven Betriebsmedien entsorgt werden.

Ziel dieses Positionspapiers ist es, die verschiedenen Stilllegungsvarianten darzustellen und sie in Abhängigkeit von den vorherrschenden Randbedingungen – z.B. Art der Anlage, Aktivitätsinventar, Strahlungsverhältnisse – zu bewerten. Es soll deutlich werden, welche Aspekte aus Sicht des Strahlenschutzes berücksichtigt werden müssen. Schließlich werden in Abhängigkeit von den jeweiligen Randbedingungen Empfehlungen dazu abgegeben, welche Stilllegungsvariante aus Sicht des Strahlenschutzes vorzuziehen sein könnte. Da bei realen Stilllegungsvorhaben häufig für unterschiedliche Stilllegungsvarianten Strahlenschutzgründe vorgebracht werden können, muss eine schutzziel-orientierte Abwägung in jedem Einzelfall erfolgen. Die nicht schutzziel-orientierten Gesichtspunkte, wie wirtschaftliche und gesellschaftspolitische Aspekte, werden zwar dargestellt, aber in die Bewertung nicht einbezogen.

Um die Anwendbarkeit der Empfehlungen für einen möglichst großen Nutzerkreis zu öffnen, gliedern wir unsere Bewertungen und Empfehlungen nach fünf verschiedenen Anlagentypen:

- Kernkraftwerke,
- Anlagen des Brennstoffkreislaufs,
- Anlagen zur Abfallkonditionierung,
- Forschungseinrichtungen und
- sonstige genehmigungspflichtige Anlagen (außer Endlagern für radioaktive Abfälle).

Wegen der besonderen aktuellen Bedeutung und der Komplexität des Anlagentyps wird ein Schwergewicht der Darstellung auf der Stilllegung von Kernkraftwerken liegen.

Zitierte deutsche Vorschriften sind bei Anwendung in der Schweiz oder Österreich durch die entsprechenden nationalen Normen sinngemäß zu ersetzen. Auf sonstige länderspezifische Aspekte wird im Text besonders hingewiesen.

2. Stilllegungsvarianten

Die Stilllegung einer genehmigungspflichtigen Anlage kann grundsätzlich auf zwei verschiedene Weisen erfolgen:

1. Sofortiger Rückbau bis zum vorgesehenen Endpunkt nach Beendigung des Betriebs
2. Überführung der Anlage nach Beendigung des Betriebs in einen sicheren Einschluss, der einen minimalen Überwachungsaufwand erfordert, und Rückbau der Anlage zum vorgesehenen Endpunkt nach einer Einschlusszeit, deren Länge in der Regel mehr als zehn Jahre beträgt.

Zwischen diesen beiden extremen Stilllegungsvarianten gibt es Mischformen. So kann nach Abschluss des bestimmungsgemäßen Betriebes ein minimaler Restbetrieb aufrechterhalten werden, der dazu dient, wesentliche Systeme, die später beim Rückbau benötigt werden, betriebsbereit zu halten.

Die Stilllegung in der hier verstandenen Bedeutung führt immer zu einem Endpunkt, an dem der ursprüngliche Betrieb endgültig aufgegeben ist. In diesem Sinne sind folgende Endpunkte möglich:

- Vollständige Beseitigung der Anlage bis zur sprichwörtlichen „Grünen Wiese“, die uneingeschränkt einer neuen Nutzung zur Verfügung steht.
- Beseitigung der Anlage bis auf die Gebäude oder Teile der Gebäude, die freigegeben und einer konventionellen Nutzung zugeführt werden.
- Beseitigung von Teilen der Anlage und uneingeschränkte Freigabe der Restanlage für eine andere, konventionelle Nutzung.
- Beseitigung von Teilen der Anlage und Nutzung der verbleibenden Anlagenteile für einen anderen, genehmigungspflichtigen Betrieb.
- Beseitigung der Anlage bis auf die Gebäude oder Teile der Gebäude, Freigabe der Restgebäude und Deponierung der Reste am Anlagenstandort. Dazu muss der Anlagenstandort in eine konventionelle Deponie überführt werden.

Die Freigabe von Anlagenteilen muss auf der Basis eines Bescheides nach § 29 StrlSchV /1/ erfolgen. Die maximal zulässigen Restaktivitäten sind, abhängig vom Freigabepfad, in der Anlage III der Strahlenschutzverordnung angegeben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die dort genannten Freigabewerte anhand von Expositionsszenarien ermittelt wurden, mit denen das reale Vorgehen verträglich sein muss. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass für die zuletzt angegebene Variante – Deponierung am Anlagenstandort – in der Regel die Einhaltung des 10- μ Sv-Konzepts im Einzelfall nachgewiesen werden muss, wenn die zu deponierenden Anlagenteile nicht uneingeschränkt freigegeben wurden. Die Anwendung der Freigabe-

werte aus Anlage III StrlSchV für die Beseitigung setzt eine gemeinsame Beseitigung des Materials mit konventionellen Abfällen voraus, die im angegebenen Fall kaum gegeben sein wird. Für die Schweiz sind die Verfahren zur so genannten Inaktivfreigabe in der Richtlinie HSK-R-13 /2/ geregelt.

3. Einflussgrößen bei der Entscheidung für eine Stilllegungsvariante

Bei der Entscheidung für eine Stilllegungsvariante spielen unterschiedliche Faktoren eine Rolle. Sie können grob in Faktoren mit Bedeutung für den Strahlenschutz und solche mit wirtschaftlichem oder gesellschaftspolitischem Hintergrund unterteilt werden. Im Folgenden werden beide Gruppen vorgestellt, wobei das Schwergewicht der Darstellung auf den Aspekten des Strahlenschutzes liegt, die bei der Entscheidung für eine Stilllegungsvariante zu beachten sind. Die Argumente für die beiden in Kapitel 2 genannten Stilllegungsvarianten sind in der Anlage 1 tabellarisch zusammengestellt.

3.1 Strahlenschutzrelevante Einflussfaktoren

Die bei der Stilllegung zu beachtenden Schutzziele sind die Begrenzung und Minimierung der Strahlenexposition des Rückbaupersonals und der Bevölkerung. Dies wird erreicht durch die beim Rückbau zu treffenden Strahlenschutzmaßnahmen am Arbeitsplatz, den weitgehenden Einschluss der vorhandenen Radioaktivität, die Minimierung der Aktivitätsableitungen an die Umgebung und die Minimierung des radioaktiven Abfalls. Durch die Beachtung des 10- μ Sv-Konzepts bei der Freigabe von Stoffen ist die Einhaltung des Minimierungsgebots für die Strahlenexposition der Bevölkerung sichergestellt.

Unterstützt werden diese Maßnahmen durch messtechnische Kontrollen an Personen, Material und Arbeitsplätzen.

3.1.1 Qualifiziertes Personal

Für den sicheren Rückbau einer Anlage und die Optimierung des Strahlenschutzes ist es von hoher Bedeutung, dass qualifiziertes Personal mit guten Anlagenkenntnissen zur Verfügung steht. Erfahrenes Personal ist wichtig, um

- seine Anlagenkenntnisse zur Optimierung der Rückbauplanung einzubringen,
- Fehler bei der Bedienung der Restbetriebskomponenten zu vermeiden,
- die optimale Vorgehensweise beim Rückbau von Anlagenkomponenten festzulegen (Erfahrung aus der Instandhaltung während der Betriebsphase) und
- repräsentative Probenahmestellen festzulegen, wobei die Probenzahl und die mit der Entnahme verbundene Strahlenexposition minimiert wird.

Insbesondere anlagenerfahrenes Strahlenschutzpersonal kann aufgrund seiner Kenntnisse vom radiologischen Zustand der Anlage die Rückbauplanung im Sinne der Anforderungen an die Strahlenschutzvorsorge – in Deutschland sind diese in der IWRs-II-Richtlinie /3/ verankert - positiv beeinflussen. Diese Kenntnisse (z.B. Lecka-

gen im zurückliegenden Betrieb, Anlagenkontaminationen) tragen u.a. dazu bei, Fehler bei der Deklaration radioaktiver Abfälle oder bei der Freigabe von Stoffen zu vermeiden. Kenntnisse der Dosisleistungsverteilung in gesperrten oder abgeschirmten stark strahlenden Bereichen tragen direkt zur Strahlenschutzoptimierung bei den Rückbauarbeiten und damit zur Vermeidung unnötiger Strahlenexpositionen bei. Speziell beim Rückbau kerntechnischer Anlagen hat sich gezeigt, dass insbesondere die Betriebskenntnisse der erfahrenen, langjährigen Mitarbeiter wertvolle Informationsquellen darstellen, welche die Anlagendokumentation sinnvoll ergänzen. Darüber hinaus ist es für den Strahlenschutz erfahrungsgemäß wichtig, auch Personal einzusetzen, das schon spezielle Rückbauerfahrungen aufzuweisen hat.

3.1.2 Systemtechnik und Handhabungseinrichtungen

Beim Rückbau einer Anlage müssen einige Systeme und Handhabungseinrichtungen funktionstüchtig zur Verfügung stehen. Dazu gehören u.a.

- Lüftungstechnische Einrichtungen,
- Abwasseraufbereitungssysteme,
- Handhabungseinrichtungen wie Krananlagen, mobile Hebezeuge und Flurförderfahrzeuge,
- Dekontaminationseinrichtungen,
- Strahlungsmesssysteme zur Personen-, Anlagen-, Ableitungs- und Umgebungsüberwachung sowie
- meteorologische Messsysteme.

Wenn diese Systeme nicht oder nicht funktionstüchtig zur Verfügung stehen, müssen Nachrüstmaßnahmen oder Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt werden, die zu Strahlenexpositionen führen können. Dazu kommen vorgeschriebene Abnahmeprüfungen durch Sachverständige. Insbesondere bei Komponenten, die in stark strahlenden Bereichen angeordnet sind, können die mit den Arbeiten verbundenen Strahlenexpositionen erheblich sein. Dazu zählen erfahrungsgemäß Komponenten des Abwassersystems, Dekontaminationseinrichtungen und Hebezeuge in Sperrbereichen.

Eine Alternative zur Nachrüstung von Hilfssystemen im Kontrollbereich der Altanlage ist die Errichtung eines neuen Gebäudeteils oder die Umnutzung eines vorhandenen Bereichs mit vernachlässigbarem Strahlenpegel, in dem z.B. Einrichtungen zur Dekontamination oder Abwasseraufbereitung installiert werden. Strahlenexpositionen wären in diesem Fall nur mit der notwendigen Anbindung der neu errichteten Systeme an die Altsysteme im Kontrollbereich verbunden.

3.1.3 Hygienetrakt

Der Zugang zum Kontrollbereich, in dem der Rückbau stattfindet, muss über einen geeignet ausgelegten Hygienetrakt erfolgen, in dem bei Anlagen mit offenen radioaktiven Stoffen Möglichkeiten der Personendekontamination innerhalb des Kontrollbereichs vorhanden sind. Am Übergang zwischen Kontrollbereich und Überwachungsbereich muss zudem eine Kontaminationskontrolle erfolgen, mit der Kontaminationsverschleppungen aus dem Kontrollbereich hinreichend erkannt und damit verhindert werden. Im Hygienetrakt findet auch die Zugangskontrolle zum Kontrollbereich statt.

Diese Einrichtungen müssen erfahrungsgemäß nach einem längeren sicheren Einschluss erneuert und dem Stand der Technik angepasst werden. Dabei fallen Reststoffe an, die als radioaktive Abfälle entsorgt oder der Freigabe zugeführt werden müssen.

Die Umbauarbeiten selbst sind in der Regel nur mit geringen oder vernachlässigbaren Strahlenexpositionen verbunden, weil ein Hygienetrakt schon aus messtechnischen Gründen in Bereichen sehr niedriger Ortsdosisleistung angeordnet wird und die dort vorhandenen Stoffe und Baumaterialien höchstens gering kontaminiert sind. Ausnahmen sind möglich und müssen dann gesondert betrachtet werden.

Relevant für den Strahlenschutz können die anfallenden radioaktiven Abfälle sein, die, obwohl sie selbst kaum zur Strahlenexposition des Personals beitragen, bei der Konditionierung und Lagerung häufig im Strahlenfeld anderer Abfälle gehandhabt werden müssen.

3.1.4 Strahlungsüberwachung

Die Strahlungsüberwachung dient der Kontrolle des Personals, der Anlagenüberwachung, der Überwachung von Aktivitätsabgaben und –ableitungen sowie der Umgebungsüberwachung. Damit dient sie direkt dem Schutzziel, Radioaktivität frühzeitig zu erkennen und Schutzmaßnahmen einzuleiten. Bei der Bewertung der Stilllegungsvarianten sind die im Folgenden dargestellten Aspekte zu berücksichtigen.

Personenüberwachung

Die Personenüberwachung betrifft die Dosimetrie externer Strahlung, die Messung der Personenkontamination und die Inkorporationsüberwachung. Während die Dosimetrie externer Strahlung in der Regel standardmäßig abläuft und kein messtechnisches Problem darstellt, können die Kontaminations- und Inkorporationsüberwachung je nach Zusammensetzung der Aktivität relativ einfach oder aufwändig sein. Bei Kontaminationsmessungen sind Beta-emittierende Radionuklide mit hoher Betaenergie leicht nachzuweisen, bei Inkorporationsmessungen sind dies Gammastrahlende Nuklide. Erhebliche Schwierigkeiten bereiten in beiden Fällen alphastrahlende Nuklide, deren Reichweite in Luft nur einige cm beträgt. Für Kontaminationsmessungen bedeutet das, dass in den zurzeit zur Verfügung stehenden Ausgangsmonitoren nur die Körperpartien alphaempfindlich ausgemessen werden können, welche in direktem Kontakt zur Zählrohrfläche stehen. Eine Kontrolle im heute bei z.B. Kernkraftwerken üblichen Umfang ist nur möglich, wenn die Alphakontamination über eine gleichzeitig vorhandene Betakontamination indirekt detektiert wird. Dies ist aber nur bei geringen Alphaanteilen an der Gesamtkontamination praktikabel, weil bei hohen Alphaanteilen der gut messbare Betaanteil so gering ist, dass akzeptable Nachweisgrenzen nur bei unpraktikabel langen Messzeiten erreicht werden. Wegen eingeschränkter Messmöglichkeiten am Kontrollbereichsausgang kann es deshalb entsprechend der SSK-Empfehlung zu § 44 StrlSchV erforderlich sein, die Kontaminationschutzmaßnahmen im Kontrollbereich so auszudehnen, dass dadurch Arbeitsabläufe verzögert und externe Strahlenexpositionen erhöht werden.

Arbeitsplatzüberwachung

Die Strahlenschutzmaßnahmen am Arbeitsplatz beruhen auf Messergebnissen der Ortsdosisleistung und der Kontamination. Ist insbesondere in der Raumluft der Anteil schwer messbarer Alphastrahler an der Gesamtaktivität groß, können die auf leicht messbaren Nukliden fußenden Raumluftkontrollen nicht empfindlich genug sein, um schnelle Warnungen bei erhöhten Raumluftaktivitäten zu liefern. Als Folge müssen vorsorglich erhöhte Schutzmaßnahmen gegen Inkorporation angeordnet werden (Atemschutzmaske, Vollschutz).

Bei den Kontaminationskontrollen an Gegenständen können abwischbare Alpha-Kontaminationen in der Regel problemlos nachgewiesen werden. Festhaftende Kontaminationen, die nur über Direktmessungen detektiert werden können, sind aufgrund der sehr geringen Reichweite der Alphastrahler in Luft deutlich schlechter zu messen als Betastrahler.

3.1.5 Radiologischer Arbeitsschutz

Die am Arbeitsplatz erforderlichen Strahlenschutzmaßnahmen richten sich nach den radiologischen Randbedingungen, d.h. nach der Höhe der Ortsdosisleistung und der Kontamination. Der bei einzelnen Stilllegungsvarianten zu erwartende Aufwand kann stark variieren und muss berücksichtigt werden.

Insbesondere bei hohen Ortsdosisleistungen sind aufwändige Abschirmmaßnahmen erforderlich, oder es müssen automatisierte oder fernbediente Rückbauhilfen eingesetzt werden. Andererseits kann die Ortsdosisleistung in vielen Fällen vorab durch Systemdekontaminationen vermindert werden. Diese Maßnahmen sind jedoch ebenfalls mit Strahlenexpositionen des Personals verbunden.

Hohe offene oder schwer nachweisbare Kontaminationen erfordern den Einsatz von persönlicher Schutzausrüstung (Atemschutz, Vollschutzanzug), welche die Arbeiten behindern und verlängern und so zusätzliche externe Strahlenexpositionen bewirken können. Außerdem erhöht sich durch die Reinigung der Schutzkleidung und das Verwerfen ausrangierter Schutzkleidung die Menge des radioaktiven Abfalls.

3.1.6 Behandlung von Abfällen und Reststoffen

Beim Rückbau einer Anlage fallen je nach Größe der Anlage zum Teil erhebliche Mengen an Reststoffen und Abfällen an. Abhängig von der Kontamination und Aktivierung in der Anlage kann der Anteil, der als radioaktiver Abfall entsorgt werden muss, ebenfalls beträchtlich sein.

Behandlung von Abfällen

Die Behandlung und Lagerung radioaktiver Abfälle ist mit Strahlenexpositionen des Personals verbunden. Diese fallen insbesondere bei der Sammlung, Sortierung und Konditionierung an. Dabei kann es im Hinblick auf die Strahlenexposition günstiger sein, die Abfälle in einer externen Anlage zu konditionieren, in der optimierte Einrichtungen zur Verfügung stehen.

Aber auch die Lagerung kann merklich zur Strahlenexposition des Personals beitragen, insbesondere dann, wenn nicht ausreichend großer Lagerraum mit optimalen, z.B. fernbedienten Handhabungseinrichtungen in der Anlage zur Verfügung steht und eine Abgabe an externe Anlagen mit entsprechenden Einrichtungen (Zwischen- oder Endlager) nicht möglich ist. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, dass nicht allein die Ortsdosisleistung des zu konditionierenden Abfalls oder des einzulagernden Abfallgebundes die Strahlenexposition des Personals bestimmt, sondern auch das Strahlenfeld anderer, z.B. bereits eingelagerter Abfallgebunde, einen erheblichen Beitrag zur Strahlenexposition leisten kann.

Sowohl in Deutschland als auch in der Schweiz steht zurzeit kein annahmefähiges Endlager zur Verfügung.

Die Konditionierung der Abfälle orientiert sich in Deutschland zurzeit an den vorläufigen Endlagerbedingungen für den Schacht KONRAD /4/. Obwohl der Planfeststellungsbeschluss für dieses Endlager noch beklagt wird, gibt es die Aussage des BMU /5/, dass nach den vorläufigen Endlagerbedingungen des Schacht KONRAD und nach vom BfS freigegebenen Ablaufplänen hergestellte Abfallgebunde auch in ein späteres Endlager eingestellt werden können. Allerdings könnten nachträgliche Kontrollen an bereits konditionierten Abfällen aus Gründen erforderlich werden, die auf der Begrenzung „konventioneller“ Schadstoffe in den Abfällen beruhen und nicht radiologischen Ursprungs sind.

Für die Schweiz ist eine Anerkennung jedes Konditionierungsverfahrens durch die Aufsichtsbehörde HSK erforderlich. Das Verfahren hierzu ist in der Richtlinie HSK-R-14 /6/ geregelt.

Aus den genannten Gründen ist es, insbesondere weil kein annahmefähiges Endlager zur Verfügung steht, im Sinne der Schutzziele, die Menge der radioaktiven Abfälle möglichst gering zu halten. Dies wird erreicht, indem

- weiterverwendbare, kontaminierte Komponenten in einen anderen, genehmigungspflichtigen Umgang abgegeben werden oder
- die Aktivität durch Dekontaminationsmaßnahmen so weit entfernt wird, dass die dekontaminierten Stoffe freigegeben werden können.

Verwertung von Reststoffen

In der Praxis sind häufig Dekontamination und Freigabe entscheidend für die Minimierung der radioaktiven Abfälle, so dass bei der Rückbauplanung Dekontaminationstechniken und Freimessverfahren zu beachten sind.

Bezüglich der Freimessung ist es von entscheidender Bedeutung, dass die vorherrschende Nuklidzusammensetzung durch messtechnisch leicht erfassbare Schlüsselnuclide beschrieben werden kann. Nur dann ist eine Freimessung großer Massen, die nicht gleichartig und homogen kontaminiert sind, mit akzeptablem Aufwand möglich. In anderen Fällen müsste z.B. der Probenahmeumfang deutlich erhöht und die Probenauswertung aufwändiger werden.

Hierzu ist zudem zu beachten, dass sich die Aktivitätszusammensetzung der Kontamination durch den radioaktiven Zerfall in Richtung schwer messbarer Nuclide verschieben kann.

Materialien, die nicht mit akzeptablem Aufwand freigemessen werden können, werden erfahrungsgemäß dem radioaktiven Abfall zugeschlagen. Bei kontaminierten, metallischen Reststoffen ist auch ein kontrolliertes Einschmelzen und die anschließende Freigabe der Gießlinge oder die Weiterverarbeitung zu Abfallbehältern oder Abschirmelementen ein praktikabler und häufig begangener Weg. Insgesamt wird sich jedoch die Menge an radioaktivem Abfall erhöhen, wenn die Freigabe aus messtechnischen Gründen nicht möglich ist.

Diese Betrachtung bezieht sich auf den heutigen Stand der Messtechnik. Weiterentwicklungen in Richtung empfindlicherer oder neuartiger Messverfahren sind möglich. Eine künftige Entscheidung für eine Stilllegungsvariante muss jeweils den aktuellen Stand der Messtechnik berücksichtigen.

Fazit

Grundsätzlich anders kann das Entsorgungskonzept ausgerichtet sein, wenn zum Zeitpunkt der Stilllegung ein annahmefähiges Endlager zur Verfügung steht. Dann sind mehrere Konzeptvarianten zu bewerten, die unter Umständen zwar keine Minimierung der Abfallmenge aber eine Minimierung der gesamten Strahlenexposition bedeuten. Bei der Gesamtbewertung des Entsorgungskonzeptes ist die bei der Abfall- und Reststoffbehandlung über den gesamten Stilllegungszeitraum zu erwartende Kollektivdosis eine wertvolle Entscheidungshilfe.

3.2 Wirtschaftliche und gesellschaftspolitische Einflussfaktoren

Wirtschaftliche und gesellschaftliche Faktoren tragen zur Entscheidung für eine Stilllegungsvariante bei, zum Teil sind beide auch voneinander abhängig. Im Folgenden sind einige Aspekte genannt, die für die Entscheidungsfindung für eine Stilllegungsvariante von Bedeutung sind.

Bei einem längeren sicheren Einschluss muss die Rücklage für den späteren Rückbau den erwarteten Kosten angepasst werden, was erfahrungsgemäß eine Rücklagenerhöhung bedeutet. Je nach Höhe der erwarteten Rückbaukosten und der Zinserträge aus den vorhandenen Rücklagen, muss der Betreiber zusätzliches Geld für die Rücklage zur Verfügung stellen oder kann einen Teil der Zinserträge dem Unternehmensgewinn zuführen. Bei Kernkraftwerken ist die Rücklagenbildung durch § 9a AtG gefordert und die Höhe der Rücklage wird durch einen unabhängigen Gutachter bestimmt.

Außerdem muss davon ausgegangen werden, dass nach einem längeren sicheren Einschluss Nachrüstungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich werden, welche die Kosten erhöhen.

Nach den Erfahrungen werden nach einem längeren sicheren Einschluss Nachrüst- und Umbaumaßnahmen im Bereich des Hygienetrakts, der Hebezeuge und Handhabungseinrichtungen und der Abwasseraufbereitung erforderlich. Der Umfang der Maßnahmen im Hygienetrakt richtet sich nach der Personenzahl, die im Rückbau in der Anlage tätig werden sollen.

Wird zur Vermeidung von Strahlenexpositionen ein Teil der Nachrüstung in einem separaten Gebäudeteil realisiert, wird das die Kosten weiter erhöhen. Bedingt werden diese Maßnahmen durch Anforderungen an die sichere Funktion der Systeme und Handhabungseinrichtungen, aber auch durch die Forderung der Strahlenschutzverordnung, Schutzmaßnahmen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zu treffen.

Die Instrumentierung der Ableitungs- und Umgebungsüberwachung kann beim sofortigen Rückbau im bewährten Umfang weiter genutzt werden. Nach einem längeren sicheren Einschluss ist in der Regel eine Erneuerung der Messtechnik und des Probenahme- und Messkonzepts erforderlich.

Die Einrichtungen zur Umgebungsüberwachung können, wenn das Aktivitätsinventar der Anlage weitgehend entfernt wurde, an die geringeren Ableitungen und das reduzierte Freisetzungspotential angepasst werden.

Bei hohem Strahlenpegel in der rückzubauenden Anlage können bei sofortigem Rückbaubeginn kostenintensive Rückbautechniken (Fernbedienung, Automatisierung) in höherem Umfang zum Schutz des Personals erforderlich sein, als es nach einem längeren sicheren Einschluss erforderlich wäre.

Wenn aufgrund ungünstiger Nuklidzusammensetzung in der Anlagenkontamination die in Kap. 3.1.4 beschriebenen messtechnischen Probleme auftreten, wird ein deutlich erhöhter Aufwand beim Einsatz von persönlicher Schutzausrüstung erforderlich. Aufgrund der Schwierigkeit, ungünstige Raumluftkontaminationen zeitnah zu erkennen, muss vorsorglich der Einsatz von Vollschutzanzügen deutlich erhöht werden, deren Reinigung und Entsorgung wiederum die Menge des radioaktiven Abfalls erhöhen.

Inkorporationsmessungen liefern nur dann schnell ein belastbares Ergebnis, wenn sie sich auf den Nachweis gammastrahlender Schlüsselnuclide beschränken können. Bei reinen Betastrahlern oder Alphastrahlern müssen Ausscheidungsanalysen (Urin, Stuhl) durchgeführt werden, die zeitaufwendig und kostenintensiv sind. Schnelle Ergebnisse liegen nicht vor, so dass es bei akutem Inkorporationsverdacht erforderlich sein kann, die betroffene Person vorsorglich für den Kontrollbereich zu sperren, bis genaue Dosisangaben vorliegen.

Da kein Endlager zur Verfügung steht, muss bei fehlender Zwischenlagerkapazität zusätzlicher Lagerraum für die beim Rückbau anfallenden radioaktiven Abfälle geschaffen werden. Insbesondere beim Rückbau großer kerntechnischer Anlagen hat es sich als notwendig erwiesen, am Standort ein Zwischenlager für die radioaktiven Abfälle zu bauen. Sollten sich die Annahmebedingungen für das künftige Endlager ändern, können Nachkonditionierungen an radioaktiven Abfällen zusätzliche Kosten verursachen.

Außerdem muss berücksichtigt werden, dass während eines sicheren Einschlusses weiterhin Kosten für die atomrechtliche Deckungsvorsorge anfallen.

Beim sofortigen Rückbau unterliegt die Anlage der bekannten, aktuellen Gesetzgebung sowie des untergesetzlichen Regelwerks. Für den Rückbau besteht daher im Hinblick auf die sachlichen und damit finanziellen Anforderungen weitgehend Pla-

nungssicherheit. Da diese Randbedingungen stark politisch beeinflusst werden können, ist eine Voraussage über einen längeren Zeitraum kaum möglich.

Beim sofortigen Rückbau kann der Arbeitsplatzabbau sozial verträglich gestaltet werden, weil der Personalabbau langsamer erfolgt als bei einem längeren sicheren Einschluss. Insbesondere ältere, erfahrene Mitarbeiter werden noch gebraucht. Dies hat bei größeren Anlagen auch Auswirkungen auf die soziale und wirtschaftliche Situation der Region, in der die rückzubauende Anlage steht.

Bei einem langen sicheren Einschluss wird der Rückbau auf die kommende Generation verlagert, die am ehemaligen Nutzen der Anlage keinen Anteil mehr hatte.

Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist noch die Möglichkeit zu berücksichtigen, dass der Betreiber der Anlage nicht mehr zur Verfügung steht (z.B. wegen Insolvenz der Firma) und kein Rechtsnachfolger dessen Pflichten übernimmt. Für die kerntechnischen Anlagen in Deutschland gilt dies wegen der gesetzlich vorgeschriebenen Rücklagenbildung nicht. Dort ist auch die Betreibernachfolge sichergestellt. Bei anderen Anlagen ist jedoch die Möglichkeit in Betracht zu ziehen, dass in einem solchen Fall die Stilllegungskosten aus Steuermitteln aufzubringen wären.

In der Schweiz existieren für die Rückbaukosten und für die Entsorgungskosten der dabei anfallenden Abfälle separate Fonds unter Aufsicht des Bundes. Fondspflichtig sind grundsätzlich alle Kernanlagen (vergl. Art. 77-82 Kernenergiegesetz i.d.F. v. 21. März 2003; SR 732.1). Andere Rückstellungsbildungen unterliegen dem schweizerischen Obligationenrecht.

Bei Einrichtungen des Bundes (z.B. Forschungseinrichtungen) trägt der Bund die Finanzierungspflicht. Bei sonstigen, kleineren Bewilligungen ist die Situation ähnlich wie in Deutschland.

4. Bewertung der strahlenschutzrelevanten Einflussfaktoren

Die schutzzielorientierte Bewertung der verschiedenen Stilllegungsvarianten und die Entscheidung für eine spezielle Vorgehensweise werden wesentlich beeinflusst durch die Art und die Größe der stillzulegenden Anlage. Im Folgenden wird deshalb unterschieden nach Kernkraftwerken, Anlagen des Brennstoffkreislaufs, Anlagen zur Abfallkonditionierung, Forschungseinrichtungen und sonstigen genehmigungspflichtigen Anlagen. Die Stilllegung von Endlagern für radioaktive Abfälle wird nicht betrachtet.

Wegen des Zusammenwirkens unterschiedlicher Einflussfaktoren, die zum Teil gegenläufige Wirkungen auslösen, ist die Entscheidung für eine Stilllegungsvariante insbesondere bei komplexen Anlagen wie z.B. Kernkraftwerken nicht generell eindeutig möglich. Es muss vielmehr in jedem konkreten Einzelfall unter Würdigung aller relevanten Randbedingungen auf Vorschlag des Betreibers entschieden werden. An dieser Stelle wird deshalb die Bedeutung unterschiedlicher Einflussfaktoren im Hinblick auf das Schutzziel diskutiert und bewertet, um so eine Entscheidungshilfe für den konkreten Einzelfall zu geben.

Kernkraftwerke

In Deutschland befinden sich einige Kernkraftwerke in der Stilllegung – teils im Rückbau, teils im sicheren Einschluss. Das Kernkraftwerk Niederaichbach wurde bereits bis zur grünen Wiese zurückgebaut. Damit liegen praktische Erfahrungen vor, die für die Bewertung einer Stilllegungsvariante genutzt werden können. Die Rückbauerfahrungen in der Schweiz stammen aus den bereits länger abgeschlossenen Arbeiten am Versuchsatomkraftwerk Lucens, sowie den weit fortgeschrittenen Rückbauten der Forschungsreaktoren SAPHIR und DIORIT, aus denen Erkenntnisse auf den Rückbau von Leistungsreaktoren übertragen werden können.

Kernkraftwerke sind gekennzeichnet durch ihre Größe, ihren komplexen Aufbau und innerhalb der Anlage stark variierende radiologische Verhältnisse. Sowohl die Ortsdosisleistung als auch die Zusammensetzung der Aktivität können starke lokale Schwankungen aufweisen. In Anlagen mit Leichtwasserreaktor wird die Ortsdosisleistung nach der Außerbetriebnahme in der Regel durch Co 60 bestimmt. Dies gilt erfahrungsgemäß innerhalb der gesamten Anlage, jedoch variiert die Höhe der Ortsdosisleistung um mehrere Größenordnungen. Die Zusammensetzung der Aktivität hängt stark von der Vorgeschichte der Anlage ab, insbesondere davon, in welchem Umfang Brennelementschäden mit Brennstofffreisetzung in das Kühlmittel aufgetreten sind.

Besonders in älteren Anlagen sind solche Schäden in der frühen Phase ihres Betriebs aufgetreten, in der die Qualität der Brennelemente noch nicht den heutigen Stand hatte und die Fahrweise noch nicht im heutigen Umfang optimiert war. Dies hat zum Teil zu vergleichsweise hohen Brennstofffreisetzungen ins Kühlmittel geführt, wodurch im Vergleich zum Betrieb mit defektfreien Brennelementen hohe Alphakontaminationen im Primärkühlkreislauf und in den angrenzenden Systemen verursacht wurden.

Für ältere Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktor, deren Stilllegung aktuell oder in Kürze ansteht, sind aus Sicht des Strahlenschutzes bei der Entscheidungsfindung für eine Stilllegungsvariante folgende Aspekte zu berücksichtigen, die den Strahlenschutz beim Rückbau beeinflussen:

- Personelle Ausstattung und Anlagenkenntnisse
- Art und Einschluss der radioaktiven Stoffe (Zustand der Barrieren)
- Arbeitsaufwand in Strahlenfeldern bei Nachrüstungsmaßnahmen
- Ortsdosisleistung in der Anlage
- Höhe und Zusammensetzung der Aktivität und deren zeitliche Entwicklung
- Anfall und Lagerung radioaktiver Abfälle

Der Rückbau eines komplex aufgebauten Kernkraftwerks mit der verzweigten Verteilung aktivitätsführender Systeme wird deutlich erleichtert durch betriebserfahrenes Personal, welches seine Kenntnisse aus dem Betrieb der Anlage in die Rückbauplanung einbringen kann. Dieses Argument spricht für den sofortigen Rückbau der Anlage. Außerdem ist es vorteilhaft, wenn zusätzlich Personal mit Erfahrungen aus dem Rückbau anderer Anlagen eingesetzt werden kann. Entsprechendes Fachpersonal ist inzwischen vorhanden.

Bei Mehrblockanlagen könnte ein minimaler Restbetrieb eine Alternative sein, bei der das Personal des noch in Betrieb befindlichen Blockes über die erforderlichen Anla-

genkenntnisse im zweiten Block verfügt und über die Tätigkeit in diesem Block die Anlagenkenntnisse erhält und erweitert und diese auch weitergeben kann.

Hohe Ortsdosisleistungen in der Anlage müssen in solchen Bereichen, in denen das Personal tätig werden muss, verringert werden. Dies wirkt sich direkt auf die Senkung der Strahlenexposition aus. Wenn die Ortsdosisleistung durch Co 60 bestimmt wird, ist ein Abklingen im sicheren Einschluss die günstigste Lösung für den Strahlenschutz, weil hierbei keine Tätigkeiten im Strahlenfeld erforderlich werden. Bei einer Abklingzeit von 40 Jahren sinkt dadurch der Strahlenpegel auf ca. 4 ‰ des Ausgangswertes ab. Dies spricht für den sicheren Einschluss, und war der Grund dafür, lange Zeit den sicheren Einschluss als für den Strahlenschutz beste Lösung zu favorisieren.

Trotz des hohen Abklingfaktors gibt es jedoch auch nach einem längeren sicheren Einschluss in einem Kernkraftwerk weiterhin Komponenten, die nur mit Hilfe spezieller, fernbedienter Rückbautechniken ausgebaut werden können (z.B. der Reaktor-druckbehälter und seine Einbauten). Außerdem hat sich inzwischen die Technik der Systemdekontamination zu einem akzeptablen Verfahren weiterentwickelt, mit dem der Strahlenpegel in den Anlagen wirkungsvoll verringert werden kann. Deshalb ist es grundsätzlich angeraten, unabhängig von der gewählten Stilllegungsvariante, eine Systemdekontamination in die Planungen einzubeziehen.

Weiterhin stehen optimierte, fernbedienbare Zerlegetechniken zur Verfügung. Die Vorteile des Abklingenlassens sind daher weiterhin zu beachten, haben aber nicht mehr das herausragende Gewicht wie noch vor 20 Jahren. Hinzu kommt, dass nach einem längeren sicheren Einschluss in einem Kernkraftwerk umfangreiche Instandhaltungsarbeiten zur Inbetriebnahme und Nachrüstung erforderlicher Systeme anstehen, die ebenfalls mit Strahlenexpositionen verbunden sind. Diese müssen der Dosisersparnis infolge des Abnehmens der Ortsdosisleistung im sicheren Einschluss gegenübergestellt werden.

Die Dosis durch Nachrüstmaßnahmen am Ende des sicheren Einschlusses kann verringert werden, wenn wichtige Hilfseinrichtungen in einem neu zu schaffenden Gebäudeteil errichtet werden (vgl. Kap. 3.1.2). Dies verbessert die Dosisbilanz zugunsten des sicheren Einschlusses.

Insbesondere bei merklicher Alphakontamination in mit Primärkühlmittel kontaminierten Systemen bewirkt eine längere Abklingzeit, dass der Anteil des gut messbaren Co 60 gegenüber dem der langlebigen Alphanuklide stark abnimmt. Die im Kapitel 3.1.4 beschriebenen messtechnischen Nachteile kommen hier voll zur Geltung. Dies bedingt Einschränkungen der messtechnischen Kontrolle sowohl am Arbeitsplatz wie bei der Personenüberwachung auf Kontamination und Inkorporation. Die daraus resultierenden erhöhten vorsorglichen Maßnahmen zum Inkorporationsschutz und Kontaminationsschutz können zudem, wenn sie die Arbeiten behindern, zu zusätzlichen externen Expositionen führen. Diese sind, wenn die Maßnahmen nur aufgrund der messtechnischen Unzulänglichkeiten beruhen und nicht real erforderlich wären, unnötig.

Die in Kapitel 3.1.6 dargestellten Auswirkungen ungünstiger Nuklidverteilungen auf die Menge des radioaktiven Abfalls sind beim Rückbau eines Kernkraftwerks wegen dessen Größe besonders gravierend. Die für den sofortigen Rückbau durchgeführten

Prognosen der Betreiber, dass nur wenige Prozent (unter 5 %) der zu entsorgenden Massen dem radioaktiven Abfall zugeschlagen werden müssen, gilt unter diesen Voraussetzungen nicht mehr. Insbesondere Betonstrukturen, die den Hauptanteil an der Gesamtmasse eines Kernkraftwerks ausmachen, können über Direktmessungen in den meisten Fällen nicht mehr ausgemessen werden, wenn Alphastrahler die Kontamination dominieren und die Kontamination in die Betonstruktur eingedrungen ist. Eine Erhöhung der Beprobungsdichte mit dem Ziel, die Einhaltung der Freigabekriterien über repräsentative Proben nachzuweisen, ist nur in solchen Fällen praktikabel, in denen aufgrund der Kontaminationshistorie von einer relativ homogenen Kontaminationsverteilung ausgegangen werden kann (z.B. in durch die Raumluft kontaminierten Räumen). In stark inhomogen kontaminierten Raumbereichen (z.B. infolge von Flüssigleckagen oder Dampfleckagen) ist dieser Weg realistisch kaum gangbar.

Bei der Handhabung und Konditionierung des radioaktiven Abfalls werden sich im Hinblick auf die stark strahlenden Abfälle die Randbedingungen für den Strahlenschutz durch Abklingen im sicheren Einschluss verbessern. Bezüglich der nachzurüstenden systemtechnischen Einrichtungen wird dieser Vorteil allerdings wieder relativiert.

Insgesamt könnte die Strahlenexposition des Personals bei der Behandlung der Abfälle verringert werden, wenn ein annahmefähiges Endlager für die beim Rückbau anfallenden, nicht Wärme entwickelnden Abfälle zur Verfügung stünde. Die Verfahrensweise zur Konditionierung könnte unter verlässlich vorgegebenen Randbedingungen optimiert werden und zusätzliche Strahlenexpositionen bei der Zwischenlagerung würden vermieden.

Diese Aspekte müssen für den Fall des sicheren Einschlusses der Zunahme des radioaktiven Abfalls bei ungünstiger Nuklidzusammensetzung gegenübergestellt werden. Hier kann im Einzelfall auch eine Variante optimal sein, bei der ein Teil der Anlage, der weitgehend der Freigabe zugeführt werden kann, rückgebaut wird, während der übrige Teil in den sicheren Einschluss überführt wird.

Wägt man Vor- und Nachteile gegeneinander ab, so ergibt sich für Kernkraftwerke aus schutzzielorientierter Sicht keine generelle klare Präferenz für eine Stilllegungsvariante. Bei klar Co-60-dominierter Kontamination und vernachlässigbarer Bedeutung der schwer messbaren Nuklide (Alphastrahler), die auch im Zuge des sicheren Einschlusses nicht dominant wird, scheinen Vorteile auf der Seite des sicheren Einschlusses zu liegen. Wird dagegen die radiologische Bedeutung der vorliegenden Nuklide durch Alphastrahler dominiert, liegen die Vorteile beim sofortigen Rückbau. Auch der sofortige Rückbau nur eines Teils der Anlage kann im Einzelfall die optimale Lösung darstellen. Ein minimaler Restbetrieb, bei dem die Anlagenkenntnisse beim Personal erhalten bleiben und wesentliche Betriebssysteme funktionsfähig gehalten werden, ist dann vertretbar, wenn die durch die Nuklidzusammensetzung bedingten Nachteile tolerabel sind.

Vor der Entscheidung für eine Stilllegungsvariante muss deshalb vor dem Hintergrund der tatsächlich vorliegenden Verhältnisse in der stillzulegenden Anlage eine schutzzielorientierte Vergleichsbetrachtung angestellt werden, die auch eine Gegenüberstellung der erwarteten Dosen beinhaltet (siehe auch UVP, § 6

Abs.3 /7/. Außerdem ist in diesem Zusammenhang ein Entsorgungskonzept für alle in Betracht zu ziehenden Stilllegungsvarianten zu erstellen und im Sinne der Ausführungen aus Kap. 3.1.6 zu berücksichtigen.

Sollte nach Würdigung aller Gesichtspunkte dem längeren sicheren Einschluss der Vorzug gegeben werden, so müssten alle verfügbaren Informationen, die für den späteren Rückbau von Bedeutung sind und welche die radiologischen Verhältnisse in der Anlage beeinflussen können, nachvollziehbar dokumentiert werden. Das bedeutet u.a., den radiologischen Iststand der Anlage aufzunehmen sowie eine Aufstellung der Betriebshistorie anzufertigen und die sich daraus ergebenden Daten einschließlich ihrer Bewertung in die Anlagendokumentation als Grundlage für einen späteren Rückbau aufzunehmen.

4.2 Anlagen des Brennstoffkreislaufes

Unter Anlagen des Brennstoffkreislaufes werden hier zusammengefasst

- Urananreicherungsanlagen,
- Brennelementfertigungsanlagen und
- Anlagen zur Brennelemententsorgung.

In diesen Anlagen wird die Kontamination dominiert durch langlebige Alphastrahler. Lediglich die Lager für abgebrannte Brennelemente in Transport- und Lagerbehältern (z.B. vom Typ CASTOR) weisen wegen der umfangreichen Kontaminationsschutzmaßnahmen beim Beladen der Behälter kaum Kontaminationen auf. Die geringen Restkontaminationen setzen sich dann aus den typischen Kraftwerksnukliden zusammen – Co 60, Cs 137, Ag 110m u.ä..

Einen Strahlenschutzgewinn erzielt man somit durch Abklingenlassen der Aktivität im sicheren Einschluss nicht. In solchen Anlagen, in denen die vorliegende Kontamination nur aus Kernbrennstoff besteht (Urananreicherung, Brennelementfertigung), bleiben die schwierigen messtechnischen Randbedingungen unabhängig von der gewählten Stilllegungsvariante bestehen: es liegt immer eine Alphakontamination vor. Die Erfahrung des Betriebspersonals kann dagegen einen Vorteil beim sofortigen Rückbau bringen. Da der systemtechnische Aufbau dieser Anlagen jedoch nicht so komplex ist wie bei einem Kernkraftwerk, wird dieser nicht sehr groß sein.

Für die Stilllegung von Lagern für Brennelementbehälter wiegt das Argument leichte Messbarkeit im Zusammenhang mit der Freigabe schwerer, so dass hier ein sofortiger Rückbau angemessen ist.

In Anlagen zur Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente und in Anlagen zur Behandlung und Konditionierung der dabei anfallenden spaltstoffhaltigen hochradioaktiven Abfälle dominieren langlebige Spaltprodukte die Aktivitätszusammensetzung. Ein Abklingenlassen während der Zeit des sicheren Einschlusses bringt keinen erkennbaren Strahlenschutzvorteil. Andererseits hat das Spaltprodukt Cs 137 mit 30 Jahren eine relativ lange Halbwertszeit, so dass auch nach einem längeren sicheren Einschluss (30 – 40 Jahre) noch eine hinreichende, gut messbare Gammakomponente vorhanden sein wird. Die Anlagenkenntnisse des Personals werden daher zusammen mit der Nuklidzusammensetzung im Detail den Ausschlag geben bei der schutzzielorientierten Entscheidungsfindung für eine Stilllegungsvariante. Davon ab-

gesehen liegt eine leichte Präferenz beim sofortigen Rückbau. Sollte der sichere Einschluss favorisiert werden, müssen auf jeden Fall flüssige Abfälle zuvor entsorgt werden, um korrosionsbedingte Probleme während der langen Lagerzeit zu vermeiden.

4.3 Anlagen zur Abfallkonditionierung

Anlagen zur Abfallkonditionierung sind in der Regel nicht so komplex, dass aus diesem Grund die Erfahrung des Betriebspersonals ausschlaggebend für die Wahl einer bestimmten Stilllegungsvariante ist. Von Bedeutung ist allerdings die Kenntnis über die Art der Abfälle, die in der Konditionierungsanlage behandelt wurden, und die in den Abfällen enthaltenen Nuklide. Außerdem können Kenntnisse über in der Vergangenheit vorgenommene Verfahrensänderungen und Umbaumaßnahmen wesentlich sein, wenn davon Anlagenkontaminationen betroffen sind, die aus dem aktuellen Betrieb nicht mehr abgeleitet werden können (z.B. die geänderte räumliche Aufstellung einer Konditionierungseinrichtung).

Das Aktivitätsinventar und dessen Zusammensetzung hängt von der Aktivität der ehemals konditionierten Abfälle ab. Bei Abfällen aus Kernkraftwerken oder Anlagen des Brennstoffkreislaufes gelten hinsichtlich der Aktivitätszusammensetzung und der Vor- oder Nachteile durch Abklingenlassen die Aussagen aus den Kapiteln 4.1 und 4.2. Hier muss die Bedeutung für den Strahlenschutz im Einzelfall bewertet werden.

Anlagen zur Konditionierung von Abfällen aus Forschung und Medizin können ein breites Spektrum an Nukliden enthalten, für die auch die Halbwertszeiten stark variieren können. Bei Anlagen, mit denen nur Abfälle mit relativ kurzlebigen Nukliden konditioniert wurden, ist ein Abklingenlassen vorteilhaft. Grundsätzlich besteht in diesen Fällen sogar die Möglichkeit, die Freigabefähigkeit der Einrichtungen im Wesentlichen über eine rechnerische Bilanzierung nachzuweisen. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine fundierte Kenntnis über die behandelten Abfälle und Aktivitätsinventare, was wiederum die Bedeutung des erfahrenen Betriebspersonals unterstreicht oder eine detaillierte Betriebsdokumentation voraussetzt.

4.4 Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtungen bieten ein breites Spektrum des Umgangs mit radioaktiven Stoffen sowie von Art und Höhe der gehandhabten Radioaktivität. Beispiele sind Forschungsreaktoren, Nuklidlaboratorien oder Beschleunigeranlagen. Für den Rückbau von Forschungsreaktoren liegen inzwischen umfangreiche Erfahrungen vor, z.B. in Deutschland aus dem Rückbau des FMRB bei der PTB oder aus dem Rückbau des KNK II im Forschungszentrum Karlsruhe und in der Schweiz aus dem Rückbau der Forschungsreaktoren SAPHIR und DIORIT.

Forschungseinrichtungen sind, insbesondere wenn sie im Universitätsbereich angesiedelt sind, durch hohe Personalfluktuationen im wissenschaftlichen Bereich gekennzeichnet. Das langfristig vor Ort beschäftigte Stammpersonal ist vergleichsweise gering. Da zudem im wissenschaftlichen Bereich die Dokumentation der Daten, die für die spätere Stilllegung der Anlage von Bedeutung sind, von untergeordneter Bedeutung ist, sind die Kenntnisse des erfahrenen Stammpersonals zu Art und Ort des

Umgangs mit radioaktiven Stoffen von besonderer Bedeutung. Dies spricht für einen möglichst frühzeitigen Rückbau der Anlagen.

Ob eine Abklingphase Strahlenschutzvorteile bringt, hängt von der konkreten Aktivitätszusammensetzung in der Forschungseinrichtung und der Höhe der Aktivität ab. Nur in speziellen Fällen, in denen kurze Halbwertszeiten der vorhandenen Radionuklide und hohe Aktivität zusammentreffen, werden sich Vorteile ergeben. Dies kann erfahrungsgemäß jedoch nur Teilbereiche einer größeren Forschungseinrichtung betreffen.

Dementsprechend sind die messtechnischen Randbedingungen und die Erzeugung und Lagerung radioaktiver Abfälle fallspezifisch zu bewerten. Insbesondere in Forschungseinrichtungen mit dem o.a. breiten Spektrum an Radionukliden wird häufig ein Teil der Radioaktivität nicht mit einfachen Messmethoden erfassbar sein. Sofern sich dann Korrelationen zu leicht messbaren Radionukliden aufstellen lassen, ist zu prüfen, ob und nach welchen Zeiten sich diese Korrelationen in nicht mehr tolerable Bereiche verschieben. Dies würde ggf. für einen zeitnahen Rückbau sprechen. Ähnliche Argumente ergeben sich auch aus der Bewertung der Abfallsituation.

Insgesamt kann für Forschungseinrichtungen keine generelle Empfehlung für eine spezielle Stilllegungsvariante ausgesprochen werden. In den meisten Fällen wird der sofortige Rückbau im Licht der genannten Argumente aus der Sicht des Strahlenschutzes vorteilhafter sein. Es können jedoch auch spezielle Randbedingungen vorliegen, unter denen eine vorgeschaltete Abklingphase den späteren Rückbau erleichtert.

4.5 Sonstige genehmigungspflichtige Anlagen

Unter sonstigen genehmigungspflichtigen Anlagen werden hier z.B. Radionuklidlaboratorien in Betrieben der chemischen und pharmazeutischen Industrie, nuklearmedizinische Praxen und Klinikabteilungen oder auch Hersteller von Präparaten für industrielle oder medizinische Anwendungen verstanden. Eine Stilllegung der Bereiche, in denen mit radioaktiven Stoffen umgegangen wurde, ist in der Regel nicht mit der totalen Beseitigung der Räumlichkeiten und ihrer Einrichtungen verbunden, sondern die Räume sollen anderen Verwendungszwecken zugeführt werden. Daraus folgt der Wunsch nach einer möglichst zeitnahen Freigabe der Umgangsbereiche.

Außerdem ist es typisch für diese Anlagen und Einrichtungen, dass nach der Entsorgung der Strahlenquellen und Präparate aus dem Umgang die verbleibende Restkontamination in den Räume und Komponenten gering ist. Erhöhte Ortsdosisleistungen, die für den Strahlenschutz bei der Stilllegung Probleme aufwerfen könnten, sind nicht zu erwarten.

Damit wird der sofortige Rückbau der kontaminierten Einrichtungen und die weitgehende Freigabe von Räumen und Inventar die bevorzugte Stilllegungsvariante sein.

5. Zusammenfassung

Bei der Stilllegung von genehmigungspflichtigen Anlagen oder Einrichtungen wird zwischen den beiden Varianten „sofortiger Rückbau“ und „Rückbau nach längerem sicheren Einschluss“ unterschieden, wobei Übergangsformen möglich sind. Die Entscheidung für eine Stilllegungsvariante wird in der Praxis vom Genehmigungsinhaber unter Berücksichtigung des Strahlenschutzes sowie wirtschaftlicher und gesellschaftspolitischer Einflussfaktoren getroffen. Diese bedarf der Genehmigung der Behörde. Im vorliegenden Positionspapier werden vom Fachverband für Strahlenschutz für die Stilllegung verschiedener Einrichtungen Empfehlungen abgegeben, die ausschließlich Einflussfaktoren berücksichtigen, welche das Schutzziel „Vermeidung unnötiger Strahlenexposition und Kontamination für Mensch und Umwelt“ betreffen.

Für Kernkraftwerke ergibt sich keine generelle Präferenz für eine Stilllegungsvariante. Je nach vorliegenden Randbedingungen können die Vorteile beim sofortigen Rückbau oder beim sicheren Einschluss liegen. Deshalb sollte vor einer Entscheidung eine Schutzziel-orientierte Analyse erstellt werden, die eine Gegenüberstellung der erwarteten Strahlenexpositionen und der Entsorgungskonzepte enthält.

Bei Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufes überwiegen die Vorteile beim sofortigen Rückbau.

Bei Anlagen zur Abfallkonditionierung ist entscheidend, wie sich die Kontamination dieser Einrichtungen zusammensetzt. In der Regel wird der sofortige Rückbau vorteilhafter sein, bei vorwiegend kurzlebigen Radionukliden kann aber auch ein sicherer Einschluss die bessere Variante sein. Gleiches gilt für Forschungseinrichtungen. Auch hier muss wegen des breiten Spektrums möglicher Umgangsformen eine Einzelfallbetrachtung gemacht werden.

Für sonstige genehmigungspflichtige Anlagen ist in der Regel der sofortige Rückbau die günstigste Stilllegungsvariante.

6. Literatur

- /1/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung-StrlSchV) vom 20.07.2001 BGBl. I Nr. 38 vom 26.07.2001, S.1714 ff., zuletzt geändert durch Art. 2 § 3 Abs. 31 G v. 1. 9.2005 I 2618
- /2/ HSK
Richtlinie HSK-R-13/d
Inaktivfreigabe von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen (Freimessrichtlinie)
Februar 2002
- /3/ BMU
Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei Tätigkeiten der Instandhaltung, Änderung, Entsorgung und des Abbaus in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen

Teil II: Die Strahlenschutzmaßnahmen während der Inbetriebsetzung, des Betriebs und der Stilllegung einer Anlage oder Einrichtung
10. Dezember 2004
veröffentlicht am 17.1.2005, s. Handbuch RS Teil 3 Nr. 43.1
(Internet: www.bfs.de/bfs/recht/rsh/bmu)

- /4/ BfS
Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle
(Endlagerungsbedingungen, Stand: Dezember 1995)
- Schachtanlage Konrad -
ET-IB-79.
veröffentlicht im Dezember 1995

- /5/ Deutscher Bundestag, 15. Wahlperiode
Antwort des Staatssekretärs Rainer Baake auf eine schriftliche Frage des Abgeordneten Jochen-Konrad Fromme zur Umkonditionierung von Abfällen
Drucksache 15/43 vom 08.11.2002

- /6/ HSK
Richtlinie HSK-R-14/d
Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle
März 2004

- /7/ Gesetz über Umweltverträglichkeitsprüfung
i. d. Fassung der Bekanntmachung vom 5.9.2001

- /8/ IAEA
Selection of decommissioning strategies: Issues and factors
IAEA TECDOC 1478
November 2005

Anlage 1: Zusammenstellung der Einflussfaktoren

Einflussfaktoren bei der Entscheidung für eine Stilllegungsvariante	
Schutzziel-orientierte Argumente für den sofortigen Rückbau	Schutzziel-orientierte Argumente für einen vorangestellten sicheren Einschluss
<p>Das Betriebspersonal ist noch in ausreichender Zahl vorhanden; sein Wissen steht zur Verfügung und hilft Fehler zu vermeiden, die zu unnötigen Strahlenexpositionen oder Fehlern bei der Freigabe führen können. Stichworte: repräsentative Beprobung aufgrund von Kenntnissen zur Aktivitätsverteilung und zu Aktivitätsfreisetzungen; Funktion und Funktionsstörungen von Hilfssystemen und Handhabungseinrichtungen; Zuordnung von Komponenten zu Systemen in unübersichtlichen Raumbereichen</p> <p>Systeme und Komponenten stehen in geprüfter Form einsatzfähig zur Verfügung. Besondere Instandhaltungsarbeiten oder Erhaltungmaßnahmen und damit verbundene Strahlenexpositionen fallen nicht an. Stichpunkte: Behälterprüfungen; Überwachungseinrichtungen (Messtechnik); Hebezeuge und Handhabungseinrichtungen</p> <p>Die Inkorporationsüberwachung kann in der Regel anhand leicht messbarer Nuklide erfolgen und kann sich an der Vorgehensweise des vorangegangenen Betriebs orientieren.</p> <p>Freigabemessungen können anhand der aus dem Anlagenbetrieb bekannten leicht messbaren Schlüsselnuklide erfolgen. Erchwernisse, die durch Verschiebung der Nuklidanteile in Richtung schwer messbarer Nuklide auftreten können und dann zu Erhöhung des radioaktiven Abfall führen können, werden vermieden.</p>	<p>Durch den radioaktiven Zerfall verringern sich das Aktivitätsinventar und die Dosisleistung; dadurch vereinfachen sich in einigen Fällen die Handhabungen beim Rückbau und die externe Strahlenexposition wird verringert.</p> <p>Für die Rückbauplanung steht ausreichend Zeit zur Verfügung. Reihenfolge und Art des Rückbaus können daher ohne Zeitdruck geplant werden.</p> <p>Erfolgt der Rückbau erst, wenn ein annahmefähiges Endlager in Betrieb ist, entfallen besondere Maßnahmen zur längerfristigen Zwischenlagerung. Die Handhabung der Abfälle kann dann aus strahlenschutztechnischer Sicht unter Beachtung der konkreten Endlagerbedingungen optimiert werden</p>

<p>Die gebäudetechnischen Einrichtungen des Hygienetrakts und die Kontrolleinrichtungen am Kontrollbereichsausgang stehen uneingeschränkt und geprüft zur Verfügung. Umbauarbeiten, die mit zusätzlichem Abfallanfall verbunden sind, werden vermieden.</p>	
<p>Wirtschaftliche, gesellschaftspolitische und verfahrenstechnische Argumente für einen sofortigen Rückbau</p>	<p>Wirtschaftliche, gesellschaftspolitische und verfahrenstechnische Argumente für einen vorangestellten sicheren Einschluss</p>
<p>Die Anlage unterliegt der aktuellen Gesetzgebung und Normen. Genehmigungen sind aktuell nutzbar. Damit besteht Planungssicherheit.</p> <p>Der Arbeitsplatzabbau kann sozial verträglich gestaltet werden, weil der Personalabbau langsamer erfolgt als beim sicheren Einschluss. Der Rückbau größerer Anlagen (Kernkraftwerke) dauert erfahrungsgemäß 10-15 Jahre</p> <p>Die Anlage steht im Wesentlichen funktionsfähig zur Verfügung. Nachrüstungen und damit zusätzliche Kosten für die Nachrüstung selbst und für die Entsorgung der dabei anfallenden Abfälle und Reststoffe sind nur für spezielle rückbaurelevante Ergänzungen erforderlich.</p> <p>Die Kostenkalkulation für den späteren Rückbau ist sehr unsicher, da die später vorliegenden Randbedingungen (rechtliche und technische Anforderungen) nicht verlässlich eingeschätzt werden können. Zudem fallen auch während des sicheren Einschlusses Kosten für die atomrechtliche Deckungsvorsorge an.</p> <p>Die Freigabe geringfügig kontaminierter Abfälle und Reststoffe kann bei ungünstiger Nuklidverteilung messtechnisch sehr aufwändig sein. Falls sich im sicheren Einschluss die Nuklidvertei-</p>	<p>Rückbaukosten fallen nicht sofort an, und es können Rücklagen gebildet werden. Die vorhandenen Rücklagen bringen Kapitalerträge.</p> <p>Es steht kein Endlager zur Verfügung, so dass für die Zwischenlagerung der anfallenden Abfälle Raum geschaffen werden muss (i.d.R. ein separates neues Lager am Standort). Dies ist mit erheblichen Kosten verbunden</p> <p>Die Bereiche hoher Ortsdosisleistungen werden bis auf wenige Ausnahmen durch das Abklingen der Aktivität verringert. Dadurch können aufwändige und teure Rückbautechniken in diesen Bereichen entfallen</p> <p>Beim sofortigen Rückbau baut das Betriebspersonal den eigenen Arbeitsplatz ab. Dies verringert die Motivation, was die Fehlerhäufigkeit ungünstig beeinflussen kann.</p>

lung sehr nachteilig verändern würde, können bei gleichem Freigabevolumen beim sofortigen Rückbau erhebliche Kosten gespart werden.

Aufwändige Inkorporationsschutzmaßnahmen und Kontrollmaßnahmen (Ausscheidungsanalysen), welche die Kosten erhöhen, können auf das notwendige Mindestmaß begrenzt werden.

Die Last des Rückbaus wird bei längerem sicheren Einschluss auf die kommenden Generationen verlagert.

Das Risiko, dass zum späteren Rückbauzeitpunkt der Anlagenbetreiber nicht mehr existiert und die Öffentlichkeit die Kosten tragen muss, wird minimiert (gilt wegen der erforderlichen Rückstellungen nicht für den kerntechnischen Bereich).