

Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland

Anhang Safeguards

Safeguards in einem Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle



30.09.2008

Bearbeiter:
Küppers, C.

**Braunschweig / Darmstadt
September 2008**

**Anhang zu GRS-247
ISBN 978-3-939355-22-9**

Das diesem Bericht zugrunde liegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter den Kennzeichen 02E9783 und 02E9793 durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Grundlagen	5
2.1	Ziele der Safeguardsmaßnahmen.....	5
2.2	Rechtliche Grundlagen der Safeguards in Deutschland	10
2.3	Unter Safeguards stehende Materialien im Endlager.....	12
3	Safeguardsmaßnahmen im Endlager	15
3.1	Safeguardsmaßnahmen in der Betriebsphase.....	15
3.2	Safeguardsmaßnahmen in der Nachbetriebsphase.....	22
4	Implementierung der Überwachung durch Safeguards	25
4.1	Safeguardsmaßnahmen vor der Inbetriebnahme des Endlagers.....	25
4.2	Safeguardsmaßnahmen während des Betriebs des Endlagers.....	25
4.3	Safeguardsmaßnahmen in der Nachbetriebsphase.....	26
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	28
6	Literatur	30
7	Weiterführende Literatur	32

1 Einleitung

Bestimmte Arten von Nuklearmaterial können in Nuklearwaffen zu militärischen Zwecken genutzt werden. Maßnahmen, die darauf abzielen, die Verwendung von solchem Nuklearmaterial zu überwachen, um die Weiterverbreitung (Proliferation) von Kernwaffen möglichst zu verhindern, werden international als „Safeguards“ bezeichnet. Im Deutschen sind hierfür auch die Ausdrücke Kernmaterialüberwachung, Spaltmaterialüberwachung oder Spaltstoffflusskontrolle gebräuchlich.

Staaten, die wie die Bundesrepublik Deutschland den Nichtverbreitungsvertrag /NPT 68/ unterzeichnet haben, haben sich zur Überwachung von Material, das für militärische Zwecke verwendet werden könnte, verpflichtet. Es handelt sich dabei um keine von außen erzwungene Überwachung aufgrund eines gegen einen Staat bestehenden Vorbehalts, sondern um eine freiwillige Vereinbarung, die beispielsweise den internationalen Handel für den jeweiligen Staat erleichtert, indem keine Handelsbeschränkungen mit sensitiven Materialien und Techniken bestehen.

Zentrales Ziel der Überwachung ist es, einen Staat daran zu hindern, sich Kernwaffen zu verschaffen, indem er dazu verwendbares Material aus dem Bereich der zivilen Nutzung abzweigt. Der Nichtverbreitungsvertrag hat dagegen nicht zum Ziel, den Diebstahl von waffentauglichem Material durch eine subnationale Gruppe oder Einzelpersonen zu verhindern. Es soll entweder die Abzweigung für militärische Zwecke verhindert werden oder zumindest rechtzeitig vor der Möglichkeit der tatsächlichen militärischen Verwendung die Abzweigung entdeckt werden. Die dazu erforderlichen Maßnahmen müssen von Staaten, die den Nichtverbreitungsvertrag unterzeichnet haben, zugelassen werden.

Die Überwachung im Rahmen des Nichtverbreitungsvertrags erfolgt durch die Internationale Atomenergie Organisation (IAEO). In Deutschland wird die IAEO dabei von der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) unterstützt.

Zu überwachendes Material sind sowohl direkt in Kernwaffen verwendbare Spaltstoffe (hochangereichertes Uran, Plutonium) als auch Stoffe, die zu waffentauglichem Material angereichert oder zu deren Erbrütung genutzt werden können. In jedem Staat, in dem Kernenergie genutzt wird, ist real davon auszugehen, dass Material zur Endlagerung anfallen wird, das der Überwachung unterliegt. Dies ist unabhängig davon, ob im jeweiligen Staat abgebrannte Brennelemente wiederaufgearbeitet werden, um das ab-

getrennte Plutonium wieder einzusetzen, oder ob eine direkte Endlagerung der abgebrannten Brennelemente vorgesehen wird. Bei der direkten Endlagerung, die von einer ganzen Reihe von Staaten verfolgt wird, wird Plutonium in größerer Menge im dortigen Endlager enthalten sein. Dass dies der Planung eines Endlagers auch unter Proliferationsgesichtspunkten nicht entgegen steht, zeigen in Europa beispielsweise die Staaten Schweden und Finnland, die keine Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente zur Plutoniumabtrennung verfolgen, im internationalen Vergleich in der Planung ihrer Endlager aber weit fortgeschritten sind (siehe z. B. /OKK 04/).

In Kapitel 2 werden die Ziele und grundlegenden Methoden sowie die in Deutschland relevanten rechtlichen Grundlagen der Safeguards dargestellt. Außerdem werden die Arten der Stoffe zusammengestellt, die in einem deutschen Endlager den Safeguards unterfallen würden.

In Kapitel 3 werden Safeguardsmaßnahmen in einem Endlager beschrieben. Unterschieden wird dabei nach Maßnahmen während der Betriebs- und für die Nachbetriebsphase.

In Kapitel 4 wird zusammenfassend dargestellt, zu welchem Zeitpunkt welche möglichen Überwachungsmaßnahmen in einem Endlager implementiert werden müssen.

Zusammenfassende Schlussfolgerungen enthält Kapitel 5.

2 Grundlagen

In Folgenden werden Grundlagen der Safeguards in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle dargestellt. In Kapitel 2.1 werden die Ziele beschrieben, die mit den Safeguardsmaßnahmen bei der Endlagerung erreicht werden sollen. Die rechtlichen Grundlagen, auf denen die Safeguardsmaßnahmen beruhen, werden in Kapitel 2.2 dargestellt. In Kapitel 2.3 werden die Materialien genannt, die in einem Endlager durch Safeguards zu überwachen sind.

2.1 Ziele der Safeguardsmaßnahmen

Zentrales Ziel der Safeguardsmaßnahmen ist die Überwachung eines Staates darauf hin, ob er zum Bau von Kernwaffen verwendbares Material aus dem Bereich der zivilen Nutzung abzweigt. Weltweit ist noch kein Endlager für durch Safeguards zu überwachende Stoffe in Betrieb. Die nachfolgenden Darstellungen beziehen sich daher auf den Planungs- und Diskussionsstand, wie dieses Ziel in einem Endlager erreicht wird.

Im Rahmen von zwei Advisory Group Meetings (1988 und 1997) sowie zwei Consultants Meetings (1991 und 1995) bei der IAEO wurde aber ein internationaler Konsens hinsichtlich der Überwachung von Endlagerung durch Safeguards gefunden, der die folgenden Kernaussagen enthält:

- Die direkte Endlagerung von ausgedienten Kernbrennstoffen erlaubt keine Beendigung der Safeguardsmaßnahmen.
- Eine Terminierung der Safeguardsmaßnahmen ist nicht möglich, sondern die internationale Überwachung ist so lange fortzuführen, wie es die Institution zur Überwachung gibt.
- Die Überwachungsmaßnahmen sind den geologischen und technischen Gegebenheiten eines Endlagers anzupassen. Dabei haben die Sicherheitsaspekte Vorrang vor den Safeguardsaspekten.
- Die Überwachungsmethoden sollen durch weitere F&E–Arbeiten dem Stand von Wissenschaft und Technik angepasst werden.

Die IAEO selbst hat in einem Policy- und Strategiepapier vom Oktober 1999 /FAT 99/ erstmals zur Frage der Safeguards bei der Endlagerung von abgebranntem Brennstoff in Endlagern in geologischen Formationen Stellung genommen. Grundlegende Ziele

der Safeguardsmaßnahmen werden in diesem Policy- und Strategiepapier definiert. Demnach ist sicherzustellen, dass mit einem hohen Grad an Zuverlässigkeit endzulagernde Materialien

- ihrer Deklaration gegenüber der IAEO entsprechen,
- in das Endlager verbracht werden sowie
- in diesem Endlager verbleiben.

Diese grundlegenden Ziele gelten neben abgebranntem Brennstoff auch entsprechend für andere unter Safeguards fallende Materialien.

2.1.1 Kriterien für die Proliferationsresistenz

Das Erreichen der Ziele der Safeguardsmaßnahmen ist abhängig von Art und Zustand der zu überwachenden Stoffe. Eine wichtige Rolle bei der Beurteilung, in welchem Umfang Überwachungsmaßnahmen erforderlich sind und wie diese ausgestaltet sein müssen, spielt die „Proliferationsresistenz“ des zu überwachenden Stoffs. Die Proliferationsresistenz ist ein Maß für die Schwierigkeit, ein bestimmtes Material unbemerkt zu entfernen, zu handhaben und damit eine Kernwaffe herzustellen. Die Proliferationsresistenz kann anhand der folgenden Kriterien beurteilt werden:

- Unzugänglichkeit

Die Schwierigkeit des physischen Zugriffs kann durch intrinsische Eigenschaften wie beispielsweise eine hohe radioaktive Strahlung des Matrixmaterials gegeben sein und/oder durch die Form der Lagerung und der institutionellen Kontrolle. Hochradioaktive Stoffe können nur unter besonderen technischen Strahlenschutzvorkehrungen (z. B. Fernhandhabung, Abschirmung) gehandhabt werden. In einem Endlager kann insbesondere der Verschluss von Lagerbereichen zur Herbeiführung der Unzugänglichkeit dienen.

- Beobachtbarkeit

Der Zugriff kann mehr oder weniger schwer unbeobachtet durchgeführt werden. Er kann durch die mit dem Zugriff direkt verbundenen Handlungen oder durch die dabei hinterlassenen Spuren auffallen.

- Nicht-Nützlichkeit

Das erfolgreich und möglicherweise sogar unentdeckt abgezweigte Kernmaterial kann je nach chemischer und physikalischer Beschaffenheit verschieden nützlich sein, da es verschieden schwierig ist, Kernmaterial in metallischer Form aus dem abgezweigten Gut zu gewinnen. Die IAEO charakterisiert dieses Kriterium mit dem Maß der sogenannten Konversionszeit.

- **Rechtzeitigkeit**

Die maximale Zeit, die zwischen einer Abzweigung und deren Entdeckung verstreichen darf, richtet sich nach der Konversionszeit, die benötigt wird, um das im abgezweigten Gut enthaltene Kernmaterial in metallischer Form für den Kernwaffenbau einzusetzen. Je kürzer diese Konversionszeit ist, desto aufwendiger werden die notwendigen Sicherungsmaßnahmen. Vor allem die Häufigkeit von Inspektionsmaßnahmen wird von der Konversionszeit beeinflusst. Wenn geeignete Methoden des Einschlusses und der Überwachung möglich sind, kann der Inspektionsaufwand reduziert werden.

2.1.2 Angestrebte Entdeckungszeiten einer Abzweigung

Ziel von Safeguardsmaßnahmen ist es, eine Abzweigung von Material innerhalb eines bestimmten Zeitraums zu entdecken. Bestimmte materialabhängige Zeitvorgaben im Sinne der Rechtzeitigkeit der Entdeckung haben sich bei der IAEO in Zusammenhang mit den bisher überwachten Arten von Anlagen etabliert. Unterschieden werden dabei drei Entdeckungs- bzw. Konversionszeiten /RAU 04/:

- Ein Zeitraum von einem Monat für die Entdeckung der Abzweigung von unbestrahltem und direkt in einer Kernwaffe verwendbarem Material (z. B. unbestrahlter MOX-Brennstoff, unbestrahltes hochangereichertes Uran; in einem Endlager kann dies beispielsweise Produktionsausschuss der Brennelementherstellung sein),
- ein Zeitraum von drei Monaten für die Entdeckung der Abzweigung von bestrahltem und direkt in einer Kernwaffe verwendbarem Material (z. B. abgebrannte Brennelemente mit dem darin enthaltenen Plutonium), und
- ein Zeitraum von zwölf Monaten für die Entdeckung der Abzweigung von Material, das nur indirekt in einer Kernwaffe verwendet werden kann (z. B. unbestrahltes niedrig angereichertes Uran; auch wenn es sich dabei um kein hochradioaktives

Material handelt, kann die Einbringung in einem Endlager für hochradioaktive wärmeentwickelnde Abfälle aus verschiedenen Gründen notwendig sein).

Die „direkte“ Verwendbarkeit setzt also keine metallische Form oder die fehlende Notwendigkeit einer Wiederaufarbeitung voraus, sondern die Möglichkeit, das Material ohne Isotopenanreicherung oder Einsatz in einem Reaktor in verwendbares Material umzuwandeln.

2.1.3 Definition der signifikanten Menge

Es hat sich ebenfalls eine Praxis etabliert, ab welcher Menge eines Kernmaterials von einer „signifikanten Menge“ gesprochen wird. Als signifikante Mengen in diesem Sinne gelten die in Abb. 1 für die verschiedenen zu überwachenden Materialien dargestellten Massen /RAU 04/.

Die signifikante Menge ist nicht identisch mit einer Grenze, unterhalb derer aus physikalischen Gründen keine Möglichkeit der Herstellung einer Kernwaffe bestehen würde. Sie ist im allgemeinen auf einen etwas höheren Wert festgelegt. Bei Anlagen, in denen Spaltstoff in signifikanten Mengen in frei fließender separierter Form gehandhabt wird (z. B. Wiederaufarbeitungsanlagen und Brennelementfabriken), als „bulk-handling facilities“ bezeichnet, wird zusätzlich die Wahrscheinlichkeit begrenzt, mit der es zu einer ungerechtfertigten Beschuldigung der Abzweigung einer signifikanten Menge kommen kann.

Da bei diesem Vorgehen ebenfalls messtechnische Unsicherheiten und statistische Fehler in die Festlegung des Überwachungsziels einfließen, kann dieses deutlich nach oben von der signifikanten Menge gemäß Abb. 1 abweichen. Das Ausmaß der Abweichung ist insbesondere von der Art der Anlage und ihrem Durchsatz abhängig.

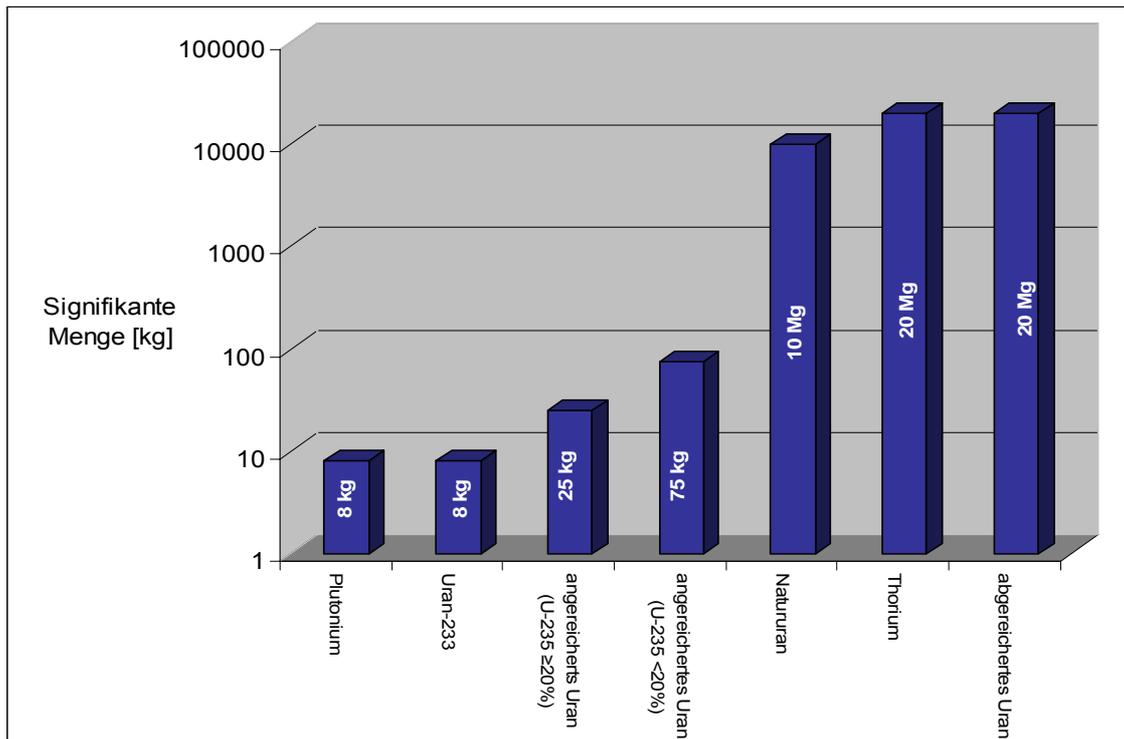


Abb. 1: Signifikante Mengen für unter Safeguards fallende Materialien

Diese Schwierigkeiten der Safeguardsüberwachung bestehen bei einem Endlager nicht, da dort nur die Notwendigkeit der Einlagerung von geschlossenen Behältern besteht. Würden bei der Verpackung von zu überwachenden Stoffen vor der Endlagerung in einer Konditionierungsanlage Brennelemente in einzelne Stäbe zerlegt, wird ein größerer Überwachungsaufwand erforderlich, der aber technisch realisierbar ist. Nach Verlassen der Konditionierungsanlage können die Gebinde bis hin zur Endlagerung unverändert bleiben, so dass sich eine Safeguardsüberwachung im Endlager immer als eine Überwachung von abzählbaren Einheiten darstellt.

2.1.4 Grundlegende Techniken der Überwachung durch Safeguards

Im gängigen Safeguardskonzept werden zur Erreichung der Ziele im wesentlichen drei grundlegende Techniken angewandt (auf deren Umsetzung in einem Endlager wird in Kapitel 2.3 näher eingegangen):

- Bilanzierung: Die gehandhabten Kernmaterialmengen werden messtechnisch und durch Zählen von Einheiten erfasst; die erfassten Mengen werden buchhalterisch in einer Bilanz überprüft. Durch Erfassung der Ab- und Zugänge einerseits und

durch Inventuren andererseits kann damit geprüft werden, ob die Bilanz aufgeht oder Defizite an zu überwachenden Stoffen aufweist.

- Surveillance: Räume, in denen mit zu überwachenden Stoffen umgegangen wird, werden optisch (z. B. mit Kameras), daraufhin überwacht, ob nicht angemeldete oder nicht erklärte Vorgänge innerhalb des Raums oder unerklärte Materialbewegungen aus dem Raum hinaus stattfinden.
- Containment: Die Räumlichkeiten, in denen mit zu überwachenden Stoffen umgegangen wird, werden in Materialbilanzonen zusammengefasst. Diese Zonen dürfen nur wenige bestimmte Ein- und Ausgänge haben, über die Zu- und Abgänge der überwachenden Stoffe möglich sind. Andere Öffnungen sind nicht zugelassen. Passiert Spaltmaterial die Ein- und Ausgänge, so wird dies in der Bilanzierung erfasst.

Ein Zusatzprotokoll zum Kernwaffensperrvertrag gemäß INFCIRC/540 /IAE 97/ wurde von der IAEA unter dem Eindruck der Entdeckung der heimlichen Waffenprogramme des Iraks und Nordkoreas in mehrjährigen Verhandlungen erstellt und am 22.09.1998 von den Mitgliedstaaten der EU unterzeichnet. Das Zusatzprotokoll trat am 30.04.2004 für 15 Mitgliedsstaaten der EU, darunter die Bundesrepublik Deutschland, in Kraft. Es sieht umfassendere Informationen und erweiterten Zugang für die IAEA vor und betrifft auch solche Bereiche, in denen kein Kernmaterial gehandhabt wird, die aber dennoch für Nuklearaktivitäten relevant sind. Die Safeguardsmaßnahmen schließen daher nicht mehr nur diejenigen Anlagen ein, die vom überwachten Staat als überwachungsbedürftig deklariert worden sind.

Das daraus resultierende „Integrierte“ Safeguardssystem stützt sich in höherem Maße auf Informationsanalysen und legt einen stärkeren Akzent auf qualitative Elemente bei den Inspektionen. Für ein Endlager ergibt sich daraus, dass z. B. auch nukleare Abfälle davon betroffen sind – wenn auch in reduziertem Maße. Außerdem kann (z. B. durch Auswertung von Fachliteratur) nach Anzeichen dafür gesucht werden, ob unerklärte Aktivitäten bestehen, die im Zusammenhang mit dem Zugriff auf endgelagerte Stoffe oder deren weiterer Verarbeitung stehen könnten.

2.2 Rechtliche Grundlagen der Safeguards in Deutschland

Gesetzliche Grundlagen der Safeguards in Deutschland sind

Anhang Safeguards

- das Gesetz zu dem Zusatzprotokoll vom 22. September 1998 zu dem Übereinkommen vom 5. April 1973 (Verifikationsabkommen) zwischen den Nichtkernwaffenstaaten der Europäischen Atomgemeinschaft, der Europäischen Atomgemeinschaft und der Internationalen Atomenergie-Organisation in Ausführung von Artikel III Absätze 1 und 4 des Vertrages über die Nichtverbreitung von Kernwaffen vom 21. Januar 2000 /VZG 00/,
- das Ausführungsgesetz zu dem Übereinkommen vom 5. April 1973 zwischen den Nichtkernwaffenstaaten der Europäischen Atomgemeinschaft, der Europäischen Atomgemeinschaft und der Internationalen Atomenergie-Organisation in Ausführung von Artikel III Abs. 1 und 4 des Vertrages vom 1. Juli 1968 über die Nichtverbreitung von Kernwaffen (Verifikationsabkommen) sowie zu dem Zusatzprotokoll zu diesem Übereinkommen vom 22. September 1998 (Ausführungsgesetz zum Verifikationsabkommen und zum Zusatzprotokoll – VerifZusAusfG) vom 21. Januar 2000 /VAG 00/.

Im Gesetz zum Zusatzprotokoll vom 22. September 1998 zum Verifikationsabkommen vom 5. April 1973 wird insbesondere

- die Informationsübermittlung durch die Bundesrepublik Deutschland und die Europäische Atomgemeinschaft (EURATOM) an die IAEO,
- die Gewährung des erweiterten Zugangs zu Standorten und Anlagen durch Inspektoren der IAEO,
- die den Inspektoren erlaubten Tätigkeiten an diesen Standorten, sowie
- der Umgang mit gewonnenen Erkenntnissen (insbesondere Unterrichtung der Bundesrepublik Deutschland und der EURATOM über Ergebnisse)

geregelt. Ein „Standort“ schließt nach Artikel 18 („Begriffsbestimmungen“) des Gesetzes auch Einrichtungen zur Behandlung, Zwischen- und Endlagerung von Abfall ein.

Die Informationsübermittlung betrifft die Vorlage von Zu- und Ausgängen zu überwachender Stoffe in den deklarierten Anlagen. Auf diese Weise kann die buchhalterische Bilanz der zu überwachenden Stoffe durch die IAEO vorgenommen werden.

Die Tätigkeiten der Inspektoren von EURATOM und IAEO vor Ort dienen der visuellen Überprüfung, Probenahmen etc.; deren Intensität hängt wesentlich vom Überwachungsziel „Rechtzeitigkeit“ ab. Nach Artikel 4 des Gesetzes zum Zusatzprotokoll wird

der IAEO der Zugang zu einem Endlager gewährt, um sich zu vergewissern, dass es dort kein nichtdeklariertes Kernmaterial und keine nichtdeklarierten Tätigkeiten gibt. Zur Überprüfung der Richtigkeit und Vollständigkeit sowie zur Aufklärung von Widersprüchen in übermittelten Informationen besteht ein Zugangsrecht zu allen Orten, z. B. zur Entnahme von Umweltproben. Eine Inspektion wird durch die IAEO mindestens 24 Stunden im voraus angekündigt, sofern Kernmaterial betroffen ist; am Standort einer Anlage beträgt die Ankündigungsfrist mindestens 2 Stunden im voraus, darf unter außergewöhnlichen Umständen auch geringer sein. Bei der Vorankündigung werden die Zugangsgründe und die vorgesehenen Tätigkeiten genannt.

Bei einer Frage oder der Feststellung einer Unstimmigkeit gibt die IAEO dem betreffenden Staat und gegebenenfalls der EURATOM zunächst Gelegenheit zur Stellungnahme.

In Artikel 14 des Gesetzes zum Zusatzprotokoll ist festgelegt, dass der überwachte Staat der IAEO die notwendige Kommunikation ermöglichen muss. Insbesondere muss die automatische und nichtautomatische Übermittlung von Daten aus Vorrichtungen der IAEO an diese gewährleistet werden.

Die erste Aufgabe der Safeguardsüberwachung eines Endlagers besteht dann darin, zu verifizieren, dass das Erkundungsbergwerk keine heimlich aufgefahrenen Grubenbaue enthält, in denen die Endlagergebinde geöffnet und das Kernmaterial missbräuchlich wiederverwertet werden könnte. Die weiteren Safeguardsmaßnahmen für Betrieb und Nachbetriebsphase des Endlagers können im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens festgelegt werden.

2.3 Unter Safeguards stehende Materialien im Endlager

Die genaueren Modalitäten von Safeguardsmaßnahmen werden zwischen der IAEO und dem betreffenden Staat getroffen. Allgemeine Vorgaben für Struktur und Inhalt solcher Vereinbarungen sind im Information Circular INFCIRC/153 der IAEO /IAE 72/ festgelegt.

Safeguardsmaßnahmen beginnen nach INFCIRC/153,

1. wenn Materialien, die Uran oder Thorium enthalten und nicht unter 3. fallen, in einen Nichtkernwaffenstaat exportiert werden,

Anhang Safeguards

2. wenn Materialien, die Uran oder Thorium enthalten und nicht unter 3. fallen, importiert werden,
3. wenn Kernmaterial mit einer für Kernbrennstoff oder die Anreicherung geeigneten Zusammensetzung und Reinheit die Anlage oder Einrichtung seiner Herstellung verlässt oder wenn solches oder anderes Kernmaterial aus einem späteren Stadium des Brennstoffkreislaufs importiert wird.

Material aus Bergwerken oder der Erzaufbereitung soll dagegen keinen Safeguards unterliegen.

Safeguardsmaßnahmen sollen nach INFCIRC/153 enden, wenn entsprechende Materialien verbraucht worden sind, soweit verdünnt wurden, dass sie für keine nukleare Aktivität mehr von Nutzen sein können, oder praktisch nicht mehr wiedergewinnbar sind. Außerdem enden Safeguardsmaßnahmen innerhalb eines Staates nach Verbringung der Materialien nach außerhalb des überwachten Staates. Safeguardsmaßnahmen können im Einvernehmen mit der IAEO auch beendet werden, sobald Kernmaterial für nichtnukleare Zwecke verwendet wird (z. B. Herstellung von Legierungen oder Keramiken) und praktisch nicht mehr rückgewinnbar ist.

Ausnahmen von der Safeguardsmaßnahmen sollen nach INFCIRC/153 auf Anfrage des überwachten Staates für folgende Kernmaterialien gelten:

- spaltbares Material in Gramm-Mengen, das in Instrumenten genutzt wird,
- Kernmaterial, das für nichtnukleare Zwecke verwendet wird und rückgewinnbar ist,
- Plutonium mit mehr als 80 % des Isotops Plutonium-238,
- Kernmaterial, das zu keinem Zeitpunkt die Menge von 1 kg speziellen spaltbaren Materials überschreitet und aus Plutonium oder angereichertem Uran besteht (bei mehr als 20 % U-235 im Uran wird das Gewicht mit dem Anreicherungsgrad multipliziert, bei einer Anreicherung bis 20 % mit dem Fünffachen der Wurzel aus dem Anreicherungsgrad),
- Kernmaterial, das zu keinem Zeitpunkt die Menge von 10 Mg Natururan und angereichertem Uran (> 0,5 % U-235) überschreitet,
- Kernmaterial, das zu keinem Zeitpunkt die Menge von 20 Mg angereichertem Uran (\leq 0,5 % U-235) überschreitet,

Anhang Safeguards

- Kernmaterial, das zu keinem Zeitpunkt die Menge von 20 Mg Thorium überschreitet (auch größere Mengen können zugelassen werden).

Ausgehend von den in Deutschland vorliegenden endzulagernden Materialien werden voraussichtlich in einem deutschen Endlager für hochradioaktive Abfälle die folgenden durch Safeguardsmaßnahmen zu überwachenden Materialien eingelagert werden:

- Abgebrannte Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren (Uran- und MOX-Brennelemente),
- abgebrannte Brennelemente aus Hochtemperaturreaktoren (THTR und AVR), die teils auch Thorium und hochangereichertes Uran enthalten,
- abgebrannte Brennelemente aus Forschungsreaktoren, die teils hochangereichertes Uran enthalten,
- unbestrahlte Brennstoffe, die aufgrund von Fertigungsfehlern oder nicht mehr möglicher Nutzung, endgelagert werden,
- nicht mehr benötigtes Thorium,
- abgereichertes Uran,
- wiederaufgearbeitetes Uran.

Bei abgereichertem Uran und wiederaufgearbeitetem Uran ist in Deutschland eine endgültige Entscheidung, ob dies als Abfall zu entsorgen ist, noch nicht gefallen. Es ist aber davon auszugehen, dass zumindest für einen Teil dieser Stoffe auch in Zukunft keine Verwendungsmöglichkeit besteht. Abgereichertes Uran kann auch bei entsprechender Vermischung mit endgelagerten Kernbrennstoffen zur Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase beitragen.

Die Notwendigkeit der Endlagerung im Endlager für hochradioaktive Abfälle ergibt sich entweder aus dem hohen Aktivitätsgehalt bzw. der hohen Wärmeentwicklung oder daraus, dass das Material – zumindest im in Deutschland zu entsorgenden Umfang - nicht konradgängig ist.

3 Safeguardsmaßnahmen im Endlager

Im nachfolgenden Kapitel wird zwischen den Safeguardsmaßnahmen in der Betriebsphase und der Nachbetriebsphase des Endlagers unterschieden.

3.1 Safeguardsmaßnahmen in der Betriebsphase

3.1.1 Grundsätzliches

Solange mit abzählbaren Einheiten (items), die Spaltstoff enthalten, umgegangen wird, ist die Anwendung der Safeguardsmaßnahmen relativ einfach möglich. Bei einem unbestrahlten Brennelement wird durch Messung der Spaltstoffgehalt ermittelt. Solange dieses Element nicht demontiert wird, kann es bei Handhabung, Lagerung oder Transport einfach überwacht werden, da es nur sein Vorhandensein mit den Methoden von Containment und Surveillance überprüft werden muss. Bei einem bestrahlten Brennelement kann der Spaltstoffgehalt auch rechnerisch ermittelt werden.

Versiegelte Behälter zur Zwischen- oder Endlagerung stellen unter Safeguardsgesichtspunkten ähnliche „items“ wie Brennelemente dar. Daher sind in einem Endlager, wie auch in einem Zwischenlager, das unter Berücksichtigung der Safeguardsbelange konstruiert ist, Stoffe in abzählbaren Einheiten relativ leicht zu überwachen.

3.1.2 Deutsches Safeguards-Referenzkonzept

Nach dem Bund-Länder-Beschluss von 1979, die Direkte Endlagerung auf denselben Entwicklungsstand zu bringen wie die Entsorgung mit Wiederaufarbeitung /BMI 80/, wurde 1980 auf nationaler Ebene mit allen beteiligten Stellen (BMFT, BMI/BMU, PTB/BfS, DBE, Nuklearindustrie, Forschungszentren Karlsruhe und Jülich) ein Projekt mit dem Ziel etabliert, ein Safeguards-Referenzkonzept für die Direkte Endlagerung zu entwickeln /REM 04/. Die Arbeiten gingen 1988 über in das deutsche IAEO-Safeguards-Unterstützungsprogramm, in dessen Rahmen das Konzept bis heute fortentwickelt wird.

3.1.2.1 Endlagerung in Steinsalz

Das in Deutschland verfolgte Safeguardskonzept für ein Endlager in einem tiefliegenden Salzstock ist durch folgende Merkmale charakterisiert:

- Die letztmalige Verifikation des Kernmaterials durch Messung erfolgt in der Konditionierungsanlage vor Einfüllung in den Endlagerbehälter. Im Anschluss daran wird das mit einem spezifischen Identifikationsmerkmal versehene Endlagergebäude lückenlos durch redundant ausgelegte Einschließungs- und Beobachtungsmaßnahmen bis zum Einfahren in den Schacht verfolgt.
- An beiden Schachteingängen befinden sich Strahlungsdetektoren zur Kontrolle der Endlagergebäude.
- Um sicherzustellen, dass keine heimlichen Installationen zur Wiedergewinnung des spaltbaren Materials vorhanden sind, wird das Grubengebäude im Hinblick auf seine Änderungen von den Inspektoren durch wiederkehrende Verifikation der grundlegenden technischen Merkmale überwacht. Hierbei sind (neben der normalen Inaugenscheinnahme) geophysikalische Methoden denkbar, aber auch die Entnahme von Wischproben oder eine Messung der Abluft. Die Anwendbarkeit dieser Methoden ist jedoch noch nachzuweisen.
- Nach Verfüllung der Endlagergebäude in einer Strecke mit Salzgrus sind diese nicht mehr leicht zugänglich, so dass eine Verifizierung im Sinne von Safeguards dann nicht mehr möglich ist, auch nicht mit geophysikalischen Methoden. Da der Salzstock geographisch begrenzt ist, sich darin im deutschen Konzept kein weiteres Bergwerk befindet und die beiden einzigen Zugänge zum Endlagerbergwerk überwacht werden, ist eine Verifikation der eingelagerten Endlagergebäude nicht erforderlich.

Dieses Konzept ist auch bei Bohrlochlagerung in Salinargestein anwendbar.

3.1.2.2 Endlagerung in Festgestein

Beim Einlagerungskonzept in Festgestein werden nicht abgeschirmte Endlagergebäude in Bohrlöchern eingelagert. Die entsprechende Strecke wird erst abgeworfen, wenn alle Bohrlöcher gefüllt sind. Dies kann zur Notwendigkeit der Kontrolle der Bohrlöcher führen, die beispielsweise durch Versiegelung gewährleistet werden kann. Weiterhin muss

durch Überprüfung sichergestellt werden, dass der Einzel-Abschirmbehälter mit dem Endlagergebäude in das Grubengebäude einfährt und leer wieder herauskommt.

Auch das nicht abgeschirmte Endlagergebäude benötigt ein Identifikationsmerkmal, und der Einzel-Abschirmbehälter muss versiegelbar sein (z. B. durch ein elektronisches Siegel).

Die grundlegenden technischen Merkmale des Grubengebäudes müssen regelmäßig verifiziert werden.

3.1.2.3 Endlagerung in Tongestein

In Tongestein wäre das deutsche Safeguards-Referenzkonzept ebenfalls anwendbar, da dieses – wie Salz – eine starke Konvergenz zeigt. Voraussetzung ist die frühzeitige Unzugänglichmachung der endgelagerten Behälter in Strecken oder Bohrlöchern. Dies kann durch einen (kontrollierbaren) Verschluss oder durch Verfüllung erfolgen.

3.1.2.4 Endlagerung in kristallinem Gestein

In kristallinen Wirtsgesteinen bleibt das endgelagerte Material während der Betriebsphase abhängig vom Einlagerungskonzept weitestgehend zugänglich, so dass voraussichtlich zusätzlicher Überwachungsaufwand betrieben werden muss, wenngleich auch hier die Überwachung der Schachtein- und -ausgänge sowie wiederholte Verifizierung des Grubengebäudes ausreichend wäre. Die Zugänglichkeit kann durch Verschlussmaßnahmen aber eingeschränkt oder verhindert werden.

Abhängig von den standortspezifischen geologischen Gegebenheiten und einer Prüfung ihrer Einsatzfähigkeit können unter Tage ggf. auch geophysikalische Überwachungsmaßnahmen für Safeguardszwecke zum Einsatz gelangen. Ob derartige Methoden auch in der Nach-Verschluss-Phase eines Endlagers verwendet werden können, muss im Einzelfall geklärt werden.

3.1.3 Gemischte Einlagerung

Bei der gemischten Einlagerung werden verschiedenartige Abfälle im gleichen Endlager für hochradioaktive Abfälle bzw. im gleichen Teilbereich dieses Endlagers einge-

bracht. In jedem Fall handelt es sich dabei in Deutschland aber um radioaktive Abfälle, die nicht konradgänglich sind. Verschiedenartige Abfälle können in sehr ähnlichen oder gleichen Behältern eingelagert werden, beispielsweise abgebrannte Brennelemente, HAW-Glaskokillen und wärmeentwickelnder mittelradioaktiver Abfall aus der Wiederaufarbeitung, sofern der abgebrannte Brennstoff nach dem Kokillenkonzentrat endgelagert wird.

Bei der gemischten Einlagerung können wiederum verschiedene Fälle unterschieden werden, wie beispielsweise:

- a) Ausgediente Brennelemente und andere radioaktive Abfälle werden in deutlich unterschiedlichen Behältertypen verpackt.
- b) Es gibt zwar nur einen Behältertyp, aber die ausgedienten Brennelemente und anderen radioaktiven Abfälle werden nicht zusammen in einem Behälter verpackt.
- c) In einem Behälter befinden sich sowohl ausgediente Brennelemente als auch andere radioaktive Abfälle.
- d) Das Endlager ist in zwei von einander deutlich getrennte Bereiche aufgeteilt. Der eine ist für die Einlagerung ausgedienter Brennelemente bestimmt und der andere für die Einlagerung der anderen radioaktiven Abfälle.
- e) Das Endlager hat zwar keine getrennten Einlagerungsbereiche für ausgediente Brennelemente und andere radioaktive Abfälle, aber die Einlagerung erfolgt zu unterschiedlichen Zeiten, d.h. kampagnenweise.

Da die Überwachung der ausgedienten Brennelemente die höchste Priorität besitzt, ist der Überwachungsaufwand dann am geringsten, wenn deren Einlagerung möglichst transparent ist, d.h. eine weitgehende räumliche und zeitliche Trennung von den anderen radioaktiven Abfällen gewährleistet ist.

3.1.4 Techniken zur Safeguardsüberwachung in der Betriebsphase

Techniken und Ausrüstungen für die Safeguardsüberwachung sind beispielsweise in /IAE 03/ beschrieben. Nachfolgend wird auf solche Techniken eingegangen, die für die Überwachung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle in der Betriebsphase von Bedeutung sind. Bei der Bewertung der technischen Möglichkeiten ist zu beachten,

dass es nicht Ziel ist, beispielsweise das nicht angemeldete Öffnen eines Behälters zu verhindern, sondern ein solches Öffnen im Sinne der in Kapitel 2.1 definierten „Rechtzeitigkeit“ frühzeitig zu erkennen.

- Versiegelung

Mittels Siegel können Endlagerbehälter daraufhin kontrolliert werden, ob sie nach der Behälterbeladung, dem Verschluss des Behälters und dem Transport zum Endlager geöffnet worden sind. Siegel, die eine Datenübermittlung durch elektromagnetische Wellen oder eine Informationsübertragung durch Lichtleiterkabel erfordern, sind für die Anwendung im Einlagerungsbereich eines Endlagers wenig geeignet. Elektronische Siegel werden zwar bereits eingesetzt, sind aber strahlensensibel (Haltbarkeit 7 bis 10 Jahre). Als Siegel im Endlager müssten diese doppelt bis dreifach redundant ausgelegt werden und über ein Memory verfügen, über das auch bei Ausfall noch Informationen abgerufen werden können. Als technisch machbar wird bei verschweißten Behältern auch ein Siegel in der Schweißnaht angesehen, das durch Ultraschall- oder Laserabtastung identifiziert werden kann.

Die Überwachung durch Siegel ist möglich, solange der entsprechende Behälter zugänglich ist.

- Strahlungsmonitore

Von Behältern mit bestrahlten Kernbrennstoffen geht eine intensive Gamma- und Neutronenstrahlung aus. Bewegungen solcher Behälter bei der Einlagerung können daher mit entsprechenden Strahlungsmonitoren kontinuierlich überwacht werden. Außerdem kann verifiziert werden, ob aus dem Endlagerbereich herausfahrende Abschirmbehälter entleert worden sind oder nicht.

Die Überwachung durch Strahlungsmonitore eignet sich besonders im Bereich der Einlagerung nach untertage.

- Bewegungsmelder

Mit Bewegungsmeldern lassen sich Räume auf unangemeldete Tätigkeiten überwachen, in denen keine Behälter ein- oder ausgelagert werden sollen und kein regelmäßiger Zutritt erfolgt. Außerdem können bei Meldung einer Bewegung Kameras aktiviert werden, die optische Informationen über den Vorgang dokumentieren.

Die Überwachung durch Bewegungsmelder ist vor allem in Bereichen geeignet, in denen Abfallgebinde für die Verbringung nach untertage aufbewahrt werden.

- Kameras

Durch Kameras lassen sich Raumbereiche kontinuierlich oder in besonderen Anforderungsfällen überwachen. Eine Datenübertragung an die IAEO ist möglich (remote monitoring), so dass die Anwesenheit von Inspektoren vor Ort auf eine oder wenige Kontrollen pro Jahr begrenzt werden kann. Bei modernen digitalen Kameras besteht die Möglichkeit, eine gezielte Einspielung anderer Informationen zu erkennen.

Die Überwachung durch Kameras ist ein geeignetes Instrument in den oberirdischen Bauwerken eines Endlagers. Ein Einsatz untertage ist vor allem wegen der Datenübertragung nicht realisierbar.

- Seillastüberwachung

Mit einer Seillastüberwachung könnte am Förderkorb des Endlagers überwacht werden, ob Endlagergebinde wieder aus dem Endlager heraus befördert werden. Allerdings müsste dazu eine vergleichsweise geringe Gewichts Differenz zuverlässig detektiert werden können. Ob dies in Zukunft gelingt, lässt sich derzeit schwer einschätzen.

Die Seillastüberwachung dient der Überwachung der mit dem Förderkorb transportierten Gebinde etc.

- Infrarotkameras

Prinzipiell lassen sich wärmeentwickelnde Abfälle auch durch Messungen von Infrarotstrahlung erkennen. Allerdings lässt sich diese Strahlung leicht durch andere Wärmequellen vortäuschen, so dass eine Verifizierung des weiteren Vorhandenseins wärmeentwickelnder Stoffe in einem Gebinde nicht zuverlässig durchgeführt werden kann. Störend können sich auch die in einem Endlager notwendigen Lichtquellen auswirken.

- Georadar

Mit Georadar können unterirdische Hohlräume identifiziert werden. Eine Identifizierung von Hohlräumen in einigen hundert Meter Tiefe von der Erdoberfläche ist aber nicht möglich. Der Einsatz müsste sich auf zugängliche Endlagerbereiche beschränken, in denen bis zum Verschluss des entsprechenden Bereichs verifiziert werden kann, dass es keine benachbarten nicht deklarierten Hohlräume gibt. Außerdem kann bei einer verschlossenen Strecke geprüft werden, ob das „bergmännische Siegel“ noch besteht. Neben dem Einsatz von Radar könnte auch durch gezieltes Abklopfen eine Überprüfung im Hinblick auf nicht deklarierte Hohlräume erfolgen.

Diese Art der Messung dient der Feststellung der räumlichen Identität des Endlagerbereichs in der geologischen Formation mit den gegenüber der IAEO gemachten Angaben.

- Nuklidmessungen im Endlager

Durch Wischproben oder andere Probenahme im Endlager kann überprüft werden, ob Radionuklide vorliegen, deren Vorkommen mit den deklarierten Tätigkeiten nicht vereinbar ist. Ein Öffnen von Endlagergebinden würde voraussichtlich zu Auffälligkeiten bei solchen Messungen führen, da bei den einzulagernden Gebinden im Normalfall von keinen signifikanten Freisetzungen radioaktiver Stoffe auszugehen ist. Es ist möglich, auch bei Auffinden sehr geringer Kernbrennstoffmengen (z. B. einzelnes Schwebstoffteilchen), Aussagen über die Herkunft zu treffen, da entsprechende Datenbanken verfügbar sind.

Nuklidmessungen durch Probenahme können in allen Bereichen des Endlagers, sowohl in den oberirdischen Bauwerken als auch untertage, vorgenommen werden. Die Auswertung der Proben würde in den Labors der IAEO erfolgen.

- Abwetterbeprobung

Bei Überwachung des Abwetters des Endlagers auf Radionuklide werden alle untertägigen Bereiche des Endlagers abgedeckt. Ein Teilstrom des Abwetters kann über ein Filter geführt werden, das im Labor ausgemessen wird.

- Umweltproben

Umweltproben mit anschließender Radionuklidanalyse in den Labors der IAEO können sowohl in der Umgebung des Endlagers als auch an anderen Orten gezogen werden. Radionuklide oder –gemische, die mit deklarierten Tätigkeiten nicht erklärt werden können, können dann zu weiteren Überprüfungen Anlass geben. Die Probenahme an anderen Orten dient der Überwachung, ob mit aus dem Endlager entferntem Kernmaterial an anderen Orten nicht deklarierte Tätigkeiten erfolgen (z. B. Aufarbeitung von bestrahltem Brennstoff).

3.2 Safeguardsmaßnahmen in der Nachbetriebsphase

3.2.1 Relevante Randbedingungen in der Nachbetriebsphase

In der Nachbetriebsphase des Endlagers liegt im in Deutschland favorisierten Konzept ein abgeschlossenes Bergwerk vor. Dieses verschlossene Endlager hat keinen Zugang mehr von oberirdischen Gebäuden her oder durch unterirdische Verbindungen. Die Safeguardsmaßnahmen in der Nachbetriebsphase können sich daher auf die Überwachung, ob ein Zugang zum Endlager geschaffen wird, beschränken. Die Safeguardsmaßnahmen wären sehr viel aufwändiger, wenn das Konzept der rückholbaren Lagerung verfolgt würde, da dann existierende Zugänge auf ihre tatsächliche Nutzung hin überwacht werden müssten.

Das in Deutschland verfolgte Safeguardskonzept für ein Endlager in einem tiefliegenden Salzstock geht davon aus, dass durch die Konvergenz des Steinsalzes und die Verfüllung der Schächte für die Nachbetriebsphase ein Abschluss von der Biosphäre erreicht wird. Damit wird das Kernmaterial praktisch unzugänglich. Dies gilt sowohl für den Zugriff auf das Material als auch für die Inspektionsmaßnahmen. „Praktisch unzugänglich“ bedeutet, dass eine Rückgewinnung des Kernmaterials einen so hohen technischen und zeitlichen Aufwand erforderlich macht, dass diese nicht unbemerkt durchgeführt werden könnte.

Auch Tonstein zeigt starke Konvergenz. Im Falle eines frühzeitigen Verschlusses oder einer frühzeitigen Verfüllung der Strecken oder Bohrlöchern mit eingelagerten kernmaterialhaltigen Endlagerbehältern wäre das deutsche Safeguards-Referenzkonzept ebenfalls anwendbar. Der zusätzliche Einsatz geophysikalischer Methoden zu Safeguards-Überwachungszwecken müsste im Einzelfall durch Erstellung von bewertenden

Studien und, falls diese zu positiven Ergebnissen führen, durch in-situ-Versuche auf ihre Anwendungsfähigkeit überprüft werden.

Die Einrichtung und Beibehaltung von Verbindungen zwischen Einlagerungsräumen und der Erdoberfläche in der Nachbetriebsphase, um eine Überwachung untertage vorzunehmen (z. B. Datenübermittlung) kommt nicht in Betracht, da Sicherheitsaspekten Vorrang vor Safeguardsaspekten einzuräumen ist (siehe die Kernaussagen des internationalen Konsenses in Kapitel 2.1). Durch solche Verbindungen würde aber die Möglichkeit für Wegsamkeiten geschaffen, durch die Langzeitsicherheit des Endlagers eingeschränkt würde. Für das Safeguardskonzept der Nachbetriebsphase muss daher davon ausgegangen werden, dass dies nicht nur ohne Eingriff in das Endlager auskommen muss, sondern auch keine Informationen aus dem Endlager selbst heraus zur Verfügung stehen.

3.2.2 Techniken zur Safeguardsüberwachung in der Nachbetriebsphase

Nachfolgend wird auf solche Techniken zur Safeguardsüberwachung eingegangen, die für die Überwachung eines Endlagers in der Nachbetriebsphase von Bedeutung sind.

- Luft- und Satellitenüberwachung

Durch Satelliten lassen sich großräumig relativ detaillierte Erkenntnisse über Vorgänge an der Erdoberfläche gewinnen. Es kann beispielsweise festgestellt werden, ob an einem verschlossenen Endlager Bohrungen bis in den Endlagerbereich stattfinden (Entdeckung von Bohrtürme, Abraum etc.). Finden solche Aktivitäten in größerer Entfernung statt, falls ein Vordringen zum Endlager aus einigen Kilometern Entfernung oder mehr erfolgt, kann durch die Überwachung mittels Satelliten alleine die Integrität des Endlagers nicht verifiziert werden. Es ist dann die Ergänzung durch weitere Maßnahmen (z. B. Inspektion und/oder Probenahme vor Ort), mit denen die Verifikation durchführbar ist, notwendig. Durch übliche Satellitenaufnahmen kann ein Bereich von etwa 60*60 km abgedeckt werden.

- Seismische Messungen

Mit seismischen Messungen würde überwacht, ob sich im Bereich des Endlagers Erschütterungen feststellen lassen, die auf ein Auffahren von Zugängen zum Endlagerbereich zurück zu führen sein könnten. Die Messungen müssten kontinuierlich durchgeführt werden. Feldversuche zur Klärung der Eignung seismischer

Messungen, insbesondere im Hinblick auf die durch dichte Besiedlung zu erwartenden Störfaktoren, sollen in Deutschland noch durchgeführt werden.

- Akustische Messungen

Untersuchungen zur Anwendbarkeit akustischer Messungen zur Safeguardsüberwachung eines Endlagers sind in Deutschland im Gange. Es ist aber in einem dicht besiedelten Gebiet wie Deutschland voraussichtlich nicht möglich, einen ausreichend niedrigen Geräuschhintergrund zu erreichen, um die notwendigerweise zu identifizierenden Unterschiede erkennen zu können.

- Widerstandsmessungen

Mit Widerstandsmessungen können theoretisch neue Hohlräume unter der Erdoberfläche detektiert werden. Untersuchungen haben aber ergeben, dass sich diese Methode nicht zur Überwachung eines Endlagers in einer tiefen geologischen Formation eignet.

4 Implementierung der Überwachung durch Safeguards

Bei der Implementierung der Überwachung durch Safeguards wird nachfolgend zwischen Safeguardsmaßnahmen vor der Inbetriebnahme des Endlagers, während des Betriebs des Endlagers sowie in dessen Nachbetriebsphase unterschieden.

4.1 Safeguardsmaßnahmen vor der Inbetriebnahme des Endlagers

Die Planung von Safeguardsmaßnahmen in einem Endlager erfolgt bereits parallel zum Planfeststellungsverfahren, um die Bedingungen für die Durchführung der Maßnahmen optimal gestalten zu können. Dabei ist der Grundsatz zu beachten, dass Sicherheitsfragen Vorrang vor einer Erleichterung der Safeguards haben.

Zunächst ist zu verifizieren, dass das Erkundungsbergwerk keine heimlich aufgefahrenen Grubenbaue enthält, in denen die Endlagergebinde geöffnet und das Kernmaterial missbräuchlich wiederverwertet werden könnte. Dies ist durch Begehung, unterstützt durch Einsatz von Georadar untertage, möglich.

4.2 Safeguardsmaßnahmen während des Betriebs des Endlagers

Die letztmalige Verifikation des Kernmaterials durch Messung erfolgt in der Konditionierungsanlage vor Einfüllung in den Endlagerbehälter. Der Behälter wird mit einem Identifikationsmerkmal (z. B. Siegel) versehen. Er kann bis zum Einfahren in den Schacht zur Endlagerung identifiziert und anhand seines Siegels als unversehrt erkannt werden.

An den Schachteingängen kann durch Strahlungsdetektoren kontrolliert werden, ob Endlagergebinde wieder aus dem Schacht befördert werden. Durch Einsatz von Kameras (auch ergänzt um Bewegungsmelder) ist prüfbar, ob unerklärte Aktivitäten stattfinden, insbesondere ob zusätzliche Abschirmungen an Behältern oder Strahlungsdetektoren vorgenommen werden.

Das Grubengebäude muss auch während der Betriebsphase im Hinblick darauf überwacht werden, ob heimliche Installationen zur Wiedergewinnung des spaltbaren Materials oder zusätzliche nicht gemeldete Hohlräume eingerichtet werden. Dies ist durch wiederkehrende Verifikation der grundlegenden technischen Merkmale möglich. Neben

Inspektionen sind (wie auch bei der Verifikation vor Inbetriebnahme) geophysikalische Methoden anwendbar.

Um Radionuklidfreisetzungen in der Betriebsphase des Endlagers zu erkennen, stellt die wiederkehrende Entnahme von Wischproben und die Messung der Abluft auf Radionuklide hin eine grundsätzlich geeignete Methode dar. Gegenüber einer Probenahme in der Umgebung kann durch Probenahme im Grubenbauwerk bzw. durch Überwachung der Abluft eine zuverlässigere Überwachung erfolgen, da Medien mit zu erwartender höherer Nuklidkonzentration erfasst werden.

4.3 Safeguardsmaßnahmen in der Nachbetriebsphase

In der Nachbetriebsphase sollen die Abfallgebinde möglichst effektiv von der Biosphäre getrennt gehalten werden. Sofern keine rückholbare Lagerung angestrebt wird, sind die Abfallgebinde dann nicht mehr zugänglich. Die Aufrechterhaltung von Zugängen (begehrbar oder zur Übertragung von Daten aus dem Einlagerungsbereich nach außen) ist in diesem Fall nicht möglich, da die vorrangigen Sicherheitsaspekte dem entgegenstehen.

Wenn während des Betriebs des Endlagers einzelne Bereiche bereits verschlossen werden, ist die Verifikation der Beibehaltung des Verschlusses durch die Safeguardsmaßnahmen möglich, die weiterhin für die betriebenen Teile benötigt werden (Inspektionen, Probenahme etc.).

Bei einigen möglichen Überwachungsmaßnahmen in der Nachbetriebsphase (seismische Messungen, akustische Messungen, Widerstandsmessungen) ist noch nicht abschließend geklärt ob sie sich grundsätzlich oder für einzelne Standorte zur Verifikation der Unversehrtheit des Endlagers eignen (siehe Kapitel 3.2.2). Mit der Luft- und Satellitenüberwachung lassen sich aber großräumig relativ detaillierte Erkenntnisse über Vorgänge an der Erdoberfläche gewinnen. Da die Aktivitäten, die durch die Überwachung erkannt werden müssen, nicht sehr kurzfristig durchführbar sind, ist eine zeitlich lückenlose Überwachung nicht erforderlich.

Die Luft- und Satellitenüberwachung kann ergänzt werden durch Probenahmen in der Umgebung des verschlossenen Endlagers, um Freisetzungen radioaktiver Stoffe, von denen bei einem erneuten Öffnen (mit zunehmender Stärke mit der Zeit nach Verschluss des Endlagers) auszugehen ist, festzustellen.

Anhang Safeguards

Sofern sich nicht erklärbare Auffälligkeiten aus der Luft- und Satellitenüberwachung oder der Probenahme ergeben, sind Inspektionen zur Verifikation möglich.

Die Safeguardsmaßnahmen werden zeitlich unbegrenzt durchgeführt, solange die vertraglichen Bedingungen dazu gegeben sind und eine Einrichtung existiert, die für die Durchführung dieser Maßnahmen zuständig ist. Ein technisches Limit für geeignete Safeguardsmaßnahmen besteht nicht.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In einem Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle sind stets auch Materialien enthalten, die zum Bau von Kernwaffen verwendet werden könnten. Dies gilt unabhängig davon, ob abgebrannte Brennelemente direkt endgelagert werden oder deren Wiederaufarbeitung verfolgt wird. Staaten, die den Nichtverbreitungsvertrag unterzeichnet haben, müssen daher die Überwachung des Endlagers durch Maßnahmen zulassen, die darauf abzielen, die Weiterverbreitung (Proliferation) von Kernwaffen möglichst zu verhindern. Diese Maßnahmen werden international als „Safeguards“ bezeichnet (im Deutschen auch als Kernmaterialüberwachung, Spaltmaterialüberwachung oder Spaltstoffflusskontrolle). Die Maßnahmen haben das zentrale Ziel, die Abzweigung von Material für militärische Zwecke durch einen Staat zu entdecken.

In Schweden und Finnland, beides Staaten, die keine Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente verfolgen, ist im internationalen Vergleich die Planung der Endlager weit fortgeschritten. Weit fortgeschritten sind dort daher auch die Planungen der Umsetzung von Safeguardsmaßnahmen im Endlager.

Für jede Art zu überwachenden Materials ist festgelegt, innerhalb welchen Zeitraums die Abzweigung entdeckt werden soll und wie groß die „signifikante Menge“ ist, deren Abzweigung erkannt werden soll. Je Schnelligkeit, mit der Material für eine Kernwaffe direkt oder indirekt genutzt werden kann, betragen die Entdeckungszeiten ein bis zwölf Monate. Die signifikante Menge beträgt zwischen 8 kg und 20 Mg.

Grundsätzliche Safeguardstechniken sind die Bilanzierung, die Surveillance (z. B. Überwachung mit Kameras) und das Containment (räumliche Einteilung in Bilanzierungszonen mit Überwachung der Ein- und Ausgänge). Zu Überwachungszwecken während der Betriebsphase können in einem Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle Siegel (mechanisch oder elektronisch), Strahlungsmonitore, Bewegungsmelder, Kameras, Seillastüberwachungen (am Förderkorb) und Infrarotkameras eingesetzt werden. Weitere Möglichkeiten der Überwachung bestehen in Georadar zur Identifizierung unterirdischer Hohlräume sowie in Nuklidmessungen im Endlager oder in dessen Abwetter zur Erkennung von Behälteröffnungen. In der Nachbetriebsphase ist eine Luft- und Satellitenüberwachung möglich sowie seismische Messungen, akustische Messungen und Widerstandsmessungen.

Anhang Safeguards

Es stehen damit Techniken zur Verfügung, die eine zuverlässige Überwachung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle und der darin enthaltenen für die Herstellung von Kernwaffen verwendbaren Stoffe gewährleisten. Dies gilt sowohl für die Betriebsphase des Endlagers als auch für die Phase des Nachbetriebs.

Voraussetzung der zuverlässigen Überwachung ist die Abstimmung des Designs des Endlagers auf die Belange der Safeguards. Dies ist für alle in Diskussion befindlichen Gesteine und Formationen möglich, ohne dass Abstriche im Hinblick auf Sicherheitsaspekte notwendig wären. Durch die Implementierung von Safeguardsmaßnahmen ergibt sich kein Vorrang für eine bestimmtes Gestein oder eine bestimmte Formation, da international Konsens darüber besteht, dass Sicherheitsaspekten Vorrang vor Safeguardsaspekten zu gewähren ist.

Das derzeit in Deutschland favorisierte Konzepte der Endlagerung, in dem die Abfälle nicht rückholbar eingelagert werden, hat sowohl im Hinblick auf die Anforderungen, die sich an die Safeguardsmaßnahmen stellen als auch in sicherheitstechnischer Hinsicht deutliche Vorteile gegenüber dem rückholbaren Endlagerung.

Zur Safeguards-Thematik in einem Endlager für wärmentwickelnde Abfälle besteht weder regulatorischer noch F+E-Bedarf /RSK 06/.

6 Literatur

Hinweis: Dieses Literaturverzeichnis enthält alle in diesem Anhang zitierte Literatur.

- /BMI 80/ Der Bundesminister des Innern: Grundsätze zur Entsorgungsvorsorge für Kernkraftwerke vom 19. März 1980. - BAnz. 1980, Nr. 58
- /FAT 99/ Fattah, A.: Safeguards Policy and Strategies: An IAEA Perspective for Spent Fuel in Geological Repositories. - International Atomic Energy Agency (IAEA)/Department of Safeguards, EPR-55; Wien, Oktober 1999
- /IAE 72/ International Atomic Energy Agency (IAEA): The Structure and Content of Agreements Between the Agency and States Required in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons. – Information Circular INFCIRC/153 (corrected); Wien, June 1972
- /IAE 97/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Model Protocol Additional to the Agreement(s) between State(s) and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards. - INFCIRC/540, Wien, September 1997
- /IAE 03/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Safeguards Techniques and Equipment. – International Nuclear Verification Series No. 1 (Revised), 2003 Edition; Wien, 2003
- /NPT 68/ Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons. London, Moskau und Washington, 01.07.1968
- /OKK 04/ Okko, O., Rautjärvi, J.: Safeguards for the geological repository of Olkiluoto in the pre-operational phase. - Final report on Task FINSP C 01374 of the Member States' Support Programme to IAEA Safeguards. - Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), STUK-YTO-TR 208; Helsinki, Mai 2004
- /RAU 04/ Rauf, T.: Drawing Safeguards Conclusions. – Presentation to the 2004 NPT Preparatory Committee; Wien, 29.04.2004, abrufbar unter:
<http://www.iaea.org/NewsCenter/Focus/NPT/npt2004-ppt-2904.pdf>

Anhang Safeguards

- /REM 04/ Remagen, H.H., Richter, B., Kranz, H., Stier-Friedland, G.: Internationale Kernmaterialüberwachung („Safeguards“) bei der Direkten Endlagerung in relevanten geologischen Formationen in Deutschland, abrufbar unter: http://www.bfs.de/de/transport/publika/endlager/AG_3_Konzeptgrund_Safeguards.pdf
- /RSK 06/ Reaktor-Sicherheitskommission: RSK-Stellungnahme zum Synthesebericht des BfS „Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle – Wirtsgesteine im Vergleich“. – 13.09.2006 (395. Sitzung)
- /VAG 00/ Ausführungsgesetz zu dem Übereinkommen vom 5. April 1973 zwischen den Nichtkernwaffenstaaten der Europäischen Atomgemeinschaft, der Europäischen Atomgemeinschaft und der Internationalen Atomenergie-Organisation in Ausführung von Artikel III Abs. 1 und 4 des Vertrages vom 1. Juli 1968 über die Nichtverbreitung von Kernwaffen (Verifikationsabkommen) sowie zu dem Zusatzprotokoll zu diesem Übereinkommen vom 22. September 1998 (Ausführungsgesetz zum Verifikationsabkommen und zum Zusatzprotokoll – VerifZusAusfG) vom 21. Januar 2000. - BGBl I vom 8.2.2000, S. 74ff
- /VZG 00/ Gesetz zu dem Zusatzprotokoll vom 22. September 1998 zu dem Übereinkommen vom 5. April 1973 (Verifikationsabkommen) zwischen den Nichtkernwaffenstaaten der Europäischen Atomgemeinschaft, der Europäischen Atomgemeinschaft und der Internationalen Atomenergie-Organisation in Ausführung von Artikel III Absätze 1 und 4 des Vertrages über die Nichtverbreitung von Kernwaffen vom 21. Januar 2000. – BGBl II vom 7.2.2000, S. 70ff

7 Weiterführende Literatur

Hinweis: Dieses Verzeichnis enthält als Ergänzung wichtige weiterführende Literatur zum Thema dieses Anhangs, die in diesem Anhang nicht explizit zitiert wurde. Zitierte Literatur findet sich im Literaturverzeichnis.

Bundesamt für Strahlenschutz: Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle – Wirtsgesteine im Vergleich. – Synthesebericht des Bundesamtes für Strahlenschutz; Salzgitter, 04.11.2005

International Atomic Energy Agency (IAEA): Guidance and considerations for the implementation of INFCIRC/225/Rev. 4, The Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities. – IAEA-TECDOC-967 (Rev. 1); Wien, Mai 2000

International Atomic Energy Agency (IAEA): Monitoring of geological repositories for high level radioactive waste. – IAEA-TECDOC-1208; Wien, April 2001

International Atomic Energy Agency (IAEA): The Safeguards System of the International Atomic Energy Agency ("The Agency"). – www.iaea.org

Kommission der Europäischen Gemeinschaften: COMMISSION REGULATION (Euratom) No 302/2005 of 8 February 2005 on the application of Euratom safeguards. - Official Journal of the European Union L 54/1, 28.2.2005

Kommission der Europäischen Gemeinschaften: COMMISSION RECOMMENDATION of 15 December 2005 on guidelines for the application of Regulation (Euratom) No 302/2005 on the application of Euratom safeguards (notified under document number C(2005) 5127) (2006/40/Euratom). - Official Journal of the European Union L 28/1, 1.2.2006

Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra): Projekt Opalinuston – Konzept für die Anlage und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers – Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle. – Wettingen,

Dezember 2002 (Kapitel 7 „Kontrolle und Überwachung, Physischer Schutz von Kernmaterialien (Safeguards)“)

Richter, B.: International Nuclear Material Safeguards for the Direct Final Disposal of Spent Fuel Assemblies. – Nuclear Technology, Vol. 121, Feb. 1998, S. 162-167

Berichte des Deutschen IAEO-Safeguards-Unterstützungsprogramms (nach /REM 04/):

Alheid, A.-J., Leydecker, G., Lüdeling, R., Richter, B., Eilers, G., Kranz, H.: Seismological Monitoring of the Gorleben Site and its Vicinity. - JOPAG/10.98-PRG-283

Brückner, C., Engelmann, H.-J., Kranz, H.: The Direct Disposal of Spent Fuel - Description of the Provisional Plant Design, the Nuclear Material, and the Provisional Concepts for its Handling and Emplacement. – JOPAG/07.90-PRG-202

Eilers, G., Kranz, H., Seidel, K., Scheibe, R., Schulze, E., Remagen, H.H.: Evaluation of the Applicability of some Geophysical Techniques for Geological Repository Safeguards in a Salt Dome. - JOPAG/05.97-PRG-280

Eisenburger, S., Greinwald, F., Sender, F., Sievers, J., Schuricht, R., Thierbach, R., Richter, B.: Geophysical Monitoring of Spent Fuel Final Disposal Casks Embedded in Rock Salt Using Ground Penetrating Radar – A Feasibility Study. - JOPAG/01.98-PRG-285

Engelmann, H.-J., Biurrun, E., Hubert, R., Lommerzheim, A., Pöhler, M., Richter, B.: Study on the Retrievability of Spent Fuel from a Closed Geological Repository in Rock Salt. - JOPAG/12.96-PRG-273

Remagen, H.H., Richter, B., Rudolf, K.: Reference Concept for Nuclear Material Safeguards in a Geological Repository for Spent Nuclear Fuel. - JOPAG/12.93-PRG-205

Anhang Safeguards

Rezniczek, B., Richter, B., Stein, G.: Application of PASE for the Analysis of Diversion Paths in the Direct Final Disposal of Spent Nuclear Fuel. - JOPAG/09.91-PRG-220

Rezniczek, B., Richter, B., Stein, G.: Considerations on Diversion Analysis and the Design of a Safeguards Approach, A Case Study of a Geological Repository for Final Disposal of Spent Fuel. - JOPAG/03.94-PRG-247

Richter, B., Stein, G.: International Nuclear Material Safeguards for Direct Final Disposal. - JOPAG/07.90-PRG-203

Richter, B. (editor): Development of a Safeguards Concept for the Final Disposal of Spent Fuel Assemblies. - JOPAG/05.91-PRG-215

Richter, B.: International Safeguards for Direct Final Disposal of Spent Fuel in an Irretrievable Storage Facility. - JOPAG/06.93-PRG-241

Rudolf, K., Weh, R., Richter, B.: Possible Identity and Integrity Verification During Transport and Storage of Spent Fuel Casks of the CASTOR and POLLUX Types. - JOPAG/07.94-PRG-250

Rudolf, K., Weh, R., Netzelmann, U., Richter, B., Giersch, G., van der Eecken, D.: Ultrasound Reader for Pollux Cask Seals. - JOPAG/07.96-PRG-270

Rudolf, K., Noll, R., Richter, B.: Verification of Pollux Cask Seals by Laser Techniques. - JOPAG/05.97-PRG-277

Seidel, K., Scheibe, R., Schuck, A., Eilers, G., Kranz, H., Richter, B.: Model Investigations on the Applicability of Active Seismic Reflection Methods in the Monitoring of Design Information of Repositories in a Salt Dome. - JOPAG/09.99-PRG-302

Seidel, K.: Geophysical Techniques for Safeguards Purposes – State and Prospects. - JOPAG/05.02-PRG-334

Spilker, H., Hüggenberg, R.: Status of Development and Texting of the Final Disposal Cask for Spent Fuel in Germany. - JOPAG/10.94-PRG-254