



STELLUNGNAHME

Anforderungen an bestrahlte Brennelemente aus entsorgungstechnischer Sicht

Inhalt

	Seite
1 Einleitung und Gegenstand der Stellungnahme	2
2 Beratungsauftrag des BMU	2
3 Hergang der Beratungen.....	2
4 Bewertungsgrundlagen	2
5 Stellungnahme.....	3
5.1 Sachverhalte	3
5.1.1 Sachverhalt bei der Entsorgung von Brennelementen aus Kernkraftwerken	3
5.1.2 Sachverhalt hinsichtlich des Abbrandes bei den vom Moratorium betroffenen Kernkraftwerken.....	5
5.1.3 Sachverhalt hinsichtlich des Einsatzes von Mischoxid-Brennelementen in Kernkraftwerken.....	6
5.2 Bewertung der Schritte der Entsorgung von weniger abgebrannten Brennelementen hinsichtlich Kapazitäten, Mindestabbränden und Plutoniumvektor	9
5.2.1 Brennelemente im Reaktorgebäude	9
5.2.2 Brennelemente in Zwischenlagerbehältern.....	11
5.2.3 Vorbereitung zur Endlagerung	13
5.2.4 Endlagerung.....	14
5.2.5 Bewertung hinsichtlich schadloser Verwertung des Plutoniums.....	15
6 Beantwortung der BMU-Fragen	16
6.1 „Welche Anforderungen sind aus entsorgungstechnischen Gründen an die Mindestabbrände von Brennelementen zu stellen?“	16
6.2 „Welcher Plutoniumvektor sollte bei bestrahlten Uran- und MOX-Brennelementen unter Sicherheits- und Sicherungsanforderungen angestrebt werden?“	17
6.3 Zeitfenster für Plutonium-Verwertung.....	17
7 Unterlagen	19

1 Einleitung und Gegenstand der Stellungnahme

Vor dem Hintergrund der Ereignisse in den japanischen Kernkraftwerken Anfang März 2011 erwägt die Bundesregierung die sofortige dauerhafte Betriebseinstellung einer Reihe von Kernkraftwerken. Im Zuge dieser Maßnahmen sind Überlegungen zur Entsorgung der bestrahlten Brennelemente aus diesen Kernkraftwerken anzustellen. Insbesondere sind dabei diejenigen Brennelemente zu betrachten, die erst beim letzten Brennelementwechsel im jeweiligen Kernkraftwerk erstmalig eingesetzt wurden, denn diese weisen im Vergleich zu höher abgebrannten Brennelementen einen anderen Gehalt an Uran- und Plutoniumisotopen auf.

2 Beratungsauftrag des BMU

Im Zusammenhang mit der in Erwägung gezogenen dauerhaften Betriebseinstellungen einiger LWR-Anlagen hat der Bundesumweltminister die ESK um die kurzfristige Erarbeitung einer ESK-Stellungnahme zu folgenden Fragestellungen gebeten [1]:

- (1) Welche Anforderungen sind aus entsorgungstechnischen Gründen an die Mindestabbrände von Brennelementen zu stellen?
- (2) Welcher Plutoniumvektor sollte bei bestrahlten Uran- und MOX-Brennelementen unter Sicherheits- und Sicherungsanforderungen angestrebt werden?

Entsprechend den Verträgen, zwischen den deutschen Energieversorgungsunternehmen und den Wiederaufarbeitungsunternehmen im europäischen Ausland müsste, so das BMU in [1] weiter, dass bei der Wiederaufarbeitung gewonnene Plutonium in Form von Mischoxid(MOX)-Brennelementen in den Kernkraftwerken in Deutschland eingesetzt werden. Für diesen Einsatz sei ein gewisses Zeitfenster erforderlich, um die vollständige Verwertung des bei der Wiederaufarbeitung angefallenen Plutoniums bis zum Ende der Kernenergienutzung in Deutschland zu gewährleisten.

3 Hergang der Beratungen

Die ESK hat sich auf ihrer 18. Sitzung am 27.05.2011 mit den Sachverhalten befasst. Nach Diskussion hat die ESK die folgende Stellungnahme verabschiedet.

4 Bewertungsgrundlagen

Maßgabe für die sicherheitstechnische Bewertung der Entsorgung bestrahlter Brennelemente aus Leistungsreaktoren durch die ESK ist das Atomgesetz [2], insbesondere der mit § 7 Absatz 2 AtG geforderte Nachweis der nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderlichen Vorsorge gegen Schäden. Die

radiologischen Schutzziele der erforderlichen Vorsorge werden in der Strahlenschutzverordnung [3] präzisiert.

Weitere übergeordnete Bewertungsmaßstäbe für Teilschritte der Entsorgung sind

- die RSK-Empfehlung „Sicherheitstechnische Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente in Behältern“ [4] und die
- „Sicherheitsanforderungen für die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle“ [5].

Grundsätzlich ist bei der vorzunehmenden Bewertung als Maßstab anzulegen, dass alle Aspekte hinsichtlich der

- **Sicherheit** (Gewährleistung der Sicherheit des abgebrannten Brennstoffes, insbesondere zur Verhinderung der Freisetzung von radioaktiven Stoffen, Abschirmung der Strahlung sowie Gewährleistung der Unterkritikalität)
- **Sicherung** (Gewährleistung der Sicherheit des abgebrannten Brennstoffes gegen unbefugte Einwirkungen Dritter und gegen Entwendung) sowie
- **Safeguards** (Spaltstoffflusskontrolle - Gewährleistung der Nicht-Abzweigung zum militärischem Gebrauch, hier insbesondere die Einhaltung der entsprechenden Bestimmungen im Rahmen des Nichtverbreitungsübereinkommens, zu denen sich die Bundesrepublik Deutschland verpflichtet hat)

betrachtet werden.

Unter allen drei Aspekten Sicherheit, Sicherung und Safeguards ist ein Vergleich des „sofortigen Abschaltens“ mit der Entsorgung nach Erreichen des „Zielabbrandes“ erforderlich. Als „Zielabbrand“ wird hier der Zustand definiert, der sich ergibt, wenn ein Brennelement seine vorgesehenen Einsatzyklen vollständig durchläuft und dadurch den auslegungsgemäßen Abbrand erreicht. Der Zustand des „sofortigen Abschaltens“ ist dadurch charakterisiert, dass eine Reihe von Kernkraftwerken, die derzeit abgeschaltet sind, nicht wieder angefahren werden. Dadurch verbleibt ein Teil ihrer Brennelemente in einem Zustand niedrigeren Abbrandes verglichen mit dem „Zielabbrand“. Der Vergleich erfolgt unter der Fragestellung, ob sich eine Erhöhung der Risiken durch das „sofortige Abschalten“ im Vergleich mit dem Abschalten bei Erreichen des „Zielabbrandes“ ergibt.

5 Stellungnahme

5.1 Sachverhalte

5.1.1 Sachverhalt bei der Entsorgung von Brennelementen aus Kernkraftwerken

Die Brennelemente müssen nach letztmaliger Bestrahlung im Reaktor folgende Schritte durchlaufen:

- Nach dem Abschalten befinden sich die Brennelemente noch im Reaktordruckbehälter. Dabei müssen die erforderlichen Sicherheitssysteme des Reaktors (z. B. Kühlsysteme zur Nachwärmeabfuhr, Unterdruckhaltung der Gebäudeatmosphäre, Überwachungssysteme) weiter betrieben werden. Die sicherheitstechnische Auslegung ist kraftwerksspezifisch.

- Umladung in das Nasslagerbecken. Sobald die vorgesehene Verbindung zum Brennelementlagerbecken hergestellt und geflutet ist und der Reaktordruckbehälter geöffnet, können die Brennelemente mit der Brennelementwechsellmaschine aus dem Reaktor in das Lagerbecken umgesetzt werden. Dieser Prozess geschieht regelmäßig beim Brennelementwechsel. Das Umsetzen kann frühestens einige Tage nach Abschalten des Reaktors erfolgen. Für längere Verweilzeiten gibt es keine Limitierungen, da die Brennelemente prinzipiell auch längere Zeit im Reaktordruckbehälter ohne zusätzliche Sicherheitsprobleme verbleiben können.
- Lagerung im Nasslagerbecken. Die umgeladenen Brennelemente werden im kraftwerksinternen Brennelementlagerbecken (Nasslagerbecken) für einige Jahre zwischengelagert. Das Lagerbecken befindet sich im Reaktorgebäude innerhalb des Containments (bei Druckwasserreaktoren) bzw. im Reaktorgebäude, aber außerhalb des Containments (bei Siedewasserreaktoren). Es ist in der Regel mit Brennelementen belegt, die aus den Brennelementwechseln der vorangegangenen Jahre stammen. Dabei ist in den Betriebsgenehmigungen jedes Kernkraftwerkes festgelegt, dass immer mindestens soviel Brennelementpositionen im Lagerbecken freizuhalten sind, dass der vollständige Reaktorkern jederzeit umgehend in das Lagerbecken umgeladen werden kann. Zum Betrieb des Lagerbeckens und zur Gewährleistung seiner Sicherheit müssen die erforderlichen Sicherheitssysteme (z. B. Kühlwassersysteme zur Nachwärmeabfuhr, Unterdruckhaltung der Gebäudeatmosphäre, Überwachungssysteme) auch nach Abschaltung des Reaktors weiter betrieben werden. Wenn die Brennelemente aus dem Brennelementlagerbecken entfernt sind, kann ein Teil dieser Sicherheitssysteme außer Betrieb genommen werden. Die sicherheitstechnische Auslegung ist kraftwerksspezifisch. Die Zeit für das Verbleiben von Brennelementen im Lagerbecken ist in den bestehenden Betriebsgenehmigungen nicht limitiert.
- Umladung in Zwischenlagerbehälter. Die Brennelemente können im Lagerbecken in Behälter zum Transport bzw. Behälter für die trockene Zwischenlagerung (z. B. CASTOR[®]) umgeladen werden. Diese Behälter werden noch innerhalb des Reaktorgebäudes verschlossen und die Einhaltung der Genehmigungsanforderungen (u. a. der Dichtheit) überprüft. Danach werden die Behälter aus dem Reaktorgebäude ausgeschleust. Die Umladung der Brennelemente aus dem Lagerbecken in die Behälter kann ab dem Zeitpunkt erfolgen, an dem die Randbedingungen der Behälterzulassung sowie der Technischen Annahmebedingungen der Zwischenlager eingehalten werden. Relevante Grenzen ergeben sich hier insbesondere durch die noch freigesetzte Nachwärme, durch die Anforderungen zur Unterkritikalität sowie die Quellstärken der Gamma- und Neutronenstrahlung, aus denen die Gamma- und Neutronendosisleistung an der Behälteroberfläche resultiert. Typischerweise sind die Auslegungswerte für Zwischenlagerbehälter nach etwa fünf Jahren Abklingzeit nach Abschalten und Entladung der entsprechenden Brennelemente aus dem Reaktor erreicht.
- Zwischenlagerung im Behälterlager. Die aus dem Reaktorgebäude ausgeschleusten Lagerbehälter werden in ein Trockenlager gebracht. Dieses befindet sich auf dem jeweiligen Kraftwerksgelände. Das Trockenlager ist eine vom Kraftwerk sicherheitstechnisch getrennte Anlage, die die Anforderungen nach [4] erfüllt. Die Abfuhr der Nachzerfallswärmeleistung des Behälterinventars aus dem Trockenlager erfolgt ohne aktive Komponenten passiv durch in Naturkonvektion vorbeistreichende Außenluft und durch Wärmestrahlung. Daher ist keine Energie- und keine Kühlwasserversorgung für die Aufrechterhaltung der Abfuhr der Nachzerfallswärmeleistung erforderlich. Die Anlagen bzw. die Behälter sind gegen massive

Einwirkungen von außen geschützt, auch gegen den Absturz eines großen Flugzeugs und nachfolgenden Treibstoffbrand. Die Zwischenlager sind für 40 Jahre Betriebszeit genehmigt. Die vorhandenen Zwischenlager sind bereits mit gefüllten Lagerbehältern teilbelegt. Die Gesamtkapazität des jeweiligen Lagers ist aber so ausgelegt, dass - ausgehend von den im damaligen Atomgesetz von 2002 festgeschriebenen Reststrommengen - alle Brennelemente aus dem Betrieb des bzw. der zugehörigen KKW aufgenommen werden können und darüber hinaus gewisse Kapazitätsreserven bestehen.

- Vorbereitung zur Endlagerung. Je nach vorgesehenem Endlagerkonzept (siehe unten) müssen die Brennelemente aus den Zwischenlagerbehältern entladen, konditioniert und in das Endlagergebäude (Endlagerbehälter, Endlagerkokille) eingebracht werden. Diese Vorgänge werden fernbedient in einer Anlage mit einer entsprechend geräumigen heißen Zelle durchgeführt. Die Pilotkonditionierungsanlage (PKA) in Gorleben ist eine solche Einrichtung. Alternativ zum Umpacken wird zurzeit geprüft, ob die Zwischenlagerbehälter direkt als Endlagerbehälter genutzt werden können; dadurch würde ein Umpacken entfallen.
- Endlagerung. Die Endlagerung erfolgt in einem Endlagerbergwerk für abgebrannte Brennelemente und hochradioaktive Abfälle. Dieses Endlager ist nach heutigem Stand zur Aufnahme aller Brennelemente und hochradioaktiver Abfälle vorgesehen, die aus dem Betrieb der deutschen Kernkraftwerke anfallen werden. Der Standort und das technische Design für dieses Endlager sind noch nicht endgültig festgelegt. Die Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle [5] enthalten jedoch bereits die wesentlichen Anforderungen. Die zurzeit in Diskussion befindlichen Konzepte, die diese Anforderungen erfüllen sollen, gehen von einer Lagerung entweder unzerlegter Brennelemente oder von Brennstäben aus. Diese werden entweder in einen dickwandigen Endlagerbehälter oder in eine Endlagerkokille verpackt. Geprüft wird auch die direkte Nutzung von Zwischenlagerbehältern als Endlagerbehälter. Die Endlagerbehälter werden zur Streckenlagerung vorgesehen, die Endlagerkokillen sollen in Bohrlöchern innerhalb des Endlagerbergwerks eingelagert werden. Die Einlagerung in ein Endlager kann dann beginnen, wenn das Endlager errichtet und in Betrieb genommen ist. Es wird heute von einer Zeitspanne von ca. 30 bis 60 Jahren für den eigentlichen Einlagerungsbetrieb ausgegangen.

5.1.2 Sachverhalt hinsichtlich des Abbrandes bei den vom Moratorium betroffenen Kernkraftwerken

Die in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgelisteten Kernkraftwerke sind derzeit in der Diskussion bezüglich einer dauerhaften Betriebseinstellung. In den Kernkraftwerken befinden sich Brennelemente, die teilweise nur zwischen 11 und rund 300 Volllasttagen bestrahlt wurden. Die Anlagen KKK und KKB liegen schon seit vielen Monaten vorübergehend still, der letzte Betriebszyklus hat jeweils 11 bzw. 29 Volllasttage betragen.

Typ	Anlage	Standort	max. Anreicherung laut Genehmigung	Letzte Revision	Anzahl neue BE	KKW abgefahren am
-----	--------	----------	------------------------------------	-----------------	----------------	-------------------

SWR	KKB	Brunsbüttel	4,02%	11.04.-02.06.07	76	18.07.07
SWR	KKK	Krümmel	4,00%	4.-26.08.07	104	04.07.09
DWR	KKU	Unterweser	4,40%	7.-30.08.10	40	19.03.11
DWR	KWB-A	Biblis	4,00%	17.09.-21.10.10	44	19.03.11
DWR	KWB-B	Biblis	4,00%	11.11.-7.12.10	92	26.02.11
SWR	KKP-1	Philippsburg	4,40%	12.04.-14.05.10	112	16.03.11
DWR	GKN-1	Neckarwestheim	4,40%	25.10.-23.12.10	40	16.03.11
SWR	KKI-1	Isar	4,70% ¹	10.09.-24.10.10	136	18.03.11

Tabelle 1: Übersicht über die möglicherweise dauerhaft stillgelegten Kernkraftwerke

Damit ergeben sich für die beim letzten Brennelementwechsel neu eingesetzten Brennelemente Abbrände im Bereich von einigen hundert (KKB, KKK) bis einigen tausend MWd/t_{SM}. Im Vergleich zu den Zielabbränden von 40.000 bis ca. 65.000 MWd/t liegen die erreichten Abbrände also deutlich niedriger. Dies hat Auswirkungen auf verschiedene physikalische Eigenschaften dieser teilabgebrannten Brennelemente:

- Nach einer vergleichsweise kurzen Abklingzeit liegen die Nachwärmeproduktion und die Gamma-Quellstärken niedriger.
- Die Neutronenquellstärke liegt niedriger, weil weniger (α , n) Reaktionen und weniger Spontanspaltungen stattfinden.
- Der Gehalt an spaltbarem Uran-235 ist höher, weil das ursprünglich vorhandene Uran-235 nur zum Teil durch Spaltung verbraucht wurde.
- Bei Uran-Brennelementen ist der Gehalt an Plutonium geringer, weil aufgrund der geringeren Einsatzzeit im Reaktor weniger Plutonium aufgebaut wurde.
- Die Isotopenzusammensetzung des aufgebauten Plutoniums weist einen höheren prozentualen Anteil an Pu-239 auf, als Plutonium aus höher abgebrannten Brennelementen.

Außerdem ist zu beachten, dass einige dieser teilabgebrannten Brennelemente den für die derzeitigen Behältergenehmigungen erforderlichen Mindestabbrand nicht aufweisen.

5.1.3 Sachverhalt hinsichtlich des Einsatzes von Mischoxid-Brennelementen in Kernkraftwerken

Früher wurde ein Teil der Brennelemente aus dem Betrieb deutscher Kernkraftwerke wiederaufgearbeitet. Der letztmalige Transport zur Wiederaufarbeitung erfolgte gemäß den Festlegungen in § 9a (1) des Atomgesetzes vor dem 01.07.2005.

Bei der Wiederaufarbeitung wird neben Uran das entstandene Plutonium abgetrennt, dieses ist gemäß vertraglichen Festlegungen vom entsprechenden Kernkraftwerksbetreiber zurückzunehmen und gemäß § 9a

¹ Es handelt sich um einen Maximalwert, gemittelt über alle Brennstäbe eines Brennelementes im angereicherten Teil. Die über ein gesamtes Brennelement gemittelte Anreicherung ist niedriger.

des Atomgesetzes einer schadlosen Verwertung zuzuführen oder zur schadlosen Verwertung an Dritte innerhalb der Europäischen Union bzw. der Schweiz abzugeben.

Der Nachweis der schadlosen Verwertung wird derzeit über den Einsatz von MOX-Brennelementen in deutschen Kernkraftwerken erbracht.

Genehmigungen für den MOX-Einsatz

Die Situation hinsichtlich der Genehmigung für den Umgang mit MOX ist der folgenden Aufstellung zu entnehmen.

- Folgende KKW haben eine Genehmigung zum MOX-Einsatz und setzen MOX ein:

	MOX-BE pro Nachladung		Max. MOX-Menge im Core		Max. Anteil MOX-BE im Core (%)
	Anzahl	t _{SM}	Anzahl	t _{SM}	
DWR Brokdorf	16	8,5	64	34,1	33
DWR Isar 2	24	12,7	96	50,9	50
DWR Neckarwestheim 2	24	12,8	72	38,4	37
DWR Philippsburg-2	20	10,6	96	50,9	37
SWR Gundremmingen B	68	11,8	300	52,2	38
SWR Gundremmingen C	68	11,8	300	52,2	38
DWR Emsland	12	6,4	48	25,6	25

Tabelle 2: Anlagen, die eine Genehmigung zum MOX-Einsatz besitzen und MOX-BE einsetzen

- Folgende KKW haben eine Genehmigung zum MOX-Einsatz, setzen aber zurzeit kein MOX ein:

	MOX-BE pro Nachladung		Max. MOX-Menge im Core		Max. Anteil MOX-BE im Core (%)
	Anzahl	t _{SM}	Anzahl	t _{SM}	
DWR Grohnde	16	8,5	64	34,1	33
DWR Unterweser	24	8,5	64	34,1	33
DWR Grafenrheinfeld	16	8,5	64	34,1	33
DWR Neckarwestheim-1	16	5,7	16	5,7	9

Tabelle 3: Anlagen, die eine Genehmigung zum MOX-Einsatz besitzen, aber zurzeit keine MOX-BE einsetzen

- Folgende KKW haben zurzeit keine Genehmigung zum MOX-Einsatz: Biblis Block A und B, Brunsbüttel, Krümmel, Philippsburg-1 und Isar-1

Damit ergibt sich, dass keines der in der Tabelle 1 aufgeführten derzeit stillgelegten Kernkraftwerken MOX einsetzt, sondern nur Anlagen, die voraussichtlich einige Jahre länger laufen werden.

Aktueller und geplanter MOX-Einsatz

Bezüglich des tatsächlichen MOX-Einsatzes ergibt sich nach Angaben des BMU folgender Stand (Angaben zum 31.12.2009 sind exakt, Angaben zum 31.12.2010 sind nur vorläufig¹):

- Von der insgesamt zu betrachtenden Menge an spaltbarem Pu 239 und Pu 241 (Pu_{fiss}) ist bisher eine Menge von – bis zum 31.12.2009 ca. 31.700 kg Pu_{fiss} (bis zum 31.12.2010 ca. 32.300 kg Pu_{fiss}) – in deutschen Kernkraftwerken eingesetzt bzw. eingesetzt worden. Im Jahr 2009 wurden in den Kernkraftwerken Philippsburg 2, Brokdorf, Isar 2, Gundremmingen B und C sowie Emsland frische MOX-Brennelemente eingesetzt.
- Es verbleibt eine Menge von – ab dem 31.12.2009 ca. 5.700 kg Pu_{fiss} (ab dem 31.12.2010 ca. 5.000 kg Pu_{fiss}) – deren schadlose Verwertung noch erfolgen muss.
 - Davon liegen 592 + 264 = 856 kg Pu_{fiss} in bereits für den Einsatz gefertigten MOX-Brennelementen vor.
 - Der MOX - Neueinsatz in 2011 ist wie folgt geplant:
 - KKI-2: 12 MOX-BE, 294 kg Pu
 - KKE 12 MOX-BE, 298 kg Pu
 - MOX - Neueinsatz in 2011: **592 kg Pu**
 - Der MOX - Neueinsatz in 2012 ist wie folgt geplant:
 - KKI-2 12 MOX-BE, 294 kg Pu (berechnet)
 - KWG 16 MOX-BE, 264 kg Pu (Anlieferung aus GB)
 - MOX - Neueinsatz in 2012: **558 kg Pu**
 - Davon stehen noch ca. 3.600 kg Pu_{fiss} als in der MOX-Fertigung in den nächsten Jahren einsetzbar zur Verfügung.
 - Davon sind ca. 1.200 kg Pu_{fiss} noch nicht in einer Form, die in der MOX-Fertigung eingesetzt werden kann (Begründung: eine Restmenge abgebrannter Brennelemente von ca. 170 t_{SM} muss in der Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield noch aufgearbeitet werden).

¹ Größere Werte sind auf volle 100 kg aufgerundet.

Der geplante MOX - Neueinsatz von 2013 bis 2019 ist der folgenden Tabelle zu entnehmen (die Mengen Pu_{fiss} sind berechnet):

KKW	Jahr	MOX - BE	Pu_{fiss} (kg)	
KKI-2	2013	12	294	
KBR	2013	12	250	
KKI-2	2014	12	294	
KBR	2014	12	250	
KBR	2015	12	250	
GKN-2	2016	16	377	
GKN-2	2017	12	283	
KKE	2017	12	297	
KRB-B/C	2018	112	865	
KKE	2018	12	297	
KKE	2019	4	99	Gesamt: ca 3.600 kg Pu_{fiss}

Tabelle 4: Geplanter MOX-Neueinsatz in den deutschen Kernkraftwerken

Insgesamt ergibt sich ein MOX - Einsatz von 2011 bis 2019 von ca. 4.800 kg Plutonium. Die Verweilzeit der MOX - Brennelemente im Reaktorkern beträgt in der Regel vier bis fünf Jahre.

5.2 Bewertung der Schritte der Entsorgung von weniger abgebrannten Brennelementen hinsichtlich Kapazitäten, Mindestabbränden und Plutoniumvektor

5.2.1 Brennelemente im Reaktorgebäude

Hier sind die Schritte „Verbleiben im Reaktor“, „Umladung in das Nasslagerbecken“, „Lagerung im Nasslagerbecken“ und „Umladung in Zwischenlagerbehälter“ zu betrachten. Gemeinsam ist bei allen Schritten, dass die Systeme und Gebäude des Reaktors bzw. des Kraftwerkes die Sicherheit gewährleisten.

Hinsichtlich der Lagerkapazität ergibt sich Folgendes:

- In den Betriebsgenehmigungen jedes Kernkraftwerkes ist festgelegt, dass soviel Brennelementpositionen im Lagerbecken freizuhalten sind, dass der vollständige Reaktorkern jederzeit umgehend in das Lagerbecken umgeladen werden kann. Hinsichtlich der Lagerkapazität ergibt sich damit, dass bei den infrage stehenden Kernkraftwerken eine Umladung der Brennelemente in das Nasslagerbecken jederzeit möglich sein muss. Im Vergleich des „sofortigen Abschaltens“ mit dem „Zielabbrand“ ergibt sich hier kein anderer Sachverhalt.

Hinsichtlich der Sicherheit bei der Lagerung ist die Situation wie folgt zu bewerten:

- Die notwendige Kühlkapazität für das Nasslagerbecken ist vorhanden. Die Kühlung ist für eine Wärmeleistung ausgelegt, die sich aus einem länger bestrahlten, gerade aus dem Reaktor

ausgeladenen Kern (mit einer Abklingzeit in der Größenordnung von vier Tagen) und zusätzlich einer Belegung aller dann verbleibenden Brennelementpositionen mit älteren abgebrannten Brennelementen ergibt. Der größte Anteil der Wärmeleistung kommt vom gerade ausgeladenen Kern. Da bei einer definitiven Abschaltung nach dem Moratorium bereits ein mehrmonatiges Abklingen der Nachwärmeleistung erfolgt ist, ist jetzt eine geringere Kühlkapazität erforderlich als mit der Auslegung gegeben.

- Die Nasslagerbecken sind hinsichtlich der Kritikalitätssicherheit so ausgeführt, dass auch eine erhebliche Anzahl frischer Brennelemente in den Lagergestellen eingelagert werden kann. Dies ist normalerweise erforderlich, weil frische Brennelemente zunächst in das Nasslager eingebracht werden müssen und erst von dort in den Reaktor eingebracht werden können. Die Lagergestelle sind daher aus boriierten Materialien (Borstahl oder Borcarbideinlagen) aufgebaut, die die Unterkritikalität auch unter diesen Bedingungen gewährleisten. Da die zu entladenden teilabgebrannten Brennelemente geringere Anforderungen hinsichtlich der Einhaltung der Unterkritikalität stellen als frische Brennelemente, ist die Kritikalitätssicherheit in jedem Fall gewährleistet.
- Der Schutz gegen Einwirkungen von außen und von innen sowie gegen Kühlaufschlag wird durch dieselben baulichen Einrichtungen und Sicherheitssysteme gewährleistet wie im „Zielabbrand“.
- Damit ergibt sich im Vergleich des „sofortigen Abschaltens“ mit dem „Zielabbrand“ hinsichtlich der Sicherheit kein anderer Sachverhalt.

Hinsichtlich der Sicherheit bei der Umladung „Reaktor – Lagerbecken“ und „Lagerbecken – Zwischenlagerbehälter“ ergibt sich:

- Die Einrichtungen zur Umladung sowie die Umladungsvorgänge sind so ausgelegt, dass sie sowohl mit frischem Brennstoff als auch mit Brennstoff unterschiedlichen Abbrands durchgeführt werden können. Damit ist auch die Sicherheit beim Umgang mit den jetzt anstehenden teilabgebrannten Brennelementen gewährleistet. Die Situation hinsichtlich der Sicherheit der Trockenlagerbehälter wird weiter unten behandelt.

Hinsichtlich der Sicherung ist beim „sofortigen Abschalten“ grundsätzlich die gleiche Situation gegeben wie beim „Zielabbrand“:

- Die Sicherungsmaßnahmen beziehen sich auf den Schutz des Reaktorgebäudes; da alle hier betrachteten Vorgänge innerhalb dieses Gebäudes stattfinden, gibt es keinen Unterschied hinsichtlich der Wirksamkeit und den Anforderungen an die Sicherung zwischen „sofortigem Abschalten“ und dem „Zielabbrand“.
- Hinzu kommt, dass auch teilabgebrannte Brennelemente mit den hier zu betrachtenden Bestrahlungszeiten von mindestens einigen Wochen eine hohe Eigenstrahlung durch ihren Gehalt an Spaltprodukten aufweisen. Eine unabgeschirmte Handhabung ist damit nicht möglich. Somit sind Vorgänge wie z. B. eine Entwendung nicht mit unauffälligen Maßnahmen zu erreichen.

Hinsichtlich der Spaltstoffflusskontrolle ergibt sich nach derzeitiger Praxis folgende Situation:

- Zur Spaltmaterialüberwachung wird die Bewegung von Brennelementen im Reaktorgebäude mit verschiedenen Methoden überwacht; jedes Brennelement stellt dabei die unter Safeguards-Aspekten zu überwachende Einheit dar, von der die Gehalte an Spaltmaterial bekannt sind. Mit Hilfe der instrumentellen Safeguards-Überwachung ist grundsätzlich jede Bewegung erkennbar, die mit Brennelementen vorgenommen wird. Der Abbrand der Brennelemente spielt dabei keine Rolle.
- Bei der Beladung von Lagerbehältern werden die eingeladenen Brennelemente eindeutig identifiziert und bilanziert. Nach Verschluss und Versiegelung des Behälters stellt dieser die unter Safeguards-Aspekten zu überwachende Einheit dar, da in dem versiegelten und unter Videoüberwachung gestellten Behälter das Inventar nicht verändert werden kann und keine Behälterbewegung unbemerkt erfolgen kann.

5.2.2 Brennelemente in Zwischenlagerbehältern

Hier sind die Schritte „Transport vom Reaktorgebäude zum Zwischenlager“, „Lagerung im Zwischenlager“ und „Abtransport zur Vorbereitung der Endlagerung“ zu betrachten. Gemeinsam ist bei diesen Schritten, dass die Brennelemente sich in massiven verschlossenen Zwischenlagerbehältern befinden. Die Sicherheit wird von den Behältern gewährleistet.

Hinsichtlich der Lagerkapazität ergibt sich Folgendes:

- Die Zwischenlager an den Kernkraftwerken sind in ihrer Kapazität so ausgelegt, dass sie alle Brennelemente aufnehmen können, die im Rahmen des bis 07.12.2010 geltenden „Ausstiegsfahrplans“ anfallen sowie eine zusätzliche Puffermenge. Da die jetzt diskutierte Regelung je nach Anlage (Tabelle 1) zu einem gleichen oder früheren Abschalten führt als ursprünglich geplant, sind für jedes infrage stehende Kernkraftwerk genügend Zwischenlagerkapazitäten vorhanden. Im Vergleich des „sofortigen Abschaltens“ mit dem „Zielabbrand“ ergibt sich hier entweder kein anderer Sachverhalt oder ein etwas günstigerer Zustand.

Bei der trockenen Aufbewahrung von abgebrannten Brennelementen in Behältern wird die Einhaltung der vier grundlegenden Schutzziele:

- sicherer Einschluss der radioaktiven Stoffe,
- sichere Abfuhr der Zerfallswärme,
- sichere Einhaltung der Unterkritikalität und
- Vermeidung unnötiger Strahlenexposition, Begrenzung und Kontrolle der Strahlenexposition des Betriebspersonals und der Bevölkerung

im Wesentlichen durch die Auslegung der dickwandigen metallischen Behälter sichergestellt. In den Genehmigungsverfahren der einzelnen Zwischenlager wurde die Einhaltung der Schutzziele für die jeweils beantragten Brennelement/Behälter Kombinationen geprüft und in den jeweiligen Technischen

Annahmebedingungen der Lager festgelegt. Die in den Technischen Annahmebedingungen festgelegten Spezifikationswerte betreffen sowohl die Behälter als Ganzes (z. B. Gesamtwärmeleistung), als auch Behälterteile (z. B. Dichtheit der einzelnen Barrieren) und die einzelnen Brennelemente (z. B. Anreicherung oder Mindestabbrand). Im Rahmen der bisherigen Genehmigungsverfahren wurden in der Regel Brennelemente betrachtet, deren Kombination von Anreicherung, Abbrand und Abklingzeit zu möglichst abdeckenden Wärmeleistungen und Quellstärken (Gamma und Neutronen) führen. Mit diesen Brennelementen wurden dann unter Zugrundelegung von homogenen oder heterogenen Beladevarianten die Sicherheitsnachweise geführt. Insbesondere hinsichtlich der Abschirmung wurden aber auch Einzelnachweise über die Quellstärken beantragt, geprüft und genehmigt.

Im Folgenden werden die grundsätzlich aus sicherheitstechnischer und genehmigungsrechtlicher Sicht wesentlichen Aspekte betrachtet, unabhängig davon, ob diese in den einzelnen Standortzwischenlagern bereits jetzt genehmigt sind oder nicht.

Hinsichtlich der Sicherheit bei der Lagerung ist die Situation wie folgt zu bewerten:

- Hinsichtlich der Kühlung der beladenen Behälter sind die maximalen Nachwärmeleistungen zu beachten. Eine Beladung der Behälter ist nur zulässig, wenn die insgesamt im betreffenden Behälter eingelagerten Brennelemente diese Nachwärmeleistung unterschreiten. Darüber hinaus ist die maximale Wärmeleistung der einzelnen Brennelemente, abhängig von ihrer jeweiligen Position im Behälterkorb, begrenzt. Für Brennelemente, die ihren Zielabbrand noch nicht erreicht haben, ist die Nachwärmeleistung bei gleicher Abklingzeit geringer.
- Die Abschirmeigenschaften der Behälter (und der Inventare) definieren die maximal in einen Behälter bzw. an eine Position des Tragkorbes einladbare Gamma- und Neutronenquellstärke, mit denen die maximal zulässige Dosisleistung (Gamma und Neutronen) an der Behälteroberfläche erreicht wird. Hierzu sehen die Genehmigungen in der Regel entsprechende Einzelfallnachweise über die Quellstärken vor. Für Brennelemente, die ihren Zielabbrand noch nicht erreicht haben, sind sowohl die Gamma- als auch die Neutronenquellstärken bei gleicher Abklingzeit niedriger.
- Hinsichtlich der Kritikalitätssicherheit dürfen die Lagerbehälter nur so beladen werden, dass die Unterkritikalität einschließlich der vorgeschriebenen Zuschläge gewährleistet ist. In den bestehenden Aufbewahrungsgenehmigungen ist für Brennelemente mit Anfangsanreicherungen größer 4 % in der Regel ein Mindestabbrand von ca. 10.000 MWd/t_{SM} erforderlich. In den aktuellen Behälterzulassungen ist für DWR-Brennelemente mit Anfangsanreicherungen größer 4 % ein Mindestabbrand von 12.000 MWd/t_{SM} gefordert.
- Um auch Brennelemente einladen zu können, die den Mindestabbrand noch nicht erreicht haben, sind Änderungen der Zulassungen und der Aufbewahrungsgenehmigungen nötig bzw. die Möglichkeit von Einzelnachweisen einzuführen. Mögliche technische Maßnahmen könnten beispielsweise darin bestehen, dass die Behälter mit Brennelementen unterschiedlichen Abbrands- und Anreicherungsgraden beladen werden, sowie in Teilbeladungen der Behälter. Aus Sicht der ESK lassen sich aber keine technischen Gründe erkennen, die diesem Vorgehen entgegenstehen. Dazu wäre es allerdings erforderlich, dass die entsprechenden Genehmigungs- bzw. Zulassungsverfahren zügig durchgeführt werden.
- Der Schutz gegen Einwirkungen von außen wird durch die massiven Behälter und die bauliche Anordnung des Zwischenlagers gewährleistet. Dies gilt auch für den Absturz eines großen

Verkehrsflugzeuges mit nachfolgendem Treibstoffbrand. Entsprechende Nachweise wurden in den Genehmigungsverfahren für die einzelnen Zwischenlager geführt.

Hinsichtlich der Sicherung ist beim „sofortigen Abschalten“ grundsätzlich die gleiche Situation gegeben wie beim „Zielabbrand“:

- Die Sicherungsmaßnahmen beziehen sich auf den Schutz durch den Behälter selbst sowie den Schutz des Geländes des Zwischenlagers. Dabei gibt es keinen Unterschied hinsichtlich der Wirksamkeit und den Anforderungen an die Sicherung zwischen „sofortigem Abschalten“ und dem „Zielabbrand“.
- Die Masse des Behälters in der Größenordnung von 100 Mg verhindert eine unauffällige Entwendung.
- Die Entwendung einzelner Brennelemente aus den verschlossenen Lagerbehältern ist technisch in den Standortzwischenlagern nicht machbar. Darüber hinaus gewährleistet die hohe Eigenstrahlung der höher abgebrannten Brennelemente bei Mischbeladung einen hohen Selbstschutz. Dies setzt allerdings eine Änderung der gültigen Aufbewahrungsgenehmigung voraus, die derzeit einen Mindestabbrand bei jedem Brennelement von 3.000 MWd/t_{SM} voraussetzt.

Insgesamt besteht hinsichtlich der Sicherung und ihrer Wirksamkeit kein Unterschied zwischen teilabgebrannten Brennelementen und Brennelementen mit „Zielabbrand“, wenn die teilabgebrannten Brennelemente in Mischbeladungen mit abgebrannten Brennelementen eingelagert werden.

Hinsichtlich der Safeguards ergibt sich folgende Situation:

- Der versiegelte Behälter stellt die unter Safeguards-Aspekten zu überwachende Einheit dar, da ein unerkanntes Entladen einzelner Brennelemente aus dem verschlossenen Behälter aufgrund der getroffenen Safeguards-Maßnahmen nicht zu unterstellen ist. Die Bewegung der Behälter wird überwacht und jeder einzelne Behälter bei Lagerung und Transport identifiziert. Dieser Sachverhalt ist identisch, unabhängig davon, ob es sich um Brennelemente mit Zielabbrand oder teilabgebrannte Brennelemente als Ladung in den Behältern handelt.

5.2.3 Vorbereitung zur Endlagerung

Je nach vorgesehenem Endlagerkonzept müssen die Brennelemente aus den Zwischenlagerbehältern entnommen, konditioniert und in das Endlagergebäude (Endlagerbehälter, Endlagerkokille) eingebracht werden. Dies muss aus strahlenschutztechnischen Gründen in einer Konditionierungsanlage mit einer großen heißen Zelle erfolgen.

Bei diesem Schritt, der erst einige Jahrzehnte nach der Beladung der Zwischenlagerbehälter erfolgt, stellt sich die Frage, ob die aus dem Zwischenlagerbehälter entladenen Brennelemente in einem Zustand sind, in dem sie ohne besondere Schwierigkeiten weiterbehandelt werden können. Insbesondere muss ihre mechanische Integrität (Handhabbarkeit) erhalten geblieben sein und ein systematisches Versagen der Brennstäbe vermieden werden.

Beim Vergleich von teilabgebrannten Brennelementen mit Brennelementen mit Zielabbrand ist festzustellen, dass die teilabgebrannten Brennelemente weniger Belastung erfahren haben. Dazu gehören eine kürzere Einsatzzeit im Reaktor und weniger Bestrahlung der Hüllrohre. Daher sind Schäden bezüglich der mechanischen Integrität bei teilabgebrannten Brennelementen eher weniger wahrscheinlich als bei Brennelementen mit Zielabbrand.

Hinsichtlich der Kritikalitätssicherheit im Endlager dürfen die zur Endlagerung verwendeten Behälter bzw. Kokillen nur so beladen werden, dass die Unterkritikalität einschließlich der vorgeschriebenen Zuschläge gewährleistet ist. Um auch Brennelemente einladen zu können, die den Mindestabbrand noch nicht erreicht haben, sind gegebenenfalls Mischbeladungen oder Teilbeladungen oder andere Maßnahmen (z. B. Beifügung von abgereichertem Uran) erforderlich. Aus Sicht der ESK lassen sich aber keine technischen Gründe erkennen, die diesem Vorgehen entgegenstehen.

Hinsichtlich der Sicherung und den Safeguards ergibt sich bei einer Konditionierungsanlage kein Unterschied in den Anforderungen und in der Durchführung zwischen teilabgebrannten Brennelementen und Brennelementen mit Zielabbrand.

5.2.4 Endlagerung

Auf die notwendige Kapazität des Endlagers hat das Vorliegen von teilabgebrannten Brennelementen praktisch keinen Einfluss. Hinzu kommt, dass das jetzt diskutierte frühere Abschalten von Kernkraftwerken zu einer insgesamt niedrigeren Anzahl von bestrahlten Brennelementen führt, die einer Endlagerung zugeführt werden müssen.

Hinsichtlich der Sicherheit bei der Endlagerung ist die Situation wie folgt zu bewerten:

- Hinsichtlich des Wärmeeintrags durch die Endlagergebäude sind die maximalen zulässigen Nachwärmeleistungen zu beachten, die sich durch die maximal zulässigen Temperaturerhöhungen an der Grenzfläche zum Wirtsgestein ergeben. Dies kann durch eine entsprechend angepasste vorlaufende Zwischenlagerzeit sowie durch Einlagerungsgeometrie (z. B. Abstände zwischen den einzelnen Endlagergebäuden) erreicht werden. Teilabgebrannte Brennelemente mit ihrer geringeren Wärmeleistungen stellen hier geringere Anforderungen als Brennelemente mit Zielabbrand.
- Hinsichtlich der Kritikalitätssicherheit dürfen die Lagerbereiche nur so beschickt werden, dass die Unterkritikalität einschließlich der vorgeschriebenen Zuschläge gewährleistet ist. Dazu sind gegebenenfalls Mischbeladungen oder Teilbeladungen erforderlich. Aus Sicht der ESK lassen sich aber keine technischen Gründe erkennen, die diesem Vorgehen entgegenstehen. Welche Maßnahmen zur Sicherung der Unterkritikalität technisch zu realisieren sind, bedarf noch weiterer Untersuchungen.

Sicherung und Safeguards für den Betrieb des Endlagers müssen integral für die ganze Anlage erfolgen. Dabei ergibt sich kein Unterschied in den Anforderungen und in der Durchführung zwischen teilabgebrannten Brennelementen und Brennelementen mit Zielabbrand.

Bei der bisherigen Endlagerkonzeption besteht prinzipiell die Frage, ob zukünftige Generationen das U-238 und U-235 (mehr als 10.000 t) sowie das Plutonium (mehr als 100 t) aus den eingelagerten abgebrannten Brennelementen als Rohstoff wieder gewinnen wollen. Bei einem Endlager, in das zusätzlich leicht abgebrannte Brennelemente gebracht werden, kommen hier über 100 Tonnen Uran mit einer Anreicherung von 3 - 4 % U-235 hinzu sowie eine Menge von einigen zehn Kilogramm Plutonium mit einem für Waffen sehr günstigen Plutoniumvektor.

Um eine solche zukünftige Gewinnung deutlich zu erschweren, sind im Endlager technische Möglichkeiten denkbar (z. B. eine gezielte Verteilung der Einzelmengen). Es ist hier auch darauf hinzuweisen, dass solche Maßnahmen in einem definitiv verschlossenen Endlager deutlich leichter realisierbar sind als in einem zur Rückholung offen gehaltenen Endlager oder erst recht in einem oberirdischen Langzeitzwischenlager.

Weiter bleibt prinzipiell die Möglichkeit, die sehr wenig abgebrannten Brennelemente aus Anlagen mit sehr kurzer bzw. kurzer Betriebszeit, einer Wiederaufarbeitung zuzuführen, oder diese Brennelemente - ggf. auch in anderen Anlagen - weiter abzubrennen.

5.2.5 Bewertung hinsichtlich schadloser Verwertung des Plutoniums

Von der insgesamt aus der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente angefallenen Menge an Plutonium ist schon bisher ein großer Teil, nämlich ca. 32.300 kg Pu_{fiss} in MOX-Brennelementen eingesetzt worden. Der noch zu verwertende Teil ist wesentlich kleiner, nämlich ca. 5.000 kg Pu_{fiss} . Der größere Teil dieser Menge (ca. 4.000 kg Pu_{fiss}) ist bereits in die Fertigung von weiteren MOX-Brennelementen eingeflossen bzw. fließt in naher Zukunft in die Fertigung ein.

Die vorgesehenen Einsatzzeiten und Einsatzkraftwerke für diese MOX-Brennelemente zeigen:

- In keinem der vom Moratorium betroffenen Kernkraftwerke ist noch ein Einsatz von MOX-Brennelementen vorgesehen.
- Die vorgesehenen Kernkraftwerke planen den letzten Einsatz frischer MOX-Brennelemente je nach Anlage bis spätestens 2019 (s. Tabelle 4) vorzunehmen.
- Damit ist eine Verwertung des für die MOX-Brennelementfertigung jetzt zur Verfügung stehenden Plutoniums gewährleistet, sofern der Einsatz (Fertigung und Transport) planmäßig möglich ist.

Bezüglich des in Großbritannien noch nicht abgetrennten Plutoniums ergeben sich folgende Möglichkeiten:

- Für die noch nicht aufgearbeiteten Brennelemente werden die Wiederaufarbeitungsverträge gekündigt und die abgebrannten Brennelemente in ein deutsches Zwischenlager zurückgeführt (ca. 40 Behälter).
- Wird die Wiederaufarbeitung durchgeführt, müssen zusätzlich ca. 600 kg Pu_{fiss} weiter behandelt werden.
 - Diese können bei rechtzeitiger Verfügbarkeit in Form von MOX-Brennelementen in deutschen Kernkraftwerken eingesetzt werden.

- Verbleibende Restmengen können gemäß der atomgesetzlichen Regelungen in § 9a (1c) auch an andere Kernkraftwerksbetreiber z. B. in der EU bzw. in der Schweiz abgegeben werden.
- Schließlich gibt es prinzipiell auch die Möglichkeit, Plutonium für ein Endlager zu konditionieren, z. B. in der Form sogenannter Lagerstäbe bzw. Lagerelemente. Hierbei sind besondere Vorkehrungen für den physischen Schutz sowie die Kritikalitätssicherheit zu gewährleisten.

Die Wahl des Weges und der Abschluss entsprechender Verträge obliegen der Entscheidung des entsprechenden Betreibers.

6 Beantwortung der BMU-Fragen

6.1 „Welche Anforderungen sind aus entsorgungstechnischen Gründen an die Mindestabbrände von Brennelementen zu stellen?“

In den durch das Moratorium stillgelegten Kernkraftwerken sind abschaltungsbedingt neben schon länger eingesetzten Brennelementen auch Brennelemente eingesetzt, die bisher nur zwischen 11 und rund 300 Volllasttagen eingesetzt waren. Diese Brennelemente weisen einen vergleichsweise niedrigen Abbrand auf. Es haben sich jedoch auch in diesen Brennelementen schon soviel Spaltprodukte aufgebaut, dass sie nur unter den gleichen Schutzmaßnahmen gegen Strahlung gehandhabt werden können wie stärker abgebrannte Brennelemente.

Im Kapitel 5.2 dieser Stellungnahme wurden die einzelnen Entsorgungsschritte detailliert darauf hin untersucht, wie sich diese im Hinblick auf wenig abgebrannte Brennelemente darstellen. Insgesamt ergibt sich, dass in allen Schritten „Verbleiben im Reaktor“, „Umladung in das Nasslagerbecken“, „Lagerung im Nasslagerbecken“, „Umladung in Zwischenlagerbehälter“, „Transport vom Reaktorgebäude zum Zwischenlager“, „Lagerung im Zwischenlager“, „Abtransport zur Vorbereitung der Endlagerung“, „Vorbereitung der Endlagerung“ sowie der „Endlagerung“ selbst der Umgang auch mit wenig abgebrannten Brennelementen technisch möglich ist. Soweit dies die Lagerung im Reaktor und im Nasslagerbecken betrifft, ist dies durch bestehende Genehmigungen abgedeckt. Für die Schritte ab Behälterbeladung sind jeweils geänderte Zulassungen und Genehmigungen erforderlich, weil der geforderte Mindestabbrand nicht erreicht ist. Hinsichtlich der Zwischenlagerbehälter und der Endlagergebäude ist dabei jeweils zu beachten, dass hier eine Mischbeladung aus stärker und weniger bestrahlten Brennelementen in einer Weise möglich ist, dass die sichere Unterkritikalität gewährleistet werden kann und auch die anderen sicherheitstechnischen Parameter eingehalten werden können. Hinsichtlich der Zwischenlagerbehälter sind entsprechende Änderungsgenehmigungsverfahren für die Lagerbehälter erforderlich. Aus Sicht der ESK kann aber durch entsprechend vorgegebene Mischbeladungen die Einhaltung der Genehmigungserfordernisse erreicht werden. Da eine Beladung der Zwischenlagerbehälter wegen der bei allen Brennelementen notwendigen Abklinglagerung erst in mehreren Jahren erfolgen kann, ist es möglich, in der Zeit bis dahin die erforderlichen Genehmigungsverfahren durchzuführen und abzuschließen.

Hinsichtlich der Sicherung und der Einhaltung der Safeguards (Beladung im Reaktor und Lagerung im Nasslager) ergeben sich für wenig abgebrannte Brennelemente keine anderen Sachverhalte als für

Brennelemente, die den Zielabbrand erreicht haben. Für die Zwischenlagerung müssen die Genehmigungen angepasst werden. Aus Sicht der ESK können durch eine Mischbeladung die technischen Anforderungen abgedeckt werden. Hinsichtlich der Endlagerung ergeben sich zusätzliche Herausforderungen wegen des zusätzlich eingebrachten Plutoniums mit hohem prozentualem Anteil an Pu-239.

6.2 „Welcher Plutoniumvektor sollte bei bestrahlten Uran- und MOX-Brennelementen unter Sicherheits- und Sicherungsanforderungen angestrebt werden?“

In den durch das Moratorium stillgelegten Kernkraftwerken sind abschaltungsbedingt neben schon länger eingesetzten Brennelementen auch Brennelemente eingesetzt, die bisher nur zwischen 11 und rund 300 Volllasttagen eingesetzt waren. In diesen Brennelementen ist bereits Plutonium entstanden; dieses Plutonium weist gegenüber bis zum Zielabbrand abgebrannten Brennelementen einen anderen Plutoniumvektor (Verhältnis der einzelnen Plutoniumisotope zueinander) auf. Es gibt einen vergleichsweise höheren Anteil an Pu-239.

Hinsichtlich der Sicherheit ergeben sich keine Unterschiede, wie in Kapitel 5.2 ausführlich untersucht wurde.

Der Plutoniumvektor spielt vor allem bei der Frage eine Rolle, wie leicht militärische Waffen herstellbar sind. Grundsätzlich ist es einfacher aus Plutonium mit hohem Pu-239-Anteil nukleare Waffen herzustellen.

Allerdings macht die Internationale Spaltstoffüberwachung keinen Unterschied zwischen Brennelementen mit unterschiedlichem Abbrand und mit dementsprechend unterschiedlichen Plutoniumvektoren. Bezogen auf die hier in Frage stehenden Brennelemente ergibt sich damit kein Unterschied hinsichtlich der Safeguards.

Hinsichtlich der Sicherung ergeben sich bei den Schritten vor der Endlagerung keine wesentlichen Unterschiede, wenn man von einer Mischbeladung der Behälter ausgeht. Bei der Endlagerung ist zu beachten, dass die Einbringung von einigen zehn Kilogramm Plutonium mit einem hohen prozentualen Gehalt an Pu-239 besondere Herausforderung hinsichtlich des Schutzes vor Wiedergewinnung erfordert.

6.3 Zeitfenster für Plutonium-Verwertung

Von der insgesamt aus der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente angefallenen Menge an Plutonium ist schon bisher ein großer Teil, nämlich ca. 32.300 kg Pu_{fiss} in MOX-Brennelementen eingesetzt worden. Der noch zu verwertende Teil ist mit ca. 5.000 kg Pu_{fiss} wesentlich kleiner. Der größere Teil dieser Menge (ca. 4.000 kg Pu_{fiss}) ist bereits in die Fertigung von weiteren MOX-Brennelementen eingeflossen bzw. fließt in naher Zukunft in die Fertigung ein.

Die vorgesehenen Einsatzzeiten und Einsatzkraftwerke für diese MOX-Brennelemente zeigen:

- In keinem der vom Moratorium betroffenen Kernkraftwerke ist noch ein Einsatz von MOX-Brennelementen vorgesehen.

- Die vorgesehenen Kernkraftwerke planen den letzten Einsatz frischer MOX-Brennelemente je nach Anlage bis spätestens 2019 (s. Tabelle 4) vorzunehmen.
- Damit ist eine Verwertung des für die MOX-Brennelementfertigung jetzt zur Verfügung stehenden Plutoniums gewährleistet, sofern der Einsatz (Fertigung und Transport) planmäßig möglich ist.

Bezüglich der Restmengen, die durch die stark verzögerte Erfüllung der Wiederaufarbeitungsverträge in Großbritannien möglicherweise entstehen, ergeben sich verschiedene Lösungsmöglichkeiten, die in Kap. 5.2.5 genauer ausgeführt sind.

7 Unterlagen

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Schreiben von BM Dr. Röttgen vom 13.05.2011 an den ESK-Vorsitzenden

- [2] Atomgesetz (AtG) vom 23.12.1959
Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (BGBl. I S. 814) i. d. F. der Bekanntmachung vom 15.07.1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch das 12. Gesetz zur Änderung des AtG vom 08.12.2010 (BGBl. I S. 1817)

- [3] Strahlenschutzverordnung
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20.07.2001 (BGBl. I S. 1714), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29.08.2008 (BGBl. I S. 1793)

- [4] RSK-Empfehlung
Sicherheitstechnische Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente in Behältern; 05.04.2001

- [5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle
Stand 30. September 2010