

**Bericht der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung eingesetzten Expertenkommission zur Prüfung der Umrüstbarkeit des Forschungsreaktors München II
von HEU auf LEU**

– Juni 1999 –

Sperfrist: 21.06.1999, 13:30 Uhr

- 1. Einführung**
- 2. Anlagenbeschreibung des FRM-II**
- 3. Von den Experten behandelte Umrüstungsvarianten**
- 4. Generelle Feststellungen**
 - a) Auswirkungen auf den im Bau befindlichen Reaktor**
 - b) Verfügbarkeit der Brennstoffe**
 - c) Genehmigungsfragen**
 - d) Kostenfragen**
 - e) Folgen für die wissenschaftliche Nutzung**
 - f) Nichtverbreitungsgesichtspunkte der MEU- und HEU-Varianten**
 - g) Versorgung mit Kernbrennstoffen**
- 5. Bewertung der Umrüstungsvarianten**
- 6. Abschlußbemerkungen**
- 7. Abkürzungsverzeichnis**

1. Einführung

In Garching bei München wird zur Zeit eine neue Hochflußneutronenquelle, der Forschungsreaktor München II (FRM-II), als Nachfolgeprojekt für den alten, 1957 in Betrieb genommenen Münchener Forschungsreaktor (FRM) errichtet. An ihm sollen grundlagen- und anwendungsbezogene Forschungsarbeiten aus dem Bereich von Physik und Chemie, Material- und Ingenieurwissenschaften, Biologie und Medizin durchgeführt werden. Die Planungen für dieses Projekt wurden Anfang der 80er Jahre begonnen. Der atomrechtliche Antrag zum Bau des Reaktors wurde 1993 gestellt. Zwei Teilerrichtungsgenehmigungen sind rechtskräftig. Seit 1996 wird der Reaktor von der Siemens AG als Generalunternehmer errichtet. Bauherr und zukünftiger Betreiber ist die Technische Universität München (TUM). Die Bayerische Staatsregierung hat den Forschungsreaktor nach Begutachtung durch den Wissenschaftsrat als Projekt nach dem Hochschulbauförderungsgesetz angemeldet. 1997 wurde eine Verwaltungsvereinbarung zwischen dem BMBF und der Bayerischen Staatsregierung abgeschlossen, die eine finanzielle Beteiligung des Bundes in Form eines Festbetrages in Höhe von 160 Mio. DM in mehreren Jahresraten regelt.

Der Forschungsreaktor München II ist nach Abschluß der Empfehlungen der internationalen Konferenz zur Überprüfung des Brennstoffkreislaufes (INFCE) 1980 das einzige neue Projekt für den Bau eines Forschungsreaktors in der westlichen Welt, der hochangereichertes Uran (HEU), das waffenfähig ist, nutzen soll. Er ist deshalb von Anfang an aus proliferationspolitischen Gründen in Deutschland und im Ausland kritisiert worden.

In den 80er Jahren hat Deutschland aktiv an der Entwicklung des RERTR-Programms zur Entwicklung von neuen, hochdichten Brennstoffen für den Einsatz niedrig angereicherten Urans (LEU, zur Definition s. Übersicht 1) in Forschungsreaktoren teilgenommen und die Entwicklung eines Forschungsreaktors mit niedrig angereichertem Uran für Indonesien durch die Firma Siemens finanziell gefördert.

Die Erkenntnisse aus dem RERTR-Programm wurden bei der Umrüstung der Forschungsreaktoren in Geesthacht und Berlin auf LEU genutzt.

Übersicht 1:

Das Safeguards Glossary, IAEA, Edition 1987 definiert:

Low Enriched Uranium (LEU)	Uran mit einer Anreicherung des U-235 von weniger als 20 %
High Enriched Uranium (HEU)	Uran mit einer Anreicherung des U-235 von 20 % und mehr

Für Medium Enriched Uranium (MEU) existiert keine offizielle Definition. Gebräuchlich ist diese Bezeichnung für mittlere Anreicherungen oberhalb von 20 %.

Die anhaltende Kritik an der Nutzung von HEU im FRM-II wurde in der Koalitionsvereinbarung vom 20. Oktober 1998 aufgegriffen:

„Der Einsatz von waffenfähigem Uran in Forschungsreaktoren ist hoch problematisch und außenpolitisch bedenklich. Deshalb wird die neue Bundesregierung überprüfen, ob Möglichkeiten einer Umrüstung des Forschungsreaktors München II vom Betrieb mit hochangereichertem auf niedrig angereichertes Uran bestehen.“

Die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Frau Edelgard Bulmahn, hat im Januar 1999 in Abstimmung mit Bundesminister für besondere Aufgaben und Chef des Bundeskanzleramtes Bodo Hombach, Bundesminister des Auswärtigen Joseph Fischer und Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Jürgen Trittin eine Experten-Gruppe eingesetzt, um diese Prüfung durchzuführen.

Als Mitglieder der Gruppe wurden berufen:

- Dr. Annette Schaper
Hessische Stiftung für Friedens- und Konfliktforschung (HSFK), Frankfurt/Main
- Prof. Dr. Peter Armbruster
Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH (GSI), Darmstadt
- Dr. Ekkehardt Bauer
Institut Laue-Langevin (ILL), Grenoble
- Dr. Wilfried Krull
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH
- Dr. Wolfgang Liebert
IANUS - TU Darmstadt
- Prof. Dr. Richard Wagner
Forschungszentrum Jülich GmbH (FZJ)

Mit der Leitung der Expertengruppe wurde der Parlamentarische Staatssekretär bei der Bundesministerin für Bildung und Wissenschaft, Herr Wolf-Michael Catenhusen, beauftragt.

Die Herren

- Prof. Dr. Dieter Richter
Forschungszentrum Jülich GmbH (FZJ)
- Prof. Dr. Michael Steiner
Hahn-Meitner-Institut (HMI), Berlin

nahmen als ständige Gäste an den Sitzungen der Expertengruppe teil.

Von seiten der Bundesregierung waren außerdem das Bundeskanzleramt, das Auswärtige Amt und das Umweltministerium vertreten. Für die Bayerische Staatsregierung wurde Staatsminister Hans Zehetmair eingeladen. Für die Projektleitung der TUM nahmen Dr. Axmann, Prof. Dr. Böning und Prof. Dr. Petry teil.

Bei der ersten Sitzung am 18. Februar 1999 wurde der Prüfauftrag wie folgt präzisiert:
Als Grundlage für Entscheidungen der Bundesregierung sollen

- technische Möglichkeiten für eine Umrüstung des FRM-II von hoch auf niedrig angereicherte Brennstoffe geklärt und
- Auswirkungen einer denkbaren Umrüstung auf Zeitpunkt der Inbetriebnahme, Kosten, Genehmigungsfragen, Nichtverbreitungsgesichtspunkte, Fragen der Brennstoffversorgung sowie auf die wissenschaftliche Nutzung beurteilt werden.

Die Kommission hielt insgesamt 5 Sitzungen ab. Bei der zweiten Sitzung wurde in Garching die Baustelle des FRM-II besichtigt und die TUM angehört. Im Mittelpunkt der dritten Sitzung wurden Fragen der Brennstoffentwicklung behandelt und Umbauvarianten diskutiert. Dazu wurden Experten des Argonne National Laboratory (ANL) aus den USA (Dr. Hanan, Dr. Matos, Dr. Snelgrove und Dr. Travelli), des französischen Brennstoffherstellers CERCA (Dr. Fanjas) sowie der TU München gehört. Bei der vierten Sitzung stand die wissenschaftliche Nutzung im Mittelpunkt. Als Experten geladen waren Prof. Dr. Fujara (Universität Dortmund), Prof. Dr. Leadbetter (ILL Grenoble), Prof. Dr. Richter (FZ Jülich) und Prof. Dr. Petry (TUM). In der 5. Sitzung wurde der Endbericht diskutiert und verabschiedet.

Bei ihrer Arbeit war sich die Kommission der grundsätzlichen Schwierigkeit bewußt, daß Möglichkeiten der Umrüstung des FRM-II nur mit vorläufigen Berechnungen und Annahmen untersucht werden konnten, da keine detailliert durchgearbeiteten und durch entsprechende Rechnungen abgesicherten Planungen für Umbauvarianten vorliegen und es auch nicht Aufgabe dieser Kommission sein konnte, detaillierte Planungen in Auftrag zu geben.

2. Anlagenbeschreibung des FRM-II

In der Übersicht 2 sind wesentliche Forschungsreaktoren, die den deutschen Nutzern heute im In- und Ausland zur Verfügung stehen, aufgeführt. Angegeben sind neben dem maximalen thermischen Neutronenfluß eine Kennzahl (Figure of Merit), die einen Vergleich der Nutzbarkeit ermöglicht. Die Zahlen sind einer Veröffentlichung des OECD von Nov. 1998 entnommen. Die Kennzahl errechnet sich aus

$$\text{Kennzahl} = Z \cdot 2^{\log(\phi)}$$

mit Z als Anzahl der Streuexperimente und ϕ als Flußdichte thermischer Neutronen in Einheiten von 10^{13} Neutronen/cm² s.

Übersicht 2:

Reaktor	Inbetriebnahme	Max. therm. Neutronenfluß (10^{14} n/cm ² s)	Zahl der Instrumente	Kennzahl
BER-II (Berlin)	1973	2	16	40
FRJ 2 (Jülich)	1962	2	16	40
FRG (Geesthacht)	1958	0,8	8	15,2
FRM-II (Garching)		7	17	61,2 ^{*)}
HFR, ILL (Grenoble)	1972	12	32	134,4

^{*)} Im Vollausbau, mit ca. 30 Experimenten, wird diese Kennzahl 107,8 betragen.

Entwicklungsziel bei der Planung des FRM-II war es, eine auch im internationalen Vergleich hoch-leistungsfähige Neutronenquelle mit optimalen Möglichkeiten für die wissenschaftliche Nutzung bereitzustellen. Das Ziel soll nach dem Vorbild des ILL-Reaktors in Grenoble durch einen besonders kompakten Kern mit nur einem Brennelement erreicht werden, das hoch angereichertes Uran (93 % U-235, „HEU,“) in Form von verdichtetem U₃Si₂ als Brennstoff enthält. Einzelheiten sind der Übersicht 3 zu entnehmen.

Das gewählte Reaktorkonzept bietet im Moderatortank Raum für die in modernen Forschungsreaktoren unverzichtbaren speziellen Einbauten. Der Bereich des höchsten Flusses thermischer Neutronen ist im Moderatortank, in ca. 12 cm Abstand vom Brennelement. Drei der zehn horizontalen Strahlrohre sind auf die für die Qualität eines erheblichen Teils der Experimente ausschlaggebenden Kalten Neutronenquelle ausgerichtet.

Übersicht 3: Wichtige Daten zum Reaktor

- Kompaktkern, bestehend aus einem einzigen Brennelement,
Außendurchmesser 24,3 cm, Höhe der Brennstoffzone ca. 70 cm,
113 evolventenförmig gekrümmte Brennstoffplatten
- Brennstoff U_3Si_2 , ca. 8 kg zu 93 % angereichertes Uran,
Brennstoffdichte 1,5/3,0 g U/cm^3
- Moderator/Reflektor: D_2O in einem Tank mit $\varnothing = 2,5$ m und $h = 3,0$ m
- 1 Regel-/Abschaltstab im Inneren des Brennelements,
5 Abschaltstäbe im Moderatortank als redundantes Abschaltssystem
- Reaktorbecken mit anschließendem Absetzbecken aus Stahlbeton
(Schwerbeton) mit Stahl liner, 700 m^3 Wasservolumen
- thermische Leistung 20 MW, Wärmeabfuhrsystem mit Primär-, Sekundär-
und Tertiär-Kühlkreislauf, Wärmeabgabe über Kühlaggregat an
Umgebungsluft
- max. ungestörte thermische Neutronenflußdichte im Moderatortank:
 8×10^{14} Neutronen/ cm^2 s
- Nutzungsdauer eines Brennelementes 52 Vollasttage

Eine Auflistung der Forschungseinrichtungen enthält Übersicht 4.

Übersicht 4: Strahlrohranordnung und Experimentiereinrichtungen

- 10 horizontale Strahlrohre, zum Teil mit Neutronenleitern,
2 schräge Strahlrohre
- Kalte Neutronenquelle
- Heiße Neutronenquelle
- Strahlrohrkonverteranlage
- 2 Silizium-Dotierungs-Anlagen mit Möglichkeit für Drehtellerbestrahlung
- 2 Rohrpost-Bestrahlungsanlagen
- Hochfluß-Rohrpostanlage
- Kapsel-Bestrahlungsanlage
- Tankrandbestrahlungsanlage
- Zwei Materialbestrahlungspositionen
- Positronenquelle
- geplant: Ultrakalte Neutronenquelle, Spaltfragmentbeschleuniger
- zunächst 18, später bis ca. 30 Experimentiereinrichtungen am Reaktor und an
den Neutronenleitern

Die mit der Entwicklung des FRM-II verfolgten Ziele lassen sich nach Auffassung des Bauherren bei den gegenwärtig eingesetzten Brennstoffdichten (bis $4,8 \text{ g U/cm}^3$) besonders vorteilhaft durch einen Kompaktkern mit HEU verwirklichen. Das dadurch ermöglichte kleine Volumen des Brennelements sorgt für ein besonders günstiges Verhältnis von nutzbarem Neutronenfluß zu Untergrund an γ -Strahlung und Spaltneutronen. Dieses Verhältnis wird durch den thermischen Neutronenfluß pro MW-Reaktorleistung gekennzeichnet.

Bei einer Begehung der Baustelle am 8. März 1999 hat sich die Expertengruppe ein Bild vom weit fortgeschrittenen Errichtungszustand des Forschungsreaktors gemacht. Insbesondere das Reaktorgebäude, das Reaktorbecken aus hocharmiertem Schwerbeton mit seinen Durchführungen für die Strahlrohre sowie das benachbarte Brennelement-Absetzbecken waren fertiggestellt. An der Beckenauskleidung aus Stahl fanden letzte Schweißarbeiten statt. Wesentliche Teile des Reaktors, wie der Moderatortank mit eingebauten Strahlrohren sowie die Komponenten des Kühlsystems befanden sich nach Angaben der TUM bei den Zulieferern in der Fertigung.

3. Von der Expertenkommission behandelte Umrüstungsvarianten

Bei ihrer ersten Sitzung hat die Expertenkommission drei Umrüstungsszenarien für die ausführliche Behandlung vorgeschlagen. Bei den folgenden Sitzungen sind Varianten hinzuge treten, so daß schließlich von der Kommission behandelt und entsprechend ihrem Auftrag bewertet wurden:

Variante 1: Sofortige Umrüstung auf ein LEU-Brennelement ($19,75 \text{ } \%$ U-235, Brennstoffdichte $4,5 \text{ g U/cm}^3$) mit dem derzeit qualifizierten Brennstoff, und Leistungserhöhung auf 32 MW zur Gewährleistung des angestrebten Neutronenflusses von 8×10^{14} Neutronen/cm²s und der Zyklusdauer von 50 Vollasttagen. Dazu wird der Außendurchmesser des Kompaktkerns auf 35 cm und die Länge der Brennstoffzone auf 80 cm vergrößert. Berechnungen zur Auslegung dieser Reaktor-Variante waren 1995, noch vor Baubeginn des FRM II, vom ANL vorgelegt worden.

Variante 2: Sofortige Umrüstung auf ein MEU- ($26 \text{ } \%$ Anreicherung) oder ein LEU-Brennelement (Anreicherung $19,75 \text{ } \%$) bei Beibehaltung der Leistung von 20 MW. Dazu ist ein Eingriff in die Reaktorgeometrie erforderlich. In beiden Fällen ist eine Umrüstung auf dann erhältlichen Uran-Molybdän-Brennstoff (Anreicherung $19,75 \text{ } \%$) höherer Dichte ($7\text{-}8 \text{ g U/cm}^3$) vorgesehen. Damit wäre es in beiden Fällen möglich, nicht waffenfähiges Uran zu verwenden. Dies würde vermutlich keinen weiteren Eingriff in die Reaktorgeometrie erfordern.

Variante 2a: Zunächst Umrüstung auf ein U_3Si_2 -Brennelement mit auf ca. 26 % angereichertem U-235 und einer Brennstoffdichte von $4,8 \text{ g U/cm}^3$ (industriell verfügbar). Der Außendurchmesser des Brennelementes muß auf etwa 29,4 cm vergrößert werden, die Länge der Brennstoffzone bliebe nach Angaben des ANL bei 70 cm und einer Zyklusdauer von 50 Vollasttagen, während die TUM von einer Verlängerung auf 80 cm ausgeht, um 52 Vollasttage erreichen zu können. Es ist mit einer nicht abschließend geklärten Minderung des ungestörten thermischen Neutronenflusses [Bandbreite der Schätzungen von bis zu 20% (ANL), von bis zu 30 % (TUM)] bei Beibehaltung der thermischen Leistung von 20 MW zu rechnen. Umstellung auf LEU, wenn Uran-Molybdän(UMo)-Brennstoff mit Dichten um 8 g U/cm^3 industriell verfügbar ist.

Variante 2b: Zunächst Umrüstung auf ein U_3Si -Brennelemente mit auf 19,75 % angereichertem U-235 und einer Brennstoffdichte von $5,8 \text{ g U/cm}^3$ (industriell in Plattenform gegenwärtig nicht verfügbar). Der Außendurchmesser des Brennelements muß auf etwa 28,6 cm, die Länge der Brennstoffzone auf 80 cm vergrößert werden. Die Zyklusdauer beträgt nach Angaben des ANL 50 Tage, nach Angaben der TUM 30 - 35 Tage. Es ist nach Angaben des ANL mit einer Minderung des ungestörten thermischen Neutronenflusses bis zu 21 %, nach Angaben der TUM bis zu 25 % bei Beibehaltung der thermischen Leistung von 20 MW zu rechnen. Umstellung auf den Brennstoff UMo mit einer Dichte von $7-8 \text{ g U/cm}^3$, wenn dieser industriell verfügbar ist.

Variante 3: Inbetriebnahme des FRM-II wie vom Bauherren geplant. Zunächst Einsatz hoch angereicherten, also waffenfähigen Urans. Umstellung des Reaktors auf andere Brennstoffe, wenn diese zur Verfügung stehen.

Variante 3a: Der Reaktor wird auf ein UMo-LEU-Brennelement mit einer Dichte von ca. 8 g U/cm^3 und einem Außendurchmesser von etwa 27,9 cm umgerüstet, wenn dieses industriell verfügbar ist. Dazu müssen der radioaktive Moderatortank und möglicherweise die Strahlrohre ausgebaut und durch neue Bauteile ersetzt werden. Der angestrebte Neutronenfluß würde bei Beibehaltung der thermischen Leistung von 20 MW nach Angaben von ANL bis zu 21 % vermindert werden.

Variante 3b: Spezielle Entwicklung eines MEU-Brennelementes mit UMo und ca. 40 - 60 % Anreicherung für den Münchner Reaktor. Die Umstellung auf ein solches UMo-Brennelement erfolgt, sobald dieses industriell verfügbar ist. Dies erfordert keine Änderung der Reaktorgeometrie. Der angestrebte Neutronenfluß würde bei Beibehaltung der thermischen Leistung von 20 MW bei Einsatz von 50 % angereichertem Uran nach Angaben der TUM um 7 % reduziert werden.

4. Generelle Feststellungen

a) Auswirkungen auf den im Bau befindlichen Reaktor

Bei Variante 1 (32 MW) müßten nicht nur die Kerngeometrie und die kernnahen Einbauten erheblich verändert werden. Darüber hinaus müßten die Kapazitäten des Kühlsystems und der Reinigungssysteme erweitert werden, das vorhandene Wasserbecken (700 m^3) wäre bei Ausfall aller Kühlsysteme für die Speicherung der Nachwärme nicht mehr ausreichend. Die notwendigen Umbauten lassen sich nach Angaben der TUM nicht in den vorhandenen, gegen Flugzeugabsturz ausgelegten Gebäudekomplexen unterbringen. Die TUM hat dargelegt, daß die Ausrichtung der Strahlrohre so weitgehend verändert werden müßte, daß der biologische Schild mit seinen Durchführungen für die Strahlrohre nicht mehr brauchbar und deshalb noch einmal zu errichten wäre. Dies käme insgesamt einem Neubau gleich.

Bei den diskutierten Umbauvarianten 2a, 2b, 3a ist eine Veränderung der Kerngeometrie in unterschiedlichem Ausmaß erforderlich, so daß Anlagenteile im Kernbereich geändert oder neu gebaut werden müßten. Dies würde teilweise umfangreiche Umbaumaßnahmen zur Konsequenz haben.

Im Einzelnen wurde folgendes festgestellt:

- Der Moderatortank wäre ebenso wie der Regel/Abschaltstab im Zentralrohr nicht mehr verwendbar und müßte erneuert werden.
- Bei den Varianten 2a, 2b und 3a ist die Frage der Erhöhung der Zahl der Abschaltstäbe von 5 auf 6 offen. Dies könnte gegebenenfalls zu Problemen für die Anordnung der Strahlrohre wegen der Enge des im Moderatortank zur Verfügung stehenden Raumes führen.
- Strahlrohrnasen müßten zurückgezogen und neu ausgerichtet werden. Die Ausrichtung der Strahlrohre liegt mit den Durchführungen durch den schon fertiggestellten biologischen Schild (hocharmierter Schwerbeton) aber nahezu unveränderlich mit einem geringfügigen Restspielraum von 2 - 3 cm fest. Nur noch das zentrale Strahlrohr, das die Neutronenleiterhalle versorgt, könnte auf die Kalte Neutronenquelle, die für die Qualität des Reaktors von großer Bedeutung ist, optimal ausgerichtet werden.

b) Verfügbarkeit der Brennstoffe

Der Kommission lagen fachliche Stellungnahmen des Argonne National Laboratory und des französischen Brennelementherstellers CERCA vor, sowie Ausarbeitungen der TU München. Während der Sachverständigenanhörung am 19. April 1999 wurde die Frage nach zukünftigen Optionen für LEU-Brennelemente (Anreicherung $\leq 20 \%$) detailliert behandelt. Zur Diskussion standen Brennstoffe auf der Basis von U_3Si , U_3Si_2 und UMo . Jeder dieser Brennstoffe führt mit LEU zu Änderungen in der Geometrie des Reaktorkerns gegenüber der gegenwärtigen Auslegung.

Die Anhörung und die anschließende Diskussion führten zu unterschiedlichen Einschätzungen der genannten Optionen hinsichtlich Qualifizierung, möglicher Zulassung in einem Genehmigungsverfahren und zeitlicher Verfügbarkeit im industriellen Maßstab.

In Übersicht 5 sind die wichtigsten technischen Einzelheiten der Brennelemente-Varianten zusammengefaßt.

Übersicht 5: Daten zu den behandelten Brennelement-Varianten

	FRM II	Var. 1	Var. 2a ^{*)}	Var. 2b ^{*)}	Var. 3a ^{**)}	Var. 3b ^{**)}
Brennstoff	U ₃ Si ₂	U ₃ Si ₂	U ₃ Si ₂	U ₃ Si	U-6Mo-Al	U-6Mo-Al
Anreicherung U-235 [%]	93	19,75	26,0	19,75	19,75	50
Brennstoffdichte [g U/cm ³]	1,5/3,0	4,5	4,8	5,8	7 - 8	4,0/8,0
Außen-/Innen-Durchm. [cm]	24,3/11,8	35,0/19,2	29,4/14,8	28,6/14,4	27,9/14,4	24,3/11,8
Länge Brennstoffzone [cm]	70	80	70/80	80	80	70
Thermische Leistung [MW]	20	32	20	20	20	20
Absenkung der thermischen Neutronenflußdichte [in % des FRM II]	0	0	bis zu 20%-30%	bis zu 21%	bis zu 21%	ca. 7%

^{*)} später Übergang auf 3a

^{**)} nach anfänglichem Einsatz von HEU

Für die Variante 2a wird der Einsatz von U₃Si₂ als Brennstoff mit einer Dichte von 4,8 g U/cm³ vorgeschlagen. Weltweit ist U₃Si₂ mit einer Dichte von zur Zeit maximal 4,8 g U/cm³ gegenwärtig der Standardbrennstoff für die Umrüstung von Forschungsreaktoren. Hochflußreaktoren benötigen häufig eine höhere Dichte. U₃Si₂ wird auch nach der Umstellung der Forschungsreaktoren bei der GKSS und beim HMI verwendet.

Für die Variante 2b wird der Einsatz von U₃Si als Brennstoff vorgeschlagen. Das ANL und CERCA haben in den 80er Jahren Miniplatten und Brennelementplatten bestrahlt und nachuntersucht, die U₃Si enthalten. Die Ergebnisse zeigen, daß dieser Brennstoff in seinem Einsatzbereich insofern begrenzt ist, als bei sehr hohen Abbränden ein extremes Schwellen auftritt. Ein Antrag auf Einsatz dieses Brennstoffes in Plattenform wurde bisher nicht gestellt.

CERCA als industrieller Entwickler und Hersteller von Brennelementen schätzt U_3Si als für den Produktionsprozeß für die Plattenfertigung wesentlich schwieriger ein als U_3Si_2 . Für diesen Brennstoff wäre eine separate Fertigungslinie für wenige Jahre bis zum Übergang auf die Nutzung von UMo erforderlich.

Sowohl für die Varianten 2a und 2b als auch für die Varianten 3a und 3b wird zu einem späteren Zeitpunkt der Einsatz von dann verfügbarem UMo vorgeschlagen. Bei den beiden Varianten 2 löst UMo als 2. Schritt der Umrüstung Uransilizide ab, bei den Varianten 3 soll dieser Brennstoff später das HEU ablösen.

In den USA und in Frankreich wird ein industrielles Forschungs- und Entwicklungsprogramm für UMo-Brennstoffe mit Dichten von 8 - 9 g U/cm³ mit dem Ziel durchgeführt, für die Zeit nach 2005 alle Forschungsreaktoren auf den Betrieb mit niedrig angereichertem Uran umstellen zu können. Das ANL hält eine Entwicklungszeit von 4 - 6 Jahren für notwendig. CERCA gibt an, bis zum Jahr 2008 mit Brennelementen auf dem Markt sein zu können, wenn das Entwicklungsprogramm planmäßig durchgeführt wird.

Parallel zur LEU-UMo-Entwicklung betreibt CERCA Forschungsarbeiten für ein Brennelement gleichen Brennstoffs mit einer Anreicherung von 35 %. Dies dient dem Zweck, die Bestrahlungsgrenzen von UMo auszutesten. Die Entwicklung und Fertigung eines solchen Brennstoffes mit höheren Anreicherungen (MEU-Variante 3b) wirft keine zusätzlichen Probleme in der Fertigung auf, erfordert aber ein eigenes Qualifizierungsprogramm.

c) Genehmigungsfragen

Für den FRM-II liegen bislang zwei rechtskräftige atomrechtliche Teilerrichtungsgenehmigungen (TG) vor. Mit der ersten TG vom 9.4.1996 wurden u. a. die Standortfrage und die Errichtung des Reaktorgebäudes sowie das vorläufige positive Gesamturteil bekundet. Die zweite TG vom 13.10.1997 bezieht sich u. a. auf die Errichtung weiterer Gebäude, die anlagentechnische Fertigstellung der Gesamtanlage und die nichtnukleare Inbetriebnahme. Der Kompaktkern selbst ist Bestandteil der letzten, noch ausstehenden Betriebsgenehmigung (3. TG), ebenso wie die nukleare Inbetriebnahme. Der Antragsteller erwartet die 3. und letzte TG für Ende 2000.

Das Genehmigungsverfahren wird vom Freistaat Bayern im Auftrag des Bundes durchgeführt. Zu Beginn des atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens fand Ende 1993/Anfang 1994 die vorgeschriebene Öffentlichkeitsbeteiligung statt.

Aus genehmigungsrechtlicher Sicht ist der Zeitpunkt der eventuellen Antragstellung für eine Umrüstung von Bedeutung. Wird noch während des laufenden Verfahrens für die 3. TG eine Umrüstung beantragt, wäre eine neue Teilerrichtungsgenehmigung erforderlich, die Auswirkungen auf bereits erteilte TGs hat. Die Frage der Öffentlichkeitsbeteiligung würde sich nach § 4 Abs. 2 und 3 AtVfV richten. Danach hat die Genehmigungsbehörde einen Ermessensspielraum, wenn sie „von einer zusätzlichen Bekanntmachung oder Auslegung absehen darf, weil im Sicherheitsbericht keine zusätzlichen oder anderen Umstände darzulegen wären, die

nachteilige Auswirkungen auf Dritte besorgen lassen,, und wenn auch kein sonstiger in §4 Abs. 2 Satz 3 Nr. 1 - 5 AtVfV genannten Fälle vorliegt. Wird die Umrüstung erst nach Erteilung der dritten TG (Betriebsgenehmigung) beantragt, so käme eine Änderungsgenehmigung im Sinne von § 7 Abs. 1 AtG in Betracht, die Frage der Öffentlichkeitsbeteiligung würde sich nach § 4 Abs. 4 in Verbindung mit Absatz 2 AtVfV richten, nach denen entsprechendes wie bei Änderungen im laufenden Genehmigungsverfahren gilt.

d) Kostenfragen

Der Kostenrahmen für den FRM-II in der jetzigen Konzeption beträgt 810,1 Mio. DM bei Preisstand Februar 1999. Nach gut fünf Jahren Projektlaufzeit sind bis Mitte 1999 ca. 70% dieser Summe verfügt. Bis Jahresende 1999 erwartet die Projektleitung aufgrund der eingegangenen Verpflichtungen einen Verfügungsanteil von über 90 %.

Von einer Umrüstung wären kostenmäßig neben der Beendigung begonnener Gewerke folgende Projektteile betroffen: Neuberechnung des Kerns, Umplanungen, neue Bauleistungen, Begutachtungs- und Genehmigungskosten, Brennelementtests und evtl. geänderte Kern-Einbauteile. Bisher liegen dazu nur Kostenschätzungen der TU München - die sich dabei teilweise auf ihren Generalunternehmer Siemens stützt - für die Umbauvarianten 1, 2a und 3b vor, nicht für die Umbauvarianten 2b und 3a. Danach ist mit Sachstand April 1999 mit Zusatzkosten von ca. 600 Mio. DM bei der 32 MW-Variante zu rechnen, mit ca. 300 Mio. DM bei der 20 MW-LEU-2a-Variante und mit ca. 12 Mio. DM bei der 20 MW-MEU-Variante 3b. Nicht eingeschlossen sind Kosten für die Entwicklung und Qualifizierung des jeweils erforderlichen Brennstoffs. Genaue Kostenangaben für die einzelnen Umbauvarianten können nur nach Kalkulation aufgrund detailliert ausgearbeiteter Umrüstungsstudien gemacht werden.

e) Folgen für die wissenschaftliche Nutzung

Im Jahre 2002 stehen nach einer Inbetriebnahme des FRM-II den deutschen Neutronenforschern der neue Reaktor FRM-II, 3 weitere nationale Reaktoren BER-2, FRJ-2, FRG-1 und 1/3-Anteil am ILL zur Verfügung. Alle Reaktoren verfügen über eine moderne Instrumentierung, Neutronenleiter und kalte Quellen. Heiße Quellen gibt es am FRM-II und am ILL.

Eine 1998 für die OECD erstellte Vorausschau über das Potential der Neutronenstreuungsinstrumente in den OECD-Staaten und Rußland für die Zeit bis 2018 nimmt einen Vergleich der verschiedenen Forschungsreaktoren vor. Jeder Anlage wird eine Kennzahl zugeordnet (siehe Abschnitt 2), auf Grund derer auch die jeweiligen Möglichkeiten der verschiedenen Neutronenforschung treibenden Nationen ermittelt werden kann. In der Kennzahl wurde ein gewichteter Neutronenfluß und die Anzahl der Instrumente an der Quelle berücksichtigt.

Für die deutsche Neutronenforschung ergibt sich für das Jahr 2002 unter Einschluß von FRJ-2, FRG-1, BER-2, 1/3-Anteil ILL und FRM-II eine Kennzahl 200. Der FRM II mit einer Kennzahl von 61,2 bei 17 Instrumenten und einem gestörten Fluß von 7×10^{14} n/cm² s ist

hierbei die höchstbewertete Quelle. Ihr Beitrag zum Gesamtangebot beträgt 30 %. Ihr Anteil wird sich ab 2006 bei einem Abschalten des FRJ-2 und einem Anstieg der Instrumentenzahl weiter erhöhen.

Der ungestörte thermische Neutronenfluß des FRM-II bleibt mit 8×10^{14} n/cm² s deutlich hinter dem des ILL zurück. Die kalte Quelle hingegen wird die Flußwerte der Kalten Quelle des ILL erreichen.

Im Nutzungskonzept des FRM-II sind einige Experimentiereinrichtungen einzigartig:

- leistungsfähigste Positronenquelle,
- Bestrahlungseinrichtung für Tumorthherapie,
- Intensivste Quelle für ultrakalte Neutronen (geplant),
- Spaltfragmentbeschleuniger (geplant).

Darüber hinaus bietet der FRM-II an einigen Experimentiereinrichtungen höchste Neutronenflüsse am Probenort und erlaubt einige der heute abgesteckten Experimentiergrenzen zu verschieben:

- Neutronenstreuinstrumente (z.B. hochauflösendes Neutronenspinecho-Instrument, höchstauflösendes fokussierendes Kleinwinkelstreugerät),
- Einrichtung für Neutronentomographie zur zerstörungsfreien Werkstoff- und Bauteilprüfung.

Zur Zeit werden 18 Neutronenstreuinstrumente von Arbeitsgruppen aus Universitäten, Großforschungseinrichtungen und Max-Planck-Instituten gebaut. Vom wissenschaftlichen Nachwuchs sind zur Zeit mehr als 20 Doktoranden und 15 Post-Docs mit der Instrumentierung befaßt. Die meisten Neutronenstreuinstrumente sind auf die jeweilige Neutronenquelle abgestimmt (Strahlrohrdurchmesser, Querschnitt des Neutronenleiters, Strahlhöhe, Abschirmung etc.) und können nicht ohne erheblichen Zeit- und Kostenaufwand an eine andere Neutronenquelle transferiert werden.

Folgen einer zeitlichen Verzögerung der Inbetriebnahme für die Wissenschaft

Bei den verschiedenen Varianten für eine Umrüstung des Forschungsreaktors München II kommt es für die Nutzer zu Zeitverzögerungen gegenüber der für 2001 geplanten Inbetriebnahme. Zum anderen geht es bei den verschiedenen Varianten um eine Verringerung des Neutronenflusses.

Die Kommission ist sich darin einig, daß eine sicher planbare Verzögerung des Betriebsbeginns des FRM-II von 2 - 3 Jahren, bedingt durch eine Umrüstung, trotz aller Probleme für einzelne Wissenschaftler zumutbar wäre, ohne Verlust der Projektmannschaft und ohne die Unterstützung der Hochschulen mit ihrem Nachwuchs zu verlieren. Entscheidend dafür ist allerdings eine klare Berechenbarkeit und Verlässlichkeit des Zeitraums, wie er etwa beim Umbau des ILL gegeben war. Eine zeitliche Verzögerung der Inbetriebnahme von 6 - 8 Jah-

ren würde dagegen für die Neutronenforschung (Instrumentenbauer, Instrumentenverantwortliche und Instrumentnutzer) eine überaus schwierige Lage schaffen. Es käme zum Abbruch von Forschungsvorhaben und zur Auflösung der Projektmannschaft, mit negativen Folgen für den wissenschaftlichen Nachwuchs und die Forschung mit Neutronen in Deutschland.

Folgen einer umbaubedingten Minderung des Neutronenflusses am FRM-II

Die Einschätzung der Minderung des Neutronenflusses nach einer Umrüstung des FRM-II schwankt bei der Variante 2a bis zu 20 % (ANL) und bis zu 30 % (TUM), bei den Varianten 2b und 3a wird eine Minderung des Neutronenflusses von bis zu 21 % geschätzt, bei der Variante 3b eine Minderung von ca. 7 %. Hinzu kommen die Auswirkungen einer Änderung der Reaktorgeometrie (insbesondere Varianten 2a, 2b, 3a) auf die Strahlqualität, da Strahlrohre zum Teil ihre für schwachen Untergrund optimierte Ausrichtung verlieren, die Intensität der Ultrakalten Quelle stärker als der thermische Fluß gemindert wird und nur noch das zentrale Strahlrohr, welches eine Vielzahl von Experimenten in der Neutronenhalle versorgt, optimal auf die Kalte Neutronenquelle ausgerichtet wird. Dazu können zwei Strahlrohre nicht mehr vollständig doppelt genutzt werden. Folgen dieser Änderungen lassen sich nur schwer quantifizieren.

Die Kommission ist sich darin einig, daß eine Minderung des Neutronenflusses um 7 % ohne deutlichen Eingriff in die Reaktorgeometrie (Variante 3b) zu keiner deutlichen Beeinträchtigung der wissenschaftlichen Nutzung des FRM II führen würde.

Bei den Varianten 2a, 2b und 3a werden wesentliche Nachteile für Bestrahlungsanwendungen unter Nutzung thermischer oder epithermischer Neutronenflüsse (meist Kompensation durch längere Bestrahlungszeit) nicht gesehen. Die Minderung der Nutzung von Strahlrohrexperimenten führt zu einer im Einzelfall deutlichen Beeinträchtigung der wissenschaftlichen Forschung, die sich aber nur schwer quantifizieren läßt. Bei einzelnen Experimenten, die in bislang nicht zugängliches Neuland führen sollen und eine besondere Bedeutung für die Spitzenforschung haben, kommt es zu einer Qualitätsminderung bzw. zu ihrer Undurchführbarkeit am FRM-II bei bereits geringfügigen Abnahmen des angestrebten Neutronenflusses und/oder einer Erhöhung des Untergrundes. Dies kann auch nicht durch Verlängerung der Meßzeit kompensiert werden.

Legt man das Bewertungsschema des OECD-Berichts zur Berechnung einer pauschalen Nutzungsminderung zugrunde, ergibt sich z.B. aus einer Reduzierung des thermischen Neutronenflusses um ca. 25 % eine pauschale Nutzungsminderung um 8 %. Das Ausmaß des wissenschaftlichen Nutzens in der Breite ist also nicht proportional zur Höhe des Neutronenflusses anzusehen.

f) Nichtverbreitungsgesichtspunkte der MEU- und HEU-Varianten

Aspekte der Nichtverbreitung (NV) werden für folgende Varianten erörtert: Varianten 3a und 3b für die Inbetriebnahme mit HEU für mehrere Jahre und Variante 3b für die Umstellung auf MEU von 40 – 60% Anreicherung nach der Nutzung von HEU¹. Die Varianten 2b (sofortige Umrüstung auf LEU mit 19,75% Anreicherung) und 3a (für die Zeit einer späteren Umstellung auf LEU-Brennstoffe mit 19,75% Anreicherung) werden nicht gesondert diskutiert, da hier keine Nichtverbreitungsprobleme entstehen. Die Bemühungen um die Nichtverbreitung können auf verschiedene Weise unterlaufen werden:

- I. Material kann für Kernwaffenzwecke mißbraucht werden.
- II. Internationale Bemühungen zur Vermeidung eines Mißbrauchs können politisch geschwächt werden.

Wie groß ist der technische Aufwand, solchen Brennstoff für eine Kernwaffe zu verwenden?

In einer Kernwaffe wird metallisches Uran eingesetzt. Eine Voraussetzung ist daher die Umwandlung einer chemischen Verbindung, falls erforderlich. Hierbei handelt es sich um eine geringe technische Hürde, die prinzipiell auch von Staaten ohne bedeutende Erfahrung im kerntechnischen Bereich für alle im Bericht diskutierten chemischen Zusammensetzungen bewältigt werden kann.

Die für eine Kernwaffe benötigte Menge des Urans hängt stark von der Anreicherung und von den technischen Fähigkeiten des Proliferators ab. Je niedriger die Anreicherung ist, desto höher liegt die technische Schwelle. Obwohl auch in 20% angereichertem metallischen Uran theoretisch eine Kettenreaktion ablaufen kann, ist es extrem unwahrscheinlich, daß mit diesem Material eine funktionsfähige Kernwaffe konstruiert werden kann. Mit zunehmender Anreicherung wird eine potentielle Waffenverwendung wahrscheinlicher. Man kann abschätzen, daß ein fortgeschrittener Kernwaffenstaat, z.B. die USA in der Lage sein könnte, eine Waffe auch mit 40-60% angereichertem Uran zu bauen. Ein Staat ohne Erfahrung in der Kernwaffentechnik, z.B. der Irak, würde eine höhere Mindestanreicherung benötigen, die schätzungsweise zwischen 60-80% liegt, es sei denn, er hat sich fortgeschrittene technische Informationen über Kernwaffen verschafft. Einen Überblick über die geschätzten Mindestmengen, die für einen Sprengsatz nötig wären, gibt Übersicht 6.

Ein Proliferator, d.h. ein Machthaber, der sich Kernwaffen verschaffen will, würde versuchen, zu wenig angereichertes Uran weiter anzureichern, wobei der Aufwand umso geringer ist, desto höher das Ausgangsmaterial bereits angereichert ist. Es reicht für MEU eine kleinere Anreicherungsanlage aus, als die, die für Natururan oder Leichtwasserbrennstoff notwendig

¹ Der Ausdruck MEU dient hier zur Unterscheidung von dem ursprünglich geplanten 93%igen HEU. Nach der offiziellen Definition handelt es sich auch hierbei um HEU.

ist. Die Beschaffung dieser Technologie ist nach der Verschärfung der Exportkontrollen vieler Lieferländer allerdings schwieriger geworden. Ebenso hat sich die Entdeckungswahrscheinlichkeit des Betriebs solcher Anlagen nach der Reform der IAEO-Sicherungsmaßnahmen erhöht, jedoch wird eine Entdeckung umso schwieriger, je kleiner eine Anlage ist. Der Betrieb einer Laserisotopenanreicherungsanlage ist nicht zu entdecken. Allerdings gibt es zur Zeit weltweit nur eine einzige funktionsfähige Testanlage, keine kommerzielle Anlage.

Übersicht 6:

Varianten	Brennstoff	Geschätzte Mindestmenge für einen Sprengsatz		Wahrscheinlichkeit der direkten Verwendbarkeit in Einer Kernwaffe	Aufwand zur weiteren Anreicherung über chemische Abtrennung hinaus
		Technischer Anfängerstaat	Fortgeschrittene		
2a	MEU (26 %)	Material nicht direkt verwendbar		Sehr gering	Etwas geringer als bei 20% LEU
3	HEU (93 %)	8 – 20 kg	1,5 – 5 kg	100 % (HEU ist direkt verwendbar)	Anreicherung nicht nötig
3b	MEU (40–60%)	30 – 80 kg, Erfolg ist unwahrscheinlich	5 – 20 kg	Minderung des Risikos gegenüber HEU	deutlich geringer als bei 20% LEU

Wie groß ist das Risiko, daß Brennstoff in die Hände eines Proliferators gelangen kann?

Dies hängt stark von den Lieferanten, den Transportwegen und der Wiederaufarbeitung bzw. Endlagerung des abgebrannten Brennstoffs ab. Der physische Schutz, die Materialkontrolle und -buchhaltung sind in der EU und in den USA sehr gut. Darüber hinaus untersteht das Material in der EU Sicherungsmaßnahmen von Euratom und der IAEO. Solange Transporte und Verarbeitung nur in der EU oder z. B. den USA stattfinden, kann man von vergleichsweise geringen Abzweigungsgefahren ausgehen.

Die Situation kann sich ändern, wenn Lieferländer beteiligt sind, deren physischer Schutz, Materialkontrolle und -buchhaltung nicht an westeuropäische Standards heranreichen. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit illegaler Abzweigungen wird dann gering, besonders wenn es in dem Lieferland keine internationalen Sicherungsmaßnahmen gibt.

Je stärker das zu transportierende Uran angereichert ist, desto größer wird die Motivation zur illegalen Abzweigung. Bei der Variante 2a ist die Motivation noch vergleichsweise gering, denn MEU mit 26% Anreicherung ist nicht direkt waffentauglich. Bei den Varianten 3 würde zunächst HEU transportiert, das direkt waffentauglich ist.

Auch für abgebrannte HEU-Brennelemente des FRM-II gibt es Proliferationsrisiken, wenn sie nach einer Verwendung in Deutschland exportiert werden, da in ihnen noch erhebliche Men-

gen U-235 enthalten sind und die Anreicherung mit 89 % noch hoch ist. Über die Wiederaufarbeitung könnten auch weniger entwickelte Staaten auf technisch relativ einfache Weise an waffenfähiges Material gelangen.

Wie groß ist das Risiko, daß infolge von Nachahmungseffekten ähnliche Projekte wie der FRMII auch in weniger vertrauenswürdigen Staaten stattfinden?

Das Abweichen von der Strategie, keine neuen Forschungsreaktoren, die HEU nutzen, in Betrieb zu nehmen, kann anderen Staaten als Rechtfertigung für eigene Vorhaben dienen, vor allem auch in sich entwickelnden Staaten.

Die Variante 2a (MEU mit 26 %) stellt hier das kleinste Risiko dar, da dieser Brennstoff trotz seiner Klassifikation als HEU nicht waffentauglich ist. Allerdings wird ihre Verwirklichung als ein Verstoß gegen die international eingeführte Definition von HEU (Brennstoff mit 20% Anreicherung und größer) angesehen werden. Die Bemühungen um Nichtweiterverbreitung wären aber offensichtlich, so daß das Risiko einer steigenden Verwendung von HEU (93%) begrenzt ist. Die Varianten 3 können auch bei befristetem Einsatz von HEU einen Nachahmungseffekt nicht ausschließen.

Wie groß ist das Risiko, daß der Welthandel mit diesem Material wieder ansteigt?

Wenn es verstärkte Nachfrage nach HEU-Brennstoff gibt, könnte entsprechend auch das Angebot steigen.

Rußland hat mit der Bundesregierung die Lieferung von HEU-Brennstoff für den FRM-II vertraglich vereinbart. Auch zwischen weiteren Betreibern bzw. den entsprechenden Regierungen in der EU und Rußland werden Verhandlungen zur Lieferung von HEU-Brennstoff geführt.

Bei den Varianten 3a und 3b ist für die Zeit des Einsatzes von HEU-Brennstoff das Risiko einer wachsenden Nachfrage nach HEU-Brennstoff auf dem Weltmarkt gegeben. Bei der Variante 2a ist das Risiko vermeidbar, wenn das Ausgangsmaterial schon vor dem Transport abgereichert wird.

Wie groß ist das Risiko, daß derzeitige Bemühungen um Umstellung von Forschungsreaktoren geschwächt werden?

Bei Verwirklichung der Varianten 3a und 3b könnten für die Zeit des Einsatzes von HEU-Brennstoff die unter Proliferationsgesichtspunkten wünschenswerten Umstellungsbemühungen auf LEU-Brennstoff unter Hinweis auf das Vorbild des FRM-II verzögert oder verhindert werden. Bei der Verwendung von MEU-Brennstoff (Variante 2a) könnte es ebenfalls zu Nachahmungen kommen. Dies hätte jedoch geringere Proliferationsrisiken zur Folge, da eine Anreicherung von ca. 26% nicht direkt waffentauglich ist.

Die Entwicklung von Uran-Molybdän-Brennstoffen höchster Dichte mit einer Anreicherung von 40-60% im Falle von Variante 3b widerspricht den Zielen des internationalen Abreicherungsprogrammes und würde diese gefährden.

g) Versorgung mit Kernbrennstoffen

Grundsätzlich ist die Versorgung mit LEU-Brennstoff gesichert. Bei HEU-Brennstoff ergibt sich die Schwierigkeit, daß das bisherige Lieferland USA seit 1992 i.d.R. keinen HEU-Brennstoff mehr exportiert. Die gesetzlichen Voraussetzungen in den USA sind gegeben, wenn nachgewiesen wird, daß die Anlage mit dem gegenwärtig verfügbaren LEU-Brennstoff nicht betrieben werden kann und wenn verbindliche Absichtserklärungen für die Umstellung des entsprechenden Forschungsreaktors auf LEU-Brennstoff abgegeben werden. Eine entsprechende Absichtserklärung ist für die Umstellung des ILL abgegeben worden. Rahmenabkommen über die Lieferung von HEU-Brennstoff wurden 1996 zwischen Frankreich und Rußland, 1998 zwischen Deutschland und Rußland abgeschlossen. Nach gegenwärtiger Rechtslage ist auch ein Bezug von MEU aus den USA für Neubauten ausgeschlossen. Der für die 26%ige MEU-Variante benötigte Uranbedarf könnte für die ersten Jahre durch Streckung verfügbaren HEU-Brennstoffs gedeckt werden.

Aufgrund fehlender Entsorgungskonzepte hat sich die Kommission nicht mit längerfristigen Entsorgungsfragen beschäftigt.

5. Bewertung der Umrüstungsvarianten

Umrüstungsvariante 1:

Die Umrüstungsvariante 1 (Leistungserhöhung auf 32 MW) erreicht das proliferationspolitische Ziel. Sie kommt aber einem Neubau gleich. Sie macht derart viele Umbaumaßnahmen erforderlich, daß sie angesichts des festgestellten Baufortschritts in einem vertretbaren Zeit- und Kostenrahmen nicht mehr realisiert werden kann. Hinsichtlich der atomrechtlichen Genehmigung muß von einem gänzlich neuen Genehmigungsverfahren einschließlich neuer Öffentlichkeitsbeteiligung und Umweltverträglichkeitsprüfung sowie neuer wasserrechtlicher Verfahren ausgegangen werden. Nach Abschätzungen und bisherigen Erfahrungen des Antragstellers wird eine derartige Umstellung mindestens 9 Jahre dauern, wobei als zusätzlicher Faktor für den Zeitplan die momentan bestehende baurechtliche Veränderungssperre am Garchingener Forschungsgelände genannt wird.

Umrüstungsvarianten 2a und 2b:

Die Umrüstungsvarianten 2a und 2b, mit Durchführung der notwendigen Änderungen vor der Inbetriebnahme des FRM-II, erreichen das proliferationspolitische Ziel, da auch 26%iger MEU-Brennstoff nicht direkt waffentauglich ist. Beide Varianten sind in Studien sowohl von ANL als auch von TUM untersucht worden. Die Ergebnisse beider Studien weichen z. T. aufgrund unterschiedlicher Ausgangsannahmen voneinander ab. Die Ursachen dafür konnten nicht abschließend geklärt werden, u.a. weil die Kommission im Rahmen ihres Auftrages keine eigenen Berechnungen in Auftrag geben konnte. Übereinstimmend läßt sich feststellen, daß Veränderungen an der Geometrie von Brennelement und Reaktorkern (kernnahen Einbauten) notwendig werden und daß deutliche Minderungen des ungestörten thermischen Neutronenflusses in Höhe von 15 - 30 % auftreten.

Die erforderlichen Umrüstungsmaßnahmen haben Auswirkungen, die auch das Sicherheitssystem betreffen können. Deshalb hat die Bayerische Staatsregierung erklärt, daß sie für diesen Fall eine Öffentlichkeitsbeteiligung durchführen wird. Ihre Notwendigkeit wurde in der Kommission unterschiedlich bewertet. Unterschiedliche Auffassungen bestehen in der Kommission sowohl bei der Schätzung des Zeitaufwands für die Umrüstungsmaßnahmen (3 - 4 Jahre bzw. mindestens 8 Jahre, wenn die Umstellung zum jetzigen Zeitpunkt beginnt), als auch in der Einschätzung, wann die für die Verwirklichung der Variante 2b erforderliche U_3Si -Brennstoffplatten industriell verfügbar sein werden.

Kostenschätzungen sind auch hier ohne konkrete, detaillierte Umbaupläne schwierig. Nach Angaben des Betreibers, der sich teilweise auf Angaben der Lieferfirma Siemens stützt, werden Kosten von gut 300 Mio. DM entstehen.

Umrüstungsvarianten 3a und 3b:

Die Umrüstungsvarianten 3a und 3b bedeuten das Anfahren des FRM-II in der gegenwärtigen Auslegung mit HEU und spätere Umrüstung auf UMo-LEU-Brennstoff mit einer Dichte von ca. 8 g U/cm^3 (3a) oder Umrüstung auf UMo-MEU-Brennstoff mit ca. 40 - 60 % Anreicherung (3b).

Bei der Variante 3a wird das proliferationspolitische Ziel verfehlt, solange HEU-Brennstoff eingesetzt wird. Mit Verwendung von UMo-LEU-Brennstoff nach einer Umrüstung um 2008 – der vorgesehene Brennstoff muß noch entwickelt werden – wird das proliferationspolitische Ziel erreicht. Der Reaktor muß dabei im radioaktiven Zustand umgebaut werden. Ein solcher Umbau wurde am ILL Anfang der 90er Jahre, allerdings unter besonderen Bedingungen, innerhalb von ca. 3 Jahren durchgeführt. Kostenschätzungen liegen zu dieser Variante nicht vor.

Bei der Variante 3b wird das proliferationspolitische Ziel verfehlt, solange HEU-Brennstoff eingesetzt wird. Beim Übergang zur Verwendung von UMo-MEU-Brennstoff mit einer Anreicherung von ca. 40% - 60% wird das Proliferationsrisiko vermindert, die Verwendung von

MEU verstößt aber gegen die Ziele des internationalen Abreicherungsprogramms. Ein Umbau ist vermutlich nicht erforderlich, da das Brennelement äußerlich unverändert bleibt. Auch hier ist eine Umrüstung erst um 2008 möglich, da der entsprechende Brennstoff entwickelt werden muß. Eine zusätzliche Zeitverzögerung ist infolge der notwendigen atomrechtlichen Änderungsgenehmigung nicht zu erwarten, da das Verfahren bei laufendem Reaktorbetrieb durchgeführt werden kann. Da hier keine sicherheitsrelevanten Änderungen der Sicherheitssysteme erforderlich sind, besteht nach § 4 Abs. 4 AtVfV ein Ermessensspielraum für die Genehmigungsbehörde, von einer Öffentlichkeitsbeteiligung abzusehen. Für diesen Fall macht der Betreiber Kostenangaben in Höhe von 12 Mio. DM geltend.

6. Abschlußbemerkung

Der Umbau des FRM-II zu einer Leistung von 32 MW kommt einem Neubau gleich.

Die Umrüstung des FRM-II auf den Einsatz von LEU-Brennstoff vor seiner Fertigstellung ist eine proliferationspolitisch sinnvolle und technisch realisierbare Option. Es besteht Einigkeit, daß ein solcher Umbau grundsätzlich denkbar ist und unzumutbare Beeinträchtigungen für die Wissenschaft vermeidbar sind, wenn er in einem fest kalkulierbaren Zeitraum von maximal 3 Jahren durchgeführt werden kann. Es bestehen allerdings unterschiedliche Einschätzungen zum Genehmigungsaufwand und zur Zeitdauer des Umbaus. Dies bedingt auch unterschiedliche Auffassungen über das Ausmaß der Beeinträchtigung der wissenschaftlichen Forschung.

Mit der Fertigstellung des FRM-II und seiner Inbetriebnahme mit HEU-Brennstoff wird das proliferationspolitische Ziel verfehlt. Die spätere Umstellung auf den Einsatz niedrig angereicherten UMo-LEU-Brennstoff, sobald dieser zur Verfügung steht, verwirklicht das proliferationspolitische Ziel. Der Umbau erfordert einen Zeitaufwand von etwa 3 Jahren. Eine solche Option ist im Zeitaufwand für den Umbau kalkulierbar und vermeidet so unzumutbare Beeinträchtigungen für die Wissenschaft.

Die spätere Umstellung auf den Einsatz von UMo-MEU-Brennstoff mittlerer Anreicherung (ca. 50%) vermindert das Proliferationsrisiko, verstößt aber gegen die Ziele des internationalen Abreicherungsprogramms.

Für die verschiedenen Varianten bedürfen die Zusatzkosten und Entsorgungsprobleme weiterer Prüfungen und Bewertungen.

Für die Umbauvarianten 2a, 2b, 3a und 3b ist eine deutsche Beteiligung an laufenden internationalen Arbeiten zur Entwicklung neuer niedrig angereicherter UMo-Brennstoffe für Forschungsreaktoren mit einer Dichte bis 8 g U/cm^3 wünschenswert.

7. Abkürzungsverzeichnis

ANL	Argonne National Laboratory (USA)
AtG	Atomgesetz
AtVfV	Atomrechtliche Verfahrensverordnung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CERCA	Compagnie pour l'étude et la réalisation des combustibles atomiques
FRM	Forschungsreaktor München
FZJ	Forschungszentrum Jülich GmbH (Jülich)
GKSS	GKSS Forschungszentrum Geesthacht
GSI	Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH (Darmstadt)
HEU	High Enriched Uranium
HSFK	Hessische Stiftung für Friedens- und Konfliktforschung (Frankfurt/Main)
HMI	Hahn-Meitner-Institut (Berlin)
IAEO	Internationale Atomenergieorganisation
IANUS	Interdisziplinäre Arbeitsgruppe Naturwissenschaft, Technik und Sicherheit (TU Darmstadt)
ILL	Institut Laue-Langevin (Grenoble)
INFCE	International Nuclear Fuel Cycle Evaluation
LEU	Low Enriched Uranium
MEU	Medium Enriched Uranium
NV	Nichtverbreitung
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
RERTR	Reduced Enrichment for Research and Test Reactors
TG	Teilerrichtungsgenehmigung
TUM	Technische Universität München
