

Bayerisches Staatsministerium
für Landesentwicklung und
Umweltfragen
Postfach 81 80 90

8000 München 81

Bayer Staatsministerium für Landesentwicklung u. Umweltfragen			
068451		17. DEZ. 1992	
Aktenz.	9209	Anl.	18
Ref.	921	Ref.	12

IHRE NACHRICHT

UNSERE ZEICHEN

TELEFON-DURCHWAHL

FAX-DURCHWAHL

DATUM

G2-ETP 1 schr-bs -14 85

-21 57

15.12.92

A.-Nr.: 5272

Kernkraftwerk Gundremmingen (KRB II)
Einsatz von Mischoxid-Brennelementen
StMLU-Auftrag 9209-921-11665 vom 08.03.91

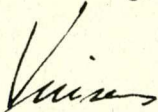
Sehr geehrter Herr Locke,

vereinbarungsgemäß erhalten Sie als Anlage unsere Kurzstellungnahmen zu den von Ihnen am 07.12.92 übermittelten Themenblöcken 1, 2, 3 und 5 der Einwendungen außer Punkt 2.6 und 3.1 (s.u.).

Die Stellungnahmen zu den Themenblöcken 4 und 6 sowie den Punkten 2.6 und 3.1 werden, wie zwischen Herrn Dr. Eder und unserem Herrn Guglhör besprochen, bis zum 22.12.92 vorgelegt.

Mit freundlichen Grüßen

Sparte Energietechnik



Dr. Vinzens

Anlagen (10x) bei 921

je 1x an

922

944

957

971 °

923 gegeben.

*ersetzt durch Überarbeitung
vom 22./23.12.92*

5.3 Kriß fällt weg

Bayerisches Staatsministerium
für Landesentwicklung und
Umweltfragen
Postfach 81 01 40

8000 München 81

*Kopie für 92
gefestigt*

Bayer Staatsministerium für Landesentwicklung u. Umweltfragen	
044984	12. AUG. 1991
Aktenz.: 9209	Anw. 14/8
Abt. 8	Ref. 921

12.8. 13.8

12.08.91

Unsere Zeichen
G2-ETP 1 shm-br
A-Nr.: 3458

Durchwahl
14 70

Datum
09.08.91

Kernkraftwerk Gundremmingen II (KRB II), Block B/C
StMLU-Auftrag 9209-933-47762 vom 22.10.1990
Einsatz von Mischoxidbrennelementen
Stellungnahmen zu den Einwendungen

Sehr geehrte Herren,

anbei übersenden wir Ihnen die Entwürfe unserer Stellungnahmen zu
den Einwendungen gegen den Einsatz von Mischoxidbrennelementen im
Kernkraftwerk Gundremmingen (KRB II).

Sie wurden erstellt auf der Basis unserer Zusammenstellung der
Themen (Aktennotiz vom 04.07.1991 schr-bs).

Mit freundlichen Grüßen

Sparte Energietechnik

i. A. Schmid

*erstellt durch Erd-
fassung vom 15.12.92
H-Nr. 5272*

- 1.1 Der Anteil der verzögerten Spaltneutronen wird geringer. Die Regelbarkeit und die Abschaltbarkeit sowie das dynamische Verhalten des Reaktors kann dadurch nachteilig beeinflußt werden.

Stellungnahme:

Es ist richtig, daß der Anteil verzögerter Neutronen (β) bei Plutonium-239 Spaltungen geringer ist als bei Uran-Spaltungen. Dies ist auch bei Uran-Brennelementen zu berücksichtigen, in denen mit zunehmendem Abbrand Plutonium entsteht. Sein Anteil an den Kernspaltungen im Uran-Brennelement steigt von ca. 30 % am Ende des ersten Einsatzzyklus auf über 60 % im vierten Einsatzzyklus eines Brennelements an. Dem entsprechend nimmt der Anteil verzögerter Neutronen im Uran-Element von ca. 0,72 % im frischen Zustand auf ca. 0,48 % bei 40 MWd/kgU Abbrand ab. Im MOX-Element liegt der Anteil verzögerter Neutronen weitgehend abbrandunabhängig bei ca. 0,45 %.

Die wesentliche Betriebstransiente mit schneller Reaktivitätszufuhr, der Ausfall des Hauptwärmesenke, wurde zur Berücksichtigung der abnehmenden β -Werte der Uran-Elemente bereits vor Genehmigung des Anlagenbetriebs mit einer Variation des Anteils verzögerter Neutronen zwischen 0,75 % und 0,4 % analysiert. Dabei ergaben sich keine nennenswerten Unterschiede im Ablauf und in den Auswirkungen. Neuere Analysen mit verbesserten Verfahren bestätigen dies. Bei anderen, schnell ablaufenden Reaktivitätsstörfällen, wie z. B. dem Anfahrstoßfall, ergeben sich beim MOX-Kern im Vergleich zum Uran-Kern Unterschiede nur im zeitlichen Ablauf, aber nicht in den Auswirkungen.

Einflüsse von β auf Störfall- und Transientenverläufe sind allgemein nur bei störfallbedingter, schneller und hinreichend großer Reaktivitätszufuhr gegeben. Bei Regelungsvorgängen ist die Reaktivitätszufuhr langsam und wird durch die Rückwirkung von Zustandsänderungen (Brennstofftemperatur, Dampfblasengehalt) kompensiert. Der Einfluß der Anteils verzögerter Neutronen auf solche Vorgänge ist verschwindend gering.

Die Abschaltbarkeit des Reaktors wird durch Änderungen von β nicht beeinträchtigt. Der erwünschte prompter Abfall des Neutronenflusses nach einer Schnellabschaltung wird mit abnehmendem Anteil vergrößerter Neutronen größer.

(Dr. Faber)

- 1.2 Die Wirksamkeit der thermischen Neutronenabsorber (Bor, Hafnium) in den Steuerstäben sowie die Reaktivitätsbindung durch Gadolinium nimmt ab. Die Regelbarkeit und die Abschaltbarkeit des Reaktors kann dadurch nachteilig beeinflusst werden.

Stellungnahme:

Es ist richtig, daß die Wirksamkeit thermischer Neutronenabsorber im sog. "härteren", d. h. vor allem im thermischen Energiebereich abgesenkten, Neutronenspektrum von MOX-Brennelementen abnimmt. Die Steuerstabwirksamkeit würde in einem reinen MOX-Kern je nach Dampfblasengehalt und Abbrand um 5 bis 20 Prozent geringer sein als im Uran-Kern. Bei dem vorgesehenen Anteil an MOX-Brennelementen im Kern ist der Unterschied geringer. Der Einfluß des Beladungsplans, d. h. der Anordnung frischer und teilweise abgebrannter Brennelemente (BE) im Reaktorkern auf die Steuerstabwirksamkeit und damit auf die Abschaltsicherheit ist deutlich stärker als der Einfluß der MOX-BE. Eine Analyse der Abschaltreaktivität für einen exemplarischen MOX-Gleichgewichtskern ergab z. B. eine höhere Abschaltsicherheit als sie im 5. und 7. Beladezyklus von Block B mit einem Uran-Kern gegeben war.

Es ist auch richtig, daß die Wirksamkeit von Gadolinium in den MOX-BE geringer ist als in vergleichbaren Uran-BE. Dies hat jedoch nur zur Folge, daß die Reaktivitätszunahme im MOX-BE mit zunehmendem Gadolinium-Ausbrand geringer ausfällt als im Uran-BE. Eine denkbare Verringerung der Abschaltsicherheit mit dem Gadolinium-Ausbrand würde sich dabei ebenfalls abschwächen.

Die Regelbarkeit des Reaktors wird durch die angeführten Einflüsse der MOX-BE nicht beeinträchtigt. Der etwas geringere Reaktivitätsanstieg bei Gadoliniumausbrand und die geringere Xenon-Wirksamkeit bringen hier eher geringfügige Vorteile.

(Dr. Faber)

- 1.3 Die Wirksamkeit des thermischen Neutronenabsorbers (Natriumpentaborat) im 2. Abschaltssystem (Vergiftungssystem) nimmt ab. Die Abschaltbarkeit des Reaktors bei einem unterstellten Ausfall der Reaktorschnellabschaltung mit den Steuerstäben kann dadurch nachteilig beeinflußt werden.

Stellungnahme:

Es ist richtig, daß die Borwirksamkeit im MOX-Brennelement (BE) geringer ist als im Uran-BE. Die Kapazität des Boriersystems bei KRB II reicht jedoch aus, um auch beim vorgesehenen MOX-BE-Einsatz die für das 2. Abschaltssystem geforderte Abschaltreaktivität zu erzielen. Eine Erhöhung der Borwirksamkeit könnte übrigens durch Verwendung von mit B 10 angereichertem Bor erzielt werden. B10 ist das im natürlichen Bor zu ca. 20 % enthaltene, stark Neutronen absorbierende Bor-Isotop.

(Dr. Faber)

1.4 Verbiegungen der Brennelementkästen infolge einseitiger Neutronenbestrahlung verstärken sich. Die Reaktorschnellabschaltung mit den Steuerstäben kann dadurch behindert werden.

Stellungnahme:

Der schnelle Neutronenfluß bewirkt eine Längenzunahme der Brennelementkastenwände (BEK-Wände), vor allem infolge des Wachsens des Werkstoffs Zircaloy. Bei Vorliegen von Neutronenflußgradienten über den Brennelementquerschnitt ergibt sich ein unterschiedlicher Längenzuwachs gegenüberliegender BEK-Wände. Hieraus resultiert eine Verbiegung der BEK. Dies gilt sowohl beim Einsatz von Uran-BE wie auch beim Einsatz von MOX-BE.

Zur Absicherung, daß keine BEK mit unzulässig hohen Verbiegungen eingesetzt werden, wird nach jedem BE-Wechsel eine repräsentative Anzahl von BEK vermessen.

Es ist richtig, daß durch den geringfügig, um ca. 10 % erhöhten schnellen Neutronenfluß im MOX-BE tendenziell ein geringfügig erhöhtes Wachsen des Werkstoffs zu erwarten ist. Durch die Vermessung der BEK nach jedem Beladezyklus wird jedoch unabhängig vom MOX-BE-Einsatz sichergestellt, daß BEK mit stärkeren Verbiegungen rechtzeitig ausgetauscht werden.

Die Reaktorschnellabschaltung durch Einfahren der Steuerstäbe mit dem Schnellabschaltssystem wird durch den Einsatz von MOX-Elementen nicht verzögert. Bei der Einsatzplanung von Brennelementkästen wird stets darauf geachtet, daß sich durch Verbiegungen bereits bestrahlter Kästen der Verfahrspalt für das Steuerelement nicht unzulässig verkleinert. Es wird darauf geachtet, daß das Steuerelement mit dem mechanischen Antrieb jederzeit verfahren werden kann. Dazu werden die Kästen so eingesetzt, daß selbst bei einer Zunahme der Verbiegungen im Folgezyklus die Verengung des Verfahrspaltes auf einen zulässigen Wert begrenzt bleibt. Eine Schwergängigkeit, die auf eine stärkere Verengung des Verfahrspaltes hindeuten würde, wird darüber hinaus beim Verfahren des Steuerelements durch die Auslösung einer Trennschaltermeldung erkannt. Die Steuerelemente werden gezielt im Rahmen einer wiederkehrenden Prüfung vor jedem Anfahren des jeweiligen Blockes nach dessen Revisions-Stillstand verfahren. Ferner erfolgt auch während eines Zyklus im Rahmen von Laständerungen, bei Regelvorgängen oder zur Kompensation des Abbrandes von Spalt- bzw. Absorber-Material ein Verfahren von Steuerelementen.

(Dr. Faber)

- 1.5 Der Moderator Temperaturkoeffizient der Reaktivität wird bei kaltem Reaktor positiv. Die inhärente Sicherheit und die Regelbarkeit des Reaktors können dadurch beeinträchtigt werden.

Stellungnahme:

Sicherheitstechnisch wichtig für die inhärente Sicherheit und die Regelbarkeit ist der negative Dampfblasenkoeffizient der Reaktivität und ein negatives Vorzeichen des Moderator Temperaturkoeffizienten vor Erreichen der Betriebstemperatur. Auch bei Uran-Kernen ist der Moderator Temperaturkoeffizient im kalten Zustand beim Siedewasserreaktor zunächst positiv. Er wechselt sein Vorzeichen bei ca. 50 °C. Für einen Kern mit 300 MOX-BE wurde der Vorzeichenwechsel für ca. 90 °C berechnet. Auch dies liegt hinreichend weit unterhalb der Betriebstemperatur von 286 °C.

Bei Abschaltreaktivitätsbilanzen muß sowohl bei Uran-Kernen wie auch bei einem Kern mit MOX-BE berücksichtigt werden, daß der kalte Zustand i. a. nicht der reaktivste Zustand ist. Wegen des kleinen Betrags des zunächst positiven Moderator Temperaturkoeffizienten ist dieser Einfluß auf die Abschaltsicherheit in beiden Fällen jedoch sehr gering.

(Dr. Faber)

1.6 Der Brennstofftemperatur- und der Dampfblasenkoeffizient der Reaktivität werden stärker negativ. Die Regelbarkeit sowie das dynamische Verhalten des Reaktors können dadurch beeinträchtigt werden.

Stellungnahme:

Es ist richtig, daß der Dampfblasenkoeffizient der Reaktivität bei Einsatz von MOX-BE tendenziell zu stärker negativen Werten verschoben wird. Der Effekt ist für einen Kern mit 300 MOX-BE allerdings geringer als beim Übergang vom 1. Beladezyklus zum 2. Beladezyklus mit unterschiedlich ausgelegten Uran-BE.

Der Brennstofftemperaturkoeffizient ist im Bereich hoher Reaktivität, also im ersten und zweiten Einsatzyklus, im MOX-BE etwas stärker negativ als im Uran-BE. Dies wirkt lokalen Leistungsdichteüberhöhungen geringfügig entgegen und ist positiv zu bewerten.

Eine Verschiebung des Dampfblasenkoeffizienten zu stärker negativen Werten hat unterschiedliche Auswirkungen. Lokale Leistungsdichteüberhöhungen und Leistungserhöhungen (z. B. durch Steuerstabfahren) werden abgeschwächt. Dies ist positiv zu bewerten. Auch Störungen der Kühlung, wie Ausfall der Hauptkühlmittelpumpen, verlaufen günstiger. Andererseits ergibt sich bei Störungen mit Kühlmitteldruckanstieg eine erhöhte Reaktivitätszufuhr. Aus diesem Grund wurden entsprechende Störfallanalysen für den Kern mit 300 MOX-BE durchgeführt. Aufgrund der geringen Unterschiede in der Reaktivitätsrückwirkung ergaben sich erwartungsgemäß auch nur geringe Änderungen in den Ergebnissen im Vergleich zu den Analysen für Uran-Kerne. In bezug auf den Ausfall der Hauptwärmesenke (Turbinenschnellschluß mit verblockter Umleitstation) kann z. B. durch eine geringfügige Anpassung des im Betrieb einzuhaltenden Abstands zur Siedeübergangsleistung die gleiche Sicherheit gegen kritische Siedezustände erreicht werden wie beim reinen Uran-Kern.

Die Unterschiede in den Störfallabläufen zwischen einem Kern mit 300 MOX-BE und einem Folgekern mit Uran-BE waren erwartungsgemäß geringer als beim Übergang vom Erstkern zum 2. Beladezyklus mit stärkerer Verschiebung des Dampfblasenkoeffizienten in negativer Richtung.

Ein weiterer Effekt des stärker negativen Dampfblasenkoeffizienten ist eine Beeinflussung der Stabilitätsgrenze (vgl. Pkt. 1.7).

(Dr. Faber)

- 1.7 Die thermohydraulisch-nukleare Stabilität des Reaktorkerns bei hoher Leistung und gleichzeitig niedriger Kerndurchströmung kann beeinträchtigt werden. Auch die Reaktorsicherheitskommission hat in dieser Hinsicht Bedenken gegen einen Anteil von mehr als 25 % MOX-Brennelementen im Reaktorkern.

Stellungnahme:

Es ist richtig, daß eine Verschiebung des Dampfblasenkoeffizienten zu stärker negativen Werten die Stabilitätsgrenze im unteren Durchsatzbereich in die ungünstige Richtung verschieben kann. Rechnerische Analysen bestätigen dies auch für den Beginn eines Beladezyklus mit 300 MOX-Brennelementen.

Im normalen Leistungsbetrieb ist der Reaktor stets stabil. Lediglich im Teillastbetrieb mit vermindertem Durchsatz kann bei Ausfall von Hauptkühlmittelpumpen die Stabilitätsgrenze erreicht werden.

Bei KRB II werden seit der Inbetriebnahme der Anlagen Messungen zur Ermittlung der Stabilitätsgrenze durchgeführt. Dabei wurden auch bewußt instabile Zustände angefahren, wobei das Verhalten dieser Neutronenflußschwingungen untersucht wurde. Wegen ihrer kurzen Schwingungsdauer von ca. 2 Sekunden sind ihre Auswirkungen auf thermische Grenzwerte des Reaktorkerns auch bei hohen Amplituden gering. Wegen des nicht restlos geklärten Verhaltens der Brennelemente bei andauernden Leistungsschwingungen wird jedoch ein solcher instabiler Betrieb bei deutschen Siedewasserreaktoren durch automatische Maßnahmen verhindert. Bei KRB II sind die Ansprechgrenzwerte der Einfahrانregung für die Steuerstäbe im unteren Durchsatzbereich abgesenkt, so daß bei Ausfall von Hauptkühlmittelpumpen bei niedrigem Kerndurchsatz, wo man an die Stabilitätsgrenze stoßen könnte, eine Leistungsabsenkung erfolgt. Beim vorgesehene Einsatz von MOX-Brennelementen müßte allenfalls der Ansprechwert der Steuerstabeinfahrانregung erneut angepaßt werden.

Nach Aussage der Reaktorsicherheitskommission (255. Sitzung am 19.09.90) ist "derzeit kein Grund erkennbar, der dagegen spricht, die hohen MOX-Anteile (gemeint sind die für KRB II beantragten 300 MOX-BE) zu genehmigen. Bei Kernen mit über 25 % MOX-Anteil sollte vorab geprüft werden, ob die geänderten Reaktorkerne gegenüber Leistungsschwankungen hinreichend stabil sind, und es sollte jeweils über Erfahrungen mit dem bisherigen Einsatz berichtet werden".

Dieser Forderung der RSK wird durch die o. a. Maßnahmen Rechnung getragen.

(Dr. Faber)

1.8 Verbiegungen der Brennelementkästen infolge einseitiger Neutronenbestrahlung verstärken sich. Lokale Leistungsüberhöhungen mit Brennstabbeanspruchungen können auftreten.

Stellungnahme (vgl. auch Pkt. 1.4):

Es ist richtig, daß durch den geringfügig, um ca. 10 % erhöhten schnellen Neutronenfluß im MOX-BE tendenziell ein ebenso geringfügig erhöhtes Schwellen des Werkstoffs Zircaloy der Brennelementkastenwände (BEK-Wände) zu erwarten ist. Aufgrund des i. a. gegebenen Neutronenflußgradienten über den Brennelementquerschnitt ergibt sich ein unterschiedlicher Längenzuwachs gegenüberliegender Brennelementkastenwände. Daraus resultiert eine Verbiegung der Brennelementkastenwände im Millimeterbereich. Dies gilt sowohl beim Einsatz von Uran-BE wie auch beim Einsatz von MOX-BE. Beim MOX-BE wird der Effekt geringfügig stärker (wenige Prozente) ausgeprägt sein.

Zur Absicherung, daß keine BEK mit unzulässig hohen Verbiegungen eingesetzt werden, wird nach jedem BE-Wechsel eine repräsentative Auswahl von BEK vermessen. Die Ergebnisse dieser Messungen dienen der Vorausberechnung und Überwachung der BEK-Verbiegungen.

Es ist richtig, daß eine Verbreiterung des Wasserspalts zwischen benachbarten BEK zu einer Erhöhung der Leistungsdichte in den Randstäben der benachbarten Brennelemente führt. Dies wird daher bei der Brennelementeinsatzplanung und bei der Kernüberwachung im Hinblick auf die maximalen lokalen Leistungsdichten und den Sicherheitsabstand gegen kritische Siedezustände berücksichtigt. Eine Überbeanspruchung der Brennstäbe wird somit durch Berücksichtigung des Einflusses der BEK-Verbiegungen auf die lokalen Brennstableistungen sowohl für Uran-BE wie auch für MOX-BE vermieden.

(Dr. Faber)

1.9 Die Anordnung von MOX-Brennelementen in der Nachbarschaft von Uran-Brennelementen kann zu lokalen Leistungsüberhöhungen mit Brennstab-Überbeanspruchungen bei den MOX-Brennelementen führen.

Stellungnahme:

Es ist richtig, daß durch das übergreifende, weichere Neutronenspektrum der Uran-Brennelemente der thermische Neutronenfluß im Bereich der Randstäbe benachbarter MOX-Brennelemente erhöht ist. Aus diesem Grund werden in den Rand- und Eckpositionen der MOX-Brennelemente Brennstäbe mit deutlich verringertem Spaltstoffgehalt eingesetzt. Dadurch wird sichergestellt, daß es zu keiner Überbeanspruchung der MOX-Brennstäbe kommt. Dabei wird auch der Einfluß des Wasserspalts zwischen den Brennelementkästen berücksichtigt, der gleichfalls zur Erhöhung des Neutronenflusses in den Randstäben beiträgt.

(Dr. Faber)

- 1.10 Montage- bzw. Positionierfehler können bei der stark unterschiedlichen Spaltstoffanreicherung der MOX-Brennstäbe im Brennelement zu lokalen Leistungsüberhöhungen mit Brennstabüberbeanspruchungen führen. Auch das dynamische Verhalten des Reaktors kann dadurch nachteilig beeinflußt werden.

Stellungnahme:

Es ist richtig, daß eine Fehlpositionierung der unterschiedlich mit Spaltstoff angereicherten Brennstäbe zu einer Überbeanspruchung einzelner Brennstäbe bereits im normalen Leistungsbetrieb führen könnte. Dies gilt allerdings in gleicher Weise für Uran- wie für MOX-Siedewasser-Brennelemente. Auch bei einem Uran-Siedewasserelement würde z. B. die Vertauschung eines höher angereicherten zentralen Stabes mit einem niedrig angereicherten Eckstab zum Hüllrohrversagen des fälschlicherweise in der BE-Ecke positionierten Stabes im Leistungsbetrieb führen.

Aus diesem Grund muß durch die Qualitätskontrollen bei der Fertigung von Uran- und MOX-Siedewasser-Brennelementen sichergestellt sein, daß Stabvertauschungen nicht vorkommen können.

Bei der Herstellung der Brennelemente wird darauf geachtet, daß jeder Brennstab mit Tabletten einer Anreicherungsstufe gefüllt wird. Nach dem Befüllen und Verschließen des Stabes wird die Anreicherung mit Hilfe eines Rodscanners geprüft. Der Stab wird durch den Rodscanner geschoben und die Anreicherung des Brennstoffes aufgezeichnet. Anhand dieser Aufzeichnung kann festgestellt werden, ob versentlicht Tabletten anderer Anreicherung in den Stab eingebracht wurden.

Nach der Rodscannerprüfung wird der Stab in einem Magazin deponiert. In diesem Magazin wird der Stab auf einer bestimmten Position abgelegt. Er wird vorpositioniert. Von dieser Position wird der Stab später vom Assemblierungsautomaten in das Brennelementskelett eingezogen.

Vor dem Einziehen der Stäbe wird noch einmal kontrolliert, ob die Positionen des Magazines entsprechend der Vorgabe mit den Stäben der zugehörigen Anreicherung belegt sind. Diese Kontrolle erfolgt anhand der Stabmarkierung.

Weitere Kontrollen zur Prüfung, daß Stäbe nicht fehlpositioniert werden, sind denkbar. Diese Prüfungen können aber erst festgelegt werden, nachdem feststeht, wo und mit welcher Fertigungs-ausrüstung die MOX-Elemente hergestellt werden. Die Zusatzprüfungen müssen sich am Fertigungsverfahren orientieren.

Bei Siedewasser-BE sind uns bisher keine Brennstabvertauschungen bekannt geworden. Dies gilt auch für die bei VAK und KRB A eingesetzten MOX-BE.

(Dr. Faber)

1.11 Die Wärmeleitfähigkeit des Brennstoffs wird geringer, der Wärmeübergang vom Brennstoff zum Hüllrohr wird schlechter. Lokale Überhitzungen und Brennstabüberbeanspruchungen können dadurch auftreten.

Stellungnahme:

Der Unterschied in der Wärmeleitfähigkeit zum Uran-Brennstoff ist bei LWR-MOX mit niedrigem PuO_2 -Gehalt sehr gering. Ein merkbarer Unterschied ist erst bei hohen PuO_2 -Gehalten, wie sie beim Schnellbrüter-Brennstoff vorkommen, gegeben. Der thermische Widerstand des Spaltes zwischen Brennstoff und Hüllrohr ist infolge der Unterschiede in der Freisetzung gasförmiger Nuklide um ca. 7,5 % höher. Hieraus ergibt sich bei gleichen geometrischen Abmessungen eine Temperaturerhöhung von 20 °C im Brennstoff. Dies wird bei der Brennstabauslegung berücksichtigt. Die Abstände zu den zulässigen Temperaturgrenzen sind auch beim MOX-BE ausreichend. Bei den 9x9-MOX- und Uran-BE liegt übrigens das Temperaturniveau um mehr als 200 °C niedriger als bei den früher eingesetzten 8x8-Uran-BE.

(Dr. Faber)

1.12 MOX-Brennstoff begünstigt möglicherweise mechanisch-chemische Wechselwirkungen (sog. PCI-Schäden) zwischen Brennstoff und Hüllrohr. Die Häufigkeit von Hüllrohrschäden kann zunehmen.

Stellungnahme:

Der Schadensmechanismus ist für Uran- und MOX-Stäbe der gleiche. Aufgrund der vergleichbaren Eigenschaften der MOX- und Uran-Brennstäbe bezüglich der Brennstoff-Hüllrohrwechselwirkung ist hier keine höhere Gefährdung der MOX-Brennstäbe zu erwarten. Gefährdet bezüglich pci-Schäden sind vor allem die Randstäbe der Brennelemente, die bei Steuerstabausfahrvorgängen hohe Leistungsrampen im Bereich der Steuerstabspitze eines ausfahrenden, benachbarten Steuerstabs erfahren. Die lokalen Leistungsdichten werden bezüglich der Einhaltung der pci-Schadensschwellen während des Betriebs überwacht. Hierzu gehören z. B. die Vermeidung oder Verlangsamung bestimmter Steuerstabausfahrvorgänge.

Es ist anzumerken, daß bei MOX-BE sowohl bei DWR-Anlagen, wie auch bei SWR-Anlagen (KRB A, VAK) keine pci-Schäden aufgetreten sind.

Allgemein ist allerdings zu empfehlen - und das gilt sowohl für MOX- wie für Uran-BE - Hüllrohre mit Zirkon-Innenbeschichtung zu verwenden (sog. Liner-Hüllrohre). Bei dieser Art von Hüllrohren wird die pci-Schadensschwelle auf im Betrieb i. a. nicht erreichte Leistungsdichtewerte angehoben.

(Dr. Faber)

- 1.13 Im Zusammenhang mit dem Einsatz von MOX-Brennelemente sind möglicherweise Erhöhungen der Brennelement-Entladeabbrände geplant. Die Häufigkeit von Hüllrohrschäden kann dadurch zunehmen.

Stellungnahme:

Im Sicherheitsbericht wird der Ermittlung des Aktivitätsinventars der entladenen Brennelemente ein mittlerer Entladeabbrand von 37 MWd/kgSM zugrundegelegt. Dies entspricht etwa dem heutigen mittleren Abbrandwert für eine Entlademenge. Nach Aussage des Betreibers ist dieser Wert auch für die MOX-Brennelemente repräsentativ.

Im Rahmen der Brennstabauslegung wurde allerdings rechnerisch ermittelt, daß die MOX-Brennstäbe bei maximalen Brennstababbränden, die einem Brennelementabbrand von etwa 52 MWd/kgSM entsprechen, den betrieblichen Belastungen standhalten. Dieser Wert liegt deutlich oberhalb der Streuung der Brennelementabbrände bei einem Mittelwert von 37 MWd/kgSM. Die Brennstabauslegung wurde von uns hierfür ebenfalls rechnerisch überprüft, wobei keine unzulässigen Beanspruchungen festgestellt wurden.

Es ist gängige Praxis, sich beim Einsatz neuer Brennelemente nicht mit rechnerischen Analysen zufrieden zu geben, sondern betriebsbegleitend Inspektionen an den Brennelementen durchzuführen, um deren auslegungsgerechtes Verhalten zu überprüfen.

Insbesondere eine Erhöhung der Brennelementabbrände erfolgt auch bei vorliegenden rechnerischen Nachweisen stets nur im Rahmen eines speziellen Inspektionsprogramms, durch das sichergestellt wird, daß die Brennelemente nur eingesetzt werden, wenn sie sich auslegungsgemäß bewähren.

Es ist auch anzumerken, daß Abbranderhöhungen bisher nicht zu erhöhten Hüllrohrschäden geführt haben. Hüllrohrschäden beim SWR traten in der Regel aufgrund von Fertigungsmängeln bereits bei mäßigen Abbränden, z. B. in der zweiten Standzeit der Brennelemente auf.

(Dr. Faber)

1.14 Rechnerische Vorausanalysen können die Sicherheit neuer Reaktorkerne mit MOX-BE nicht mehr ausreichend beweisen. Die Sicherheitsreserven der Reaktorkernauslegung werden möglicherweise bei MOX-Einsatz geringer.

Stellungnahme:

Die exemplarischen Analysen zur Kernausslegung und zu Störfallabläufen für einen Kern mit 300 MOX-Brennelemente liefern ausreichende Informationen, um den Einfluß des beantragten MOX-BE-Einsatzes auf die sicherheitstechnischen Kenngrößen der Kernausslegung und die Störfallabläufe zu bewerten. Da dieser Einfluß auf die Kernausslegung überschaubar gering und auf die Störfallanalysen nahezu vernachlässigbar ist, sind auch für Übergangskerne mit geringerem MOX-Anteil keine neuartigen Effekte zu erwarten. Analysen für einen Kern mit geringerer Anzahl von MOX-BE wurden übrigens ebenfalls vorgelegt.

Unabhängig von diesen Analysen wird für jeden konkreten Betriebszyklus unter Berücksichtigung der tatsächlich vorgesehenen Kernbeladung der vollständige Nachweis erbracht, daß alle sicherheitstechnischen Anforderungen erfüllt werden. Dabei gibt man sich auch nicht mit rechnerischen Nachweisen zufrieden. Neben den Inspektionen und Prüfungen an wiedereinzuzusetzenden Brennelementen werden beginnend mit der Kernbeladung bis zur Aufnahme des Nennleistungsbetriebs meßtechnische Überprüfungen sicherheitstechnischer Kenngrößen, wie z. B. der Abschaltsicherheit, der Steuerstabwirksamkeit, des Moderatortemperaturkoeffizienten, der Leistungsdichteverteilung, durchgeführt. Speziell beim MOX-Einsatz werden zusätzliche Messungen zu Unterschieden in der Steuerstabwirksamkeit oder zur Ermittlung der Stabilitätsgrenze durchgeführt werden. Auch an Gamma-scan-Messungen zur Überprüfung der brennstabweisen Leistungsdichteverteilung ist gedacht. Vergleiche zwischen Rechnung und Messung ergaben im übrigen schon beim früheren Einsatz von MOX-BE in den Siedewasserreaktoren KRB A und VAK gute Übereinstimmung.

Bezüglich der Sicherheitsreserven der Reaktorkernausslegung ist festzustellen, daß die im Betrieb einzuhaltenden Sicherheitsabstände zu Auslegungsgrenzen und sonstige Grenzwerte, wie z. B. die Abschaltreaktivität, deren Einhaltung für jede Kernnachladung nachzuweisen ist, auch beim Einsatz von MOX-BE beibehalten werden.

(Dr. Faber)

1.15 Die Neutronenökonomie und die reaktorphysikalischen Eigenschaften des Reaktors können sich durch einen erhöhten Anteil von Aktiniden im MOX-Brennstoff verschlechtern.

Stellungnahme:

Es ist richtig, daß der Neutroneneinfang in den thermisch nicht spaltbaren Plutoniumisotopen Pu 238, Pu 240, Pu 242 einen ungünstigen Einfluß auf die Neutronenökonomie hat. Dies wird jedoch weitgehend dadurch ausgeglichen, daß bei diesen Prozessen thermisch spaltbare Plutoniumisotope mit hohen Spaltquerschnitten entstehen. Höhere Aktiniden entstehen in so geringen Mengen, daß ihr Einfluß auf die Neutronenökonomie vernachlässigbar ist.

Neutronenökonomische Gesichtspunkte sind im übrigen nicht von sicherheitstechnischer Bedeutung.

(Dr. Faber)

1.16 Der Moderator kann durch härtere bzw. stärkere Neutronenstrahlung höher belastet werden.

Stellungnahme:

Der hauptsächliche Effekt der sogenannten Härtung des Neutronenspektrums im MOX-BE besteht in einer deutlichen Absenkung der Neutronenflußdichte im thermischen Energiebereich. Demgegenüber ist die Erhöhung des schnellen Neutronenflusses, die von ca. 14 % beim frischen MOX-BE über ca. 7 % nach 2 Einsatzyklen auf 0 % bei Einsatzenende abnimmt, vergleichsweise gering. Beim vorgesehenen Anteil von 38 % MOX-BE im Kern ist der Effekt noch deutlich geringer. Ein Einfluß auf die Eigenschaften des Moderators, z. B. durch erhöhte Radiolyse, ist vernachlässigbar gering.

(Dr. Faber)

1.17 Bei Kernschmelzunfällen kann es zu prompt kritischen Leistungsexkursionen in der Kernschmelze kommen (sog. Bethe-Tait-Unfall).

Stellungnahme:

Der Bethe-Tait-Störfall ist ein denkbarer Reaktivitätsstörfall bei sogenannten schnellen Reaktorsystemen mit hoch angereichertem Brennstoff, die ohne Moderator kritisch werden. Auslösend für eine überpromptkritische Leistungsexkursion kann bei einem natriumgekühlten schnellen Reaktor eine Kühlmitteldurchsatzstörung bei positivem Natriumdampfblasenkoeffizienten der Reaktivität und Versagen der Schnellabschaltung sein. Bei anschließenden Kernschmelzvorgängen sind beim hochangereicherten Brennstoff dann auch Kompaktionen denkbar, die zu Rekritikalität führen können.

Kernschmelzvorgänge sind bei KRB II aufgrund der Auslegung der Not- und Nachkühlsysteme nicht möglich. Ein auslösendes Ereignis wie beim schnellen Reaktor ist wegen des negativen Dampfblasenkoeffizienten beim Leichtwasserreaktor nicht möglich. Unterstellt man dennoch ein Versagen der Kühlung und eine Freilegung des Reaktorkerns, so würden die Steuerstäbe aufgrund ihres niedrigeren Schmelzpunktes voraussichtlich zuerst abschmelzen. Der lediglich durch Dampf gekühlte Kern bliebe wegen zu geringer Moderation unterkritisch. Würde ein solcher Zustand erreicht, wäre es falsch, unboriertes Wasser zur Kühlung des Kerns einzuspeisen. Hierbei wäre Rekritikalität möglich, allerdings keine prompte, da das Wasser bei Leistungsaufnahme verdampfen würde. Im Rahmen der Notstandsmaßnahmen ist daher vorgesehen, das borierte Wasser des Boriersystems in den Kern einzuspeisen, um die Unterkritikalität sicherzustellen und den Kern mit boriertem Wasser bedeckt zu halten.

Unterstellt man trotzdem ein Schmelzen des Kerns, so wäre bei Vorliegen einer "geeigneten" Mischung von geschmolzenem Kernbrennstoff und unboriertem Wasser oder Wasserdampf - ohne Berücksichtigung der Absorptionswirkung der geschmolzenen Steuerstäbe - auch hier eine Rekritikalität denkbar. Hier ist allerdings kein Unterschied zwischen MOX- und Uran-Brennstoff gegeben. Bei gleichem Moderator-zu-Brennstoff-Verhältnis wären für MOX-Brennstoff unter den gegebenen Randbedingungen voraussichtlich größere Massen zum Erreichen der Kritikalität erforderlich.

2.1 Ein Ausfall der Hauptwärmesenke oder der Kühlmittelumwälzpumpen führt möglicherweise zu einer prompten Leistungsexkursion (der Reaktor kann "durchgehen")

Stellungnahme:

Für die angeführten Störungen wurden Analysen durchgeführt, die zeigen, daß der Einfluß der MOX-BE im beantragten Umfang auf die Störungsabläufe sehr gering ist.

Beim Ausfall der Hauptwärmesenke bleibt der im Betrieb einzuhaltende und meßtechnisch überwachte Wert des Abstandes zur Siedeübergangsleistung im Bereich der auch bisher üblichen Werte. Auch bei unterstelltem Versagen der Schnellabschaltung bleibt der Kühlmitteldruck mit 83 bar weit unter dem zulässigen Grenzwert.

Beim Ausfall von Kühlmittelumwälzpumpen ist der Störungsablauf beim Kern mit MOX-BE etwas günstiger als beim Uran-Kern.

Prompte Leistungsexkursionen sind in beiden Fällen nicht möglich.

2.2 Die Anlage ist möglicherweise von der Auslegung her nicht für MOX-Einsatz geeignet

Stellungnahme:

Der Einfluß der Eigenschaften der MOX-BE auf die Reaktorauslegung wird in bezug auf die Leistungsdichteverteilung durch die Auslegung der MOX-BE mit niedrigen Spaltstoffanteilen in den Randstäben der BE berücksichtigt. In bezug auf die Abschaltsicherheit ist der Einfluß der MOX-BE deutlich geringer als der Einfluß des Brennelementeinsatzplans.

Durch Störfall- und Transientenanalysen wurde gezeigt, daß der Einfluß der MOX-BE auf das dynamische Verhalten des Kerns sehr gering und für die Störfallauswirkungen vernachlässigbar gering ist.

Die Auslegung der Anlagensysteme, wie z.B. der Kühlsysteme, sind durch den MOX-Einsatz nicht betroffen.

Auch die Brennelementlagereinrichtungen sind für den Einsatz von MOX-BE ausgelegt.

(Dr. Faber)

2.3 Die Sicherheitsreserven der Anlagenauslegung werden möglicherweise bei MOX-Einsatz geringer.

Stellungnahme:

Für den Reaktorkern sind bestimmte Sicherheitsabstände zu Auslegungsgrenzen festgelegt, wie z.B. der Abstand zu kritischen Siedezuständen, sowie bestimmte Grenzwerte, wie z.B. der minimale Betrag der Abschaltreaktivität. Zusätzliche "Reserven" zu diesen Abständen bzw. Grenzwerten werden in erster Linie durch den Brennelementeinsatzplan bestimmt. Der Einfluß der MOX-BE ist hierfür von untergeordneter Bedeutung. So ist z.B. der Betrag der Abschaltreaktivität für einen exemplarisch analysierten Kern mit 300 MOX-BE größer als in früheren Beladezyklen mit reinen Uran-Kernen.

Die geforderte Abschaltreaktivität von 5 % bei Abschaltung mit dem Boriersystem wird auch beim Kern mit 300 MOX-BE eingehalten. Die zusätzliche "Reserve" ist dabei allerdings geringer als bei Uran-Kernen. Sie könnte jedoch durch die Verwendung von mit B10 angereichertem Bor z. B. auch auf höhere Werte als bei Uran-Kernen angehoben werden. Dieses Beispiel zeigt, daß Sicherheitsreserven der Auslegung durch kompensierende Maßnahmen erhalten bleiben können, sofern dies sicherheitstechnisch erforderlich erscheint. Dies gilt im übrigen auch bei der Änderung der Auslegung von Uran-BE.

(Dr. Faber)

2.4 Die Erfahrungen über MOX-Einsatz in Siedewasserreaktoren sind möglicherweise zu gering. Ohne Risikostudie für Siedewasserreaktoren kann das Gefährdungspotential nicht ausreichend beurteilt werden.

Stellungnahme:

Im Versuchsatomkraftwerk Kahl (VAK) wurden in den Jahren 1966 bis 1985 umfangreiche Erfahrungen mit dem Einsatz von MOX-BE in einem Siedewasserreaktor gewonnen. Es wurden MOX-BE verschiedener Hersteller (BNFL, AEG/Alkem, CNEN, Exxon Nuclear, RBU/Alkem) eingesetzt. Auch verschiedene MOX-BE-Typen wurden erprobt, sogenannte "Insel-BE", bei denen MOX-Brennstäbe nur im Innern des BE eingesetzt waren und "Voll-MOX-BE", bei denen der Plutonium-Gehalt der Randstäbe deutlich abgesenkt war, analog zur Auslegung der für KRB II vorgesehenen MOX-BE. Der Anteil der MOX-BE im Kern betrug kurzzeitig 100 %. Dies entsprach wegen des überwiegenden Anteils der "Insel-BE" allerdings keinem reinen MOX-Kern. Insgesamt wurden in VAK 113 MOX-BE eingesetzt. Schäden an den BE traten nicht auf. Auch Gadolinium als abbrennbares Neutronengift wurde eingesetzt, meist in UO_2 -Stäben, z. T. auch in MOX-Stäben.

In KRB, Block A, wurden in den Jahren 1974 bis 1976 ebenfalls MOX-BE in größerem Umfang eingesetzt. Der höchste Anteil entsprach mit 64 MOX-BE ca. 17 % der Kernbeladung. Es handelte sich um Voll-MOX-BE mit abgesenktem Pu-Anteil in den Randstäben. Auch hier traten keine Defekte an den MOX-Stäben auf.

Für den MOX-Einsatz in Siedewasserreaktoren liegen somit durchaus nennenswerte, positive Erfahrungen vor. Die sicherheitstechnischen Prüfungen konzentrierten sich bereits bei VAK und KRB A auf die typischen Eigenschaften der MOX-BE, also ihre Einflüsse auf die Leistungsdichteverteilung und die Abschaltreaktivität, sowie auf die Qualitätssicherung bei der Herstellung. Zur Überprüfung der Berechnungsverfahren wurden umfangreiche Vergleiche mit Meßergebnissen durchgeführt. Bei VAK ergaben Meßauswertungen z. B. auch keine gegenüber der Auslegung erhöhte Übergangstemperaturverschiebung des RDB-Werkstoffs.

Bei einer Risikostudie für Siedewasserreaktoren sind in bezug auf den bekannten, stets kompensierbaren Einfluß von MOX-BE-Eigenschaften keine grundsätzlich neuen Erkenntnisse zu erwarten. Bei der am Beispiel der Anlage KRB II durchgeführten SWR-Sicherheitsanalyse steht die Eintrittswahrscheinlichkeit von Störfällen und die Analyse von Ausfallwahrscheinlichkeiten von Systemfunktionen im Vordergrund. Geringe Unterschiede in den Eigenschaften der Brennelemente haben auf die Ergebnisse keinen Einfluß.

(Dr. Faber)

- 2.5 Der MOX-Einsatz im VAK und im KRB-A hat möglicherweise die Anlagen überbeansprucht und zu deren Stilllegung geführt.

Stellungnahme

Die Anlagen VAK (Inbetriebnahme 1960) und KRB-A (Inbetriebnahme 1966) wurden nicht wegen einer MOX-bedingten Überbeanspruchung stillgelegt.

Die Stilllegung von VAK erfolgte nach 25 Betriebsjahren. Zu diesem Zeitpunkt hatte die 16 MW_{el}-Anlage einerseits ihre Aufgabe als Versuchs-Kraftwerk erfüllt. Andererseits waren die Sicherheitsanforderungen an kerntechnische Anlagen zwischenzeitlich so gestiegen, daß eine Anpassung des VAK an den Stand der Sicherheitstechnik nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand möglich gewesen wäre.

KRB-A mußte nach einem Überspeisungsstörfall am 13.01.77 abgeschaltet bleiben. Voraussetzung für eine erneute Inbetriebnahme war eine Reihe umfassender Nachrüst- und Verbesserungsmaßnahmen, die nicht nur die Vermeidung eines derartigen Überspeisungsstörfalles zum Ziel hatten. Vielmehr gab es zahlreiche weitergehende Forderungen von Behörde und Gutachtern, deren Realisierung ein Heranführen des Blockes A in Gundremmingen an den Ende der 70er Jahre erreichten Stand der Sicherheitstechnik bedeutet hätte.

Der hierzu erforderliche mehrjährige Stillstand und die erheblichen Kosten veranlaßten die Betreibergesellschaften Anfang 1980, auf die 250 MW_{el}-Anlage am Standort Gundremmingen zu verzichten; an dem bereits die beiden neuen 1300 MW_{el}-Blöcke mit ihrem 10-fachen Leistungsangebot im Bau waren.

(H. Schröder)

- 2.7 Die höhere Neutronenfluenz bzw. das härtere Neutronenspektrum kann die Sprödbruchsicherheit des Reaktordruckbehälters beeinträchtigen und die Reaktordruckbehälter-Einbauten schädigen.

Stellungnahme:

1. Allgemeines

Die Bestrahlung metallischer Werkstoffe mit Neutronen hat Veränderungen in der Gitterstruktur zur Folge, die sich in einer Änderung charakteristischer Werkstoffeseigenschaften manifestieren. Im allgemeinen führt die Bestrahlung mit Neutronen zu einer Erhöhung der Werkstoffestigkeit und zu einer Verminderung der Werkstoffzähigkeit. Der Grad der Änderung dieser Werkstoffeseigenschaften hängt im wesentlichen von der Neutronenfluenz, d.h. von der zeitlich integrierten Neutronenflußdichte ab.

2. Reaktordruckbehälter

- Änderung von Neutronenfluenz und Neutronenspektrum bei Einsatz von MOX-Elementen.

Für die Änderung der Werkstoffeseigenschaften infolge Neutronenbestrahlung sind Neutronenenergien > 1 MeV maßgebend. Ein steigender Beitrag von Plutonium zur Spaltrate führt tendenziell zu einer erhöhten Neutronenflußdichte für Neutronen mit Energien > 1 MeV.

Vergleicht man die energieabhängige Neutronenflußverteilung, das sogenannte "Neutronenspektrum", für MOX- und Uran-Brennelemente, so zeigt sich, daß bei Neutronenenergien > 1 MeV unter der Annahme eines MOX-BE-Anteils von 100 % für frische MOX-Elemente die Neutronenflußdichte um ca. 12 + 17 % höher ist als bei frischen Uran-Brennelementen. Mit zunehmendem Abbrand verringert sich dieser Unterschied. Er beträgt z.B. bei einem Abbrand von 40 MWd/kgSM - was dem ungefähren Entladeabbrand entspricht - für einen 100 %-MOX-Kern nur noch weniger als 2 % (s. Anlage 1 und 2).

Für einen beantragten MOX-BE-Anteil von 38 % verringern sich diese Werte entsprechend.

Der Neutronenfluß am Reaktordruckbehälter ist hauptsächlich von der radialen und azimuthalen Leistungsverteilung im Kern abhängig, die durch die gewählte Beladestrategie beeinflusst wird. Für die geplanten Mischkerne ist aus Gründen der besseren Brennstoffausnutzung eine sog. super-low-leakage-Beladung vorgesehen, wonach im Kernrandbereich nur höher abgebrannte Brennelemente eingesetzt werden.

Der auf 38 % begrenzte MOX-Anteil in Verbindung mit der vorgesehenen

"super-low-leakage"-Beladung führt letztendlich zu einer gegenüber der ursprünglichen Auslegung mit reinen Uran-BE niedrigeren Neutronendosis an der RDB-Innenwand. Insgesamt ergibt sich dabei eine Erniedrigung der End-of-Life-Fluenz des RDB von $9,7 \text{ E17 n/cm}^2$ auf $9,2 \text{ E17 n/cm}^2$, d.h. der "MOX-Effekt" würde auf jeden Fall kompensiert.

Damit ist der Einsatz von MOX-Elementen im beantragten Umfang auf die Änderung der Werkstoffeigenschaften des RDB infolge Neutronenbestrahlung nicht relevant.

- Überwachung mittels Einhängeproben

Zur experimentellen Überprüfung der bei der Auslegung des RDB zugrundegelegten Annahmen hinsichtlich der durch die Neutronenbestrahlung hervorgerufenen Eigenschaftsänderungen werden Proben aus Originalwerkstoffen seit Inbetriebnahme der Anlage im RDB bestrahlt. Durch eine kernnahe Positionierung der Bestrahlungsproben wird dabei ein Voreileffekt erzielt, so daß bereits frühzeitig Erkenntnisse über das Bestrahlungsverhalten des Reaktordruckbehälterwerkstoffs vorliegen. Die Entnahmezeitpunkte werden so gewählt, daß die Neutronenfluenz für die Einhängeproben etwa 50 % (Satz 2) und mindestens 100% (Satz 3) der Auslegungslebensdauerfluenz des RDB entspricht. Das Ausmaß der Änderung der Werkstoffeigenschaften wird durch vergleichende Untersuchungen der beiden bestrahlten Probensätze mit einem nicht bestrahlten Probensatz (Satz 1) festgestellt.

- Sprödbruchsicherheit des Reaktordruckbehälters

Wie oben dargestellt, ist mit einer Beeinträchtigung der Sprödbruchsicherheit des Reaktordruckbehälters durch Einsatz von MOX-Elementen nicht zu rechnen.

Um zu verdeutlichen, daß selbst nicht unbeträchtliche Änderungen der Neutronenfluenz die Sprödbruchsicherheit des RDB nicht unzulässig beeinträchtigen würden, wird nachfolgend der Einfluß einer derartigen Änderung unter Berücksichtigung der relevanten Randbedingungen für die Anlage KRB II dargestellt.

Bei der Anlage KRB II (Block B und C) beträgt die Auslegungslebensdauerfluenz $9,7 \text{ E17 n/cm}^2$. Diese für die Auslegung des RDB zugrunde gelegte Fluenz ist wegen des größeren Wasserspaltes bei Siedewasserreaktoren im Vergleich zu der bei Druckwasserreaktoren um den Faktor 5 niedriger.

Für die Bewertung der Änderung der Zähigkeitseigenschaften und damit der Sprödbruchsicherheit wird i.a. die T 41 J-Verschiebung zugrunde gelegt. Die T 41 J-Verschiebung ist der Temperaturabstand zwischen der Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve für den unbestrahlten und den bestrahlten Werkstoffzustand bei einer Kerbschlagarbeit von 41 J. Die T 41 J-Verschiebung, die entsprechend der Auslegungskurve nach KTA-Regel 3203 unter Berücksichti-

gung der für eine Änderung der Werkstoffeigenschaften relevanten Elemente Kupfer (Cu) und Phosphor (P) der Sprödbbruchanalyse des RDB zugrunde gelegt wurde, liegt bei ca. 5°C. Dabei stellen die Auslegungskurven nach KTA-Regel 3203 konservative Grenzkurven für international ermittelte Werte der T 41 J-Verschiebung dar (s. Anlage 3).

Unterstellt man unabhängig vom Einsatz von MOX-Elementen eine Erhöhung der Lebensdauerfluenz um 10 %, so würde die der Beurteilung der Sprödbrechtsicherheit zugrundezulegende T 41 J-Verschiebung ($= \Delta \text{NDT}$) von 5°C nur unwesentlich erhöht. Aufgrund der im Rahmen der Sprödbbruchanalyse durchgeführten Untersuchungen wäre selbst eine T 41 J-Verschiebung um bis zu 60°C zulässig, ohne daß betriebliche Maßnahmen erforderlich würden (Anlage 4).

3. Kerneinbauten

Zu den Kerneinbauten im Corebereich, die einer höheren Neutronenfluenz ausgesetzt sind, zählen der Kernmantel sowie das obere und untere Kerngitter.

- Änderung von Neutronenfluenz und Neutronenspektrum

Die max. Neutronenfluenz tritt bei den Kerneinbauten im Bereich des oberen Kerngitters auf und beträgt bei Einsatz von reinen Uran-BE ca. $3,5 \text{ E}21 \text{ n/cm}^2$. Unter der Annahme eines MOX-BE-Anteiles von 100 % erhöht sich aufgrund der Tatsache, daß für diesen Bereich die "Super-low-leakage"-Beladung nicht zum Tragen kommt, dieser Wert um ca. 10 %, d.h. die max. Neutronenfluenz würde ca. $3,9 \text{ E}21 \text{ n/cm}^2$ betragen. Für einen beantragten MOX-BE-Anteil von 38 % verringern sich diese Werte entsprechend.

- Änderung der Werkstoffeigenschaften

Austenitische Werkstoffe besitzen wegen ihrer Gitterstruktur eine hohe Zähigkeit. Der für ferritische Werkstoffe typische Steilabfall der Zähigkeitswerte wird bei austenitischen Werkstoffen nicht beobachtet. Die durch die Neutronenstrahlung im Bereich der Kerneinbauten hervorgerufene Änderung der Werkstoffeigenschaften führt zu einer Verminderung der Werkstoffzähigkeit und zu einer Erhöhung der Werkstofffestigkeit. Die Erhöhung der Festigkeitskennwerte ist jedoch im Hinblick auf die festigkeitsmäßige Auslegung der Kerneinbauten nicht negativ zu bewerten.

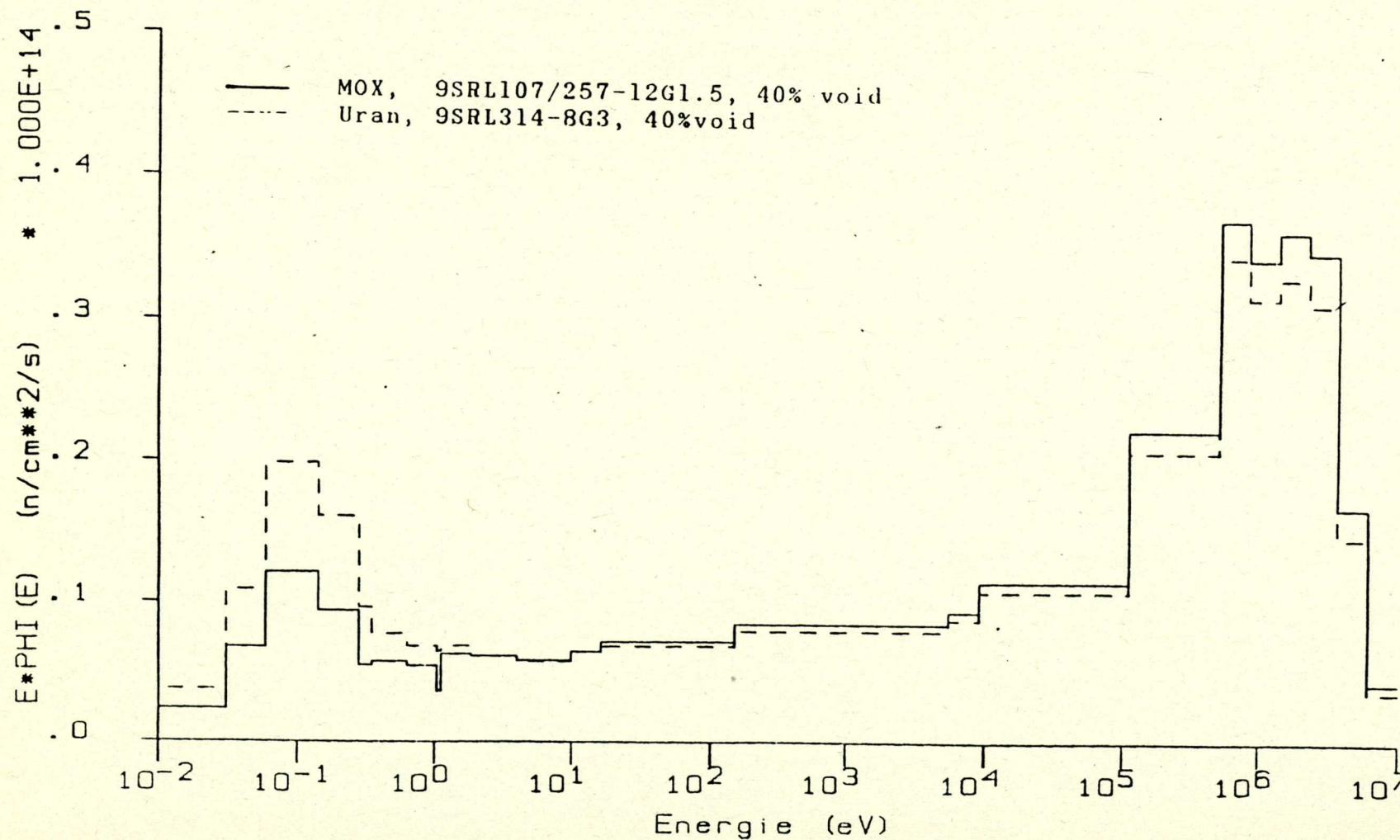
Untersuchungen haben ergeben, daß bei einer Neutronenfluenz von ca. $3,5 \text{ E}21 \text{ n/cm}^2$ die Änderung des Zähigkeitsverhaltens der austenitischen Werkstoffe der Kerneinbauten aufgrund der hohen Ausgangszähigkeit und der ausgesprochen guten Verformungsfähigkeit von austenitischen Werkstoffen insbesondere unter den gegebenen Beanspruchungsbedingungen nicht relevant ist.

Umfangreiche Untersuchungen zeigen weiterhin, daß die Änderung der Zähigkeitseigenschaften von austenitischen Werkstoffen, wie sie bei den Kerneinsätzen zum Einsatz kommen, hauptsächlich im Neutronenfluenzbereich zwischen $1 \text{ E}19 \text{ n/cm}^2$ und $1 \text{ E}21 \text{ n/cm}^2$ stattfindet. Zwischen $1 \text{ E}21 \text{ n/cm}^2$ und $1 \text{ E}22 \text{ n/cm}^2$ bleiben die Werte weitgehend konstant, d.h. es ist ein Sättigungsverhalten festzustellen. Somit werden die Zähigkeitseigenschaften durch den Einsatz von MOX-Brennelementen nicht zusätzlich beeinflusst.

(Dr. Lehmann)

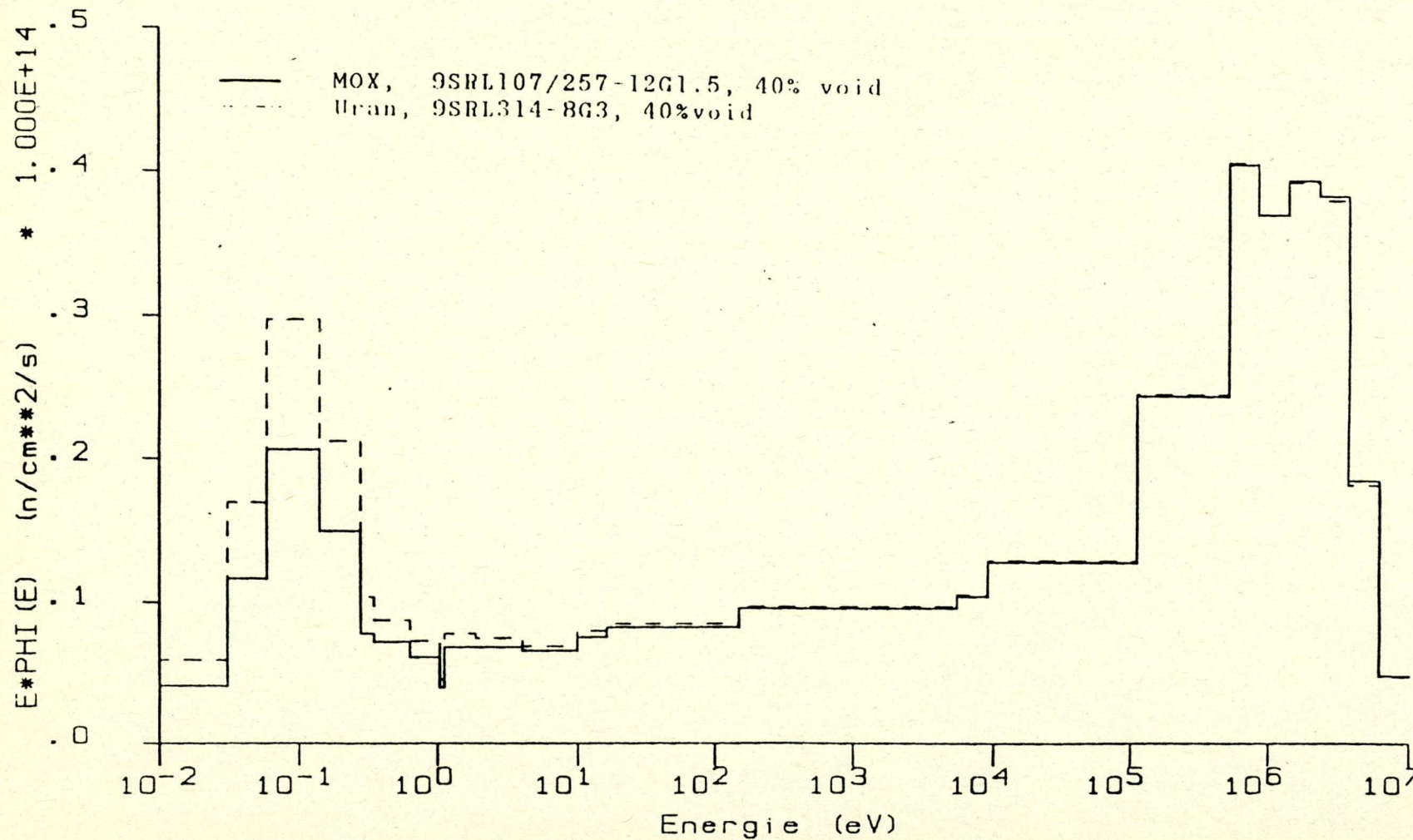
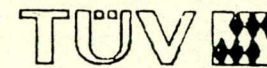
17.04.91
122519

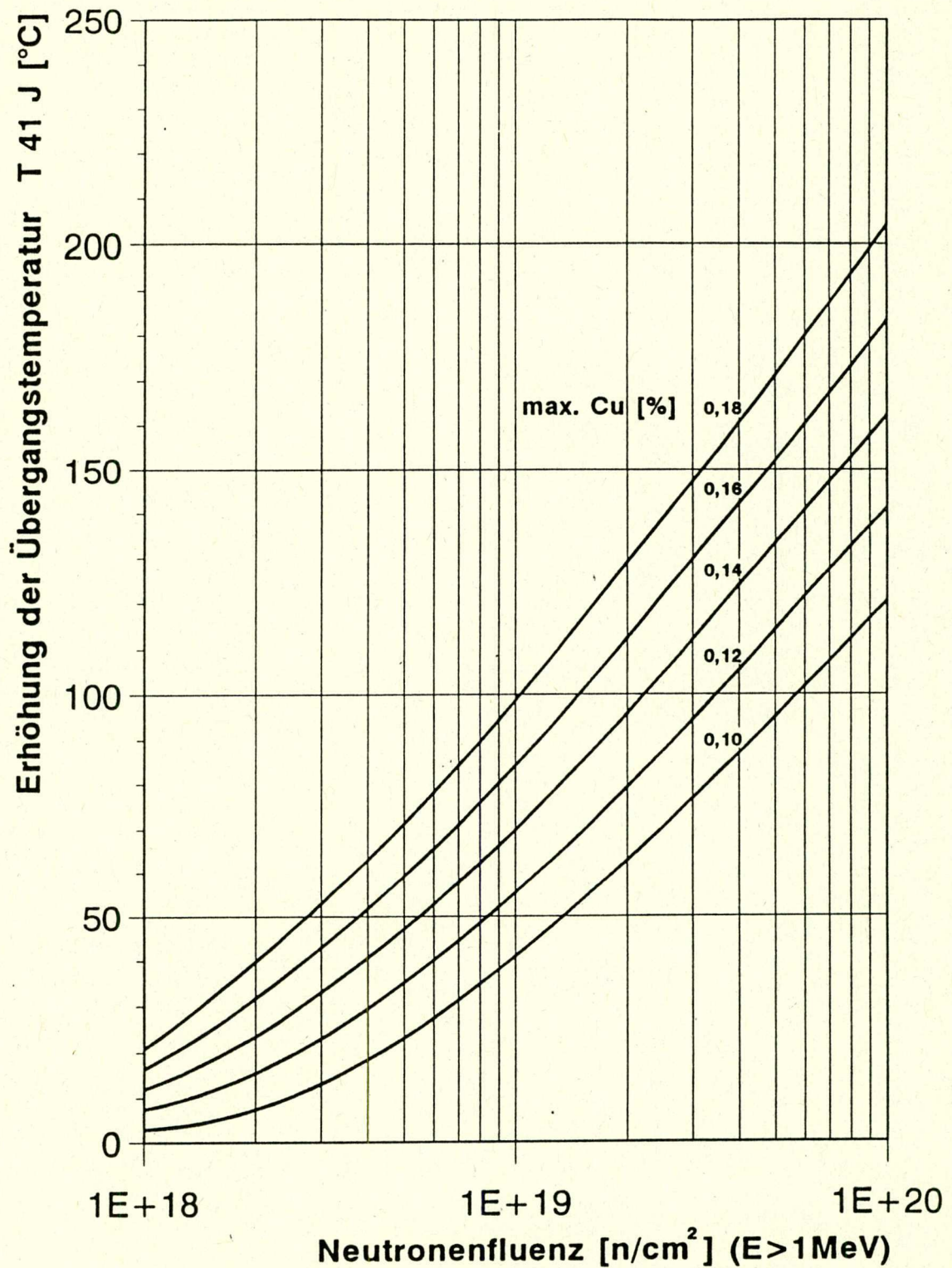
KRBII, Neutronenflussspektrum
MOX / Uran - BE, 0 MWd/kgSM



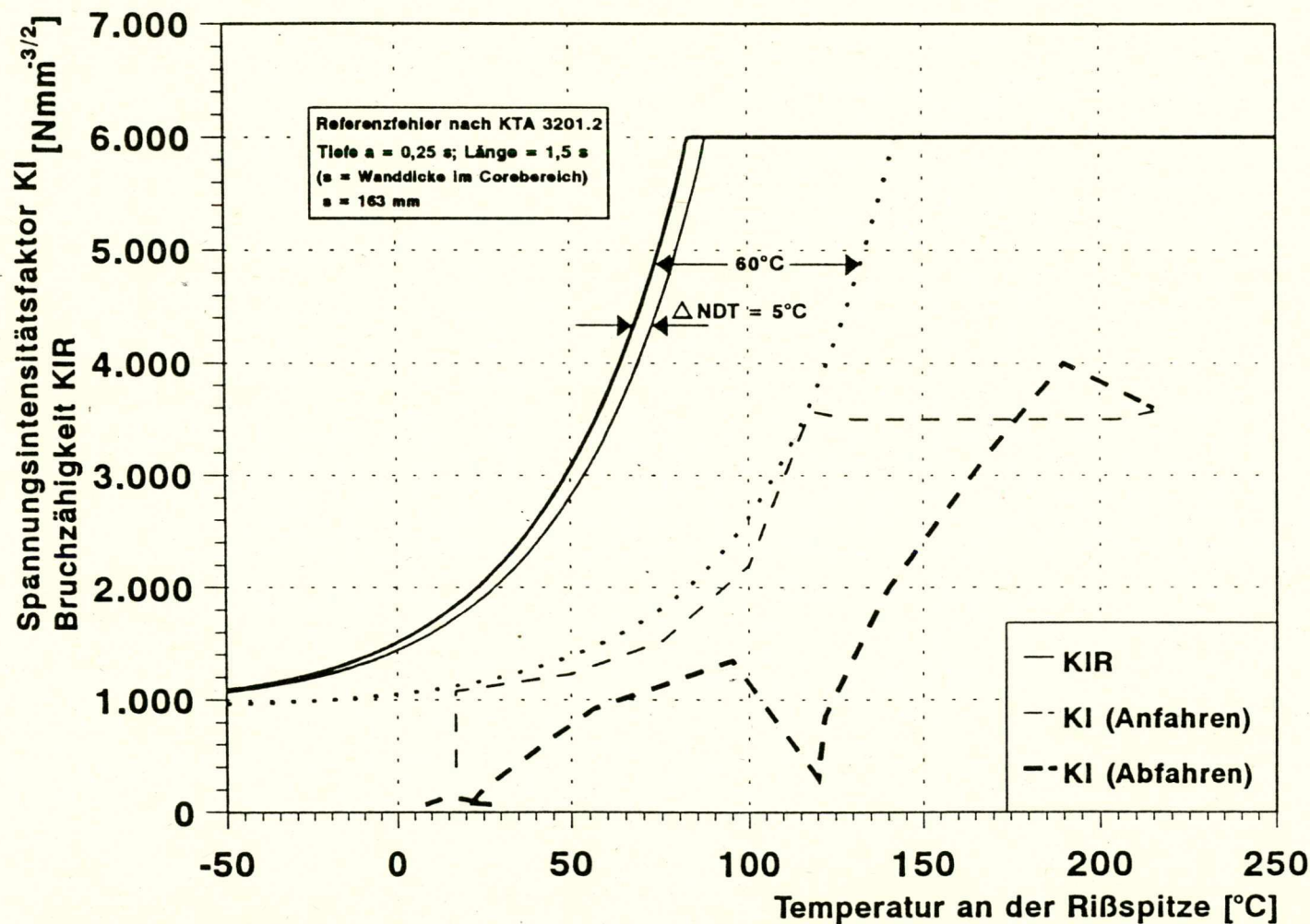
17.04.91
122519

KRBII, Neutronenflussspektrum
MOX / Uran - BE, 40 MWd/kgSM





Auslegungskurven zur Vorausberechnung der Strahlenversprödung für unterschiedliche Cu-Gehalte und P ≤ 0,012 % nach KTA 3203



KRB II: Bruchmechanische Analyse des Reaktordruckbehälters beim bestimmungsgemäßen Betrieb

- 2.8 Die stärkere bzw. härtere Neutronenstrahlung bedingt möglicherweise höhere Temperaturen in den Systemen bzw. Komponenten und kann diese dadurch schädigen.

Stellungnahme:

Die Erhöhung des schnellen Neutronenflusses im MOX-BE im Vergleich zum Uran-BE nimmt von 14 % beim frischen BE über ca. 7 % nach zwei Einsatzzyklen auf 0 % bei Einsatzenende ab. Dies liegt nicht zuletzt daran, daß ja auch im Uran-BE der Plutoniumgehalt mit zunehmendem Abbrand ansteigt. Die angeführten Werte würden für einen reinen MOX-Kern gelten. Beim vorgesehenen Anteil von maximal 38 % MOX-BE im Kern ist der Effekt noch deutlich geringer. Sicherheitstechnisch bedeutsame Änderungen der Temperaturen in Systemen und Komponenten sind nicht zu erwarten. Es wurde an anderer Stelle angeführt, daß die Brennstabtemperatur im MOX-Stab im Vergleich zu einem sonst identischen Uran-Stab wegen der erhöhten Spaltgasfreisetzung des MOX-Brennstoffs geringfügig erhöht ist. Sie ist jedoch auch in den vorgesehenen MOX-Stäben erheblich geringer als in den z. T. noch im Einsatz befindlichen 8x8-Uran-BE älteren Typs.

(Dr. Faber)

2.9 Die lastwechselbedingte Alterung bzw. Ermüdung von Systemen bzw. Komponenten kann sich durch MOX-Einsatz beschleunigen.

Der Einsatz von MOX-Elementen ändert nicht die Beanspruchungen der Reaktorkomponenten. Er hat auch keinen Einfluß auf die Anzahl und die Höhe der Lastwechsel, die für die Auslegung der Reaktorkomponenten von Bedeutung sind. Diese Lastwechsel sind von der Fahrweise des Reaktors abhängig und haben nichts mit der Verwendung von MOX-Elementen zu tun.

Bei Lastwechsel ändern sich i. a. die Temperaturen und/oder der Druck in Teilen des Reaktorsystems. In einem mit MOX-Elementen bestückten Kern herrschen die gleichen Temperaturen und der gleiche Druck wie in einem reinen UO_2 -Kern. Durch den Einsatz von MOX-Elementen werden die Temperaturen und Drücke in anderen Teilen des Reaktorsystems nicht verändert.

(Kroiß)

- 2.10 Der Reaktordruckbehälter von KRB II, Block C ist möglicherweise bereits durch eine Fehlauslösung der Reaktorschnellabschaltung während einer Revision am 12.03.86 vorgeschädigt worden. Seine Eignung für den Einsatz von MOX-BE kann deshalb eingeschränkt sein.

Stellungnahme

Anlagenzustand bei der fehlerhaften RESA Auslösung:

Reaktor: Abgeschaltet (unterkritisch kalt), drucklos

RDB: Offen, Flutkompensator gesetzt, Wasserabscheider und Dampftrockner ausgebaut

Aufgrund des verzögerten Schließens eines Tankschließventiles kam es zum Eintrag von ca. 1000 Nm³ Stickstoff in den RDB und durch diesen hindurch in den darüber befindlichen Flutraum.

Inspektionen und Prüfungen nach dem Ereignis:

Der RDB mit seinen Einbauten und die möglicherweise betroffenen sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen der Anlage - insbesondere das Schnellabschaltsystem - wurden sowohl durch Inspektionen und Funktionsprüfungen als auch durch theoretische Untersuchungen überprüft.

Inspektionen und Funktionsprüfungen zeigten keinerlei Befunde am RDB oder seinen Einbauten; die Steuerelemente waren leichtgängig und das Schnellabschaltsystem bewies - nach Instandsetzung des defekten Tankschließventils - seine einwandfreie Funktionsfähigkeit.

Theoretische Untersuchungen der aufgetretenen Belastungen und Beanspruchungen zeigten, daß der RDB und seine Einbauten nicht unzulässig beansprucht worden sind. Bei Zugrundelegung der mit dem Ausströmen verbundenen zeitabhängigen Druckabsenkung und einer zweifachen kritischen Entspannung bis zum Eintritt in die Steuerstabführungsrohre sowie Berücksichtigung der sehr kleinen Ausströmquerschnitte bei sehr großen vorhandenen Abströmflächen im RDB resultieren nur geringe Wasserverdrängungsgeschwindigkeiten, so daß damit auch nur geringe Trägheits- und Reibungskräfte auf die RDB-Einbauten gewirkt haben können.

Im übrigen muß der RDB und seine Einbauten auch bei erheblich höheren Belastungen (wie z. B. postulierte Rohrleitungsbrüche mit ihren Druckwellen) abschaltbar und kühlbar bleiben und ist demzufolge für derartige Lastfälle ausgelegt.

(H. Schröder)

- 3.2 Ein Absturz von MOX-BE beim Transport in der Anlage ist nicht auszuschließen, insbesondere weil der Kran im Trockenlager nicht den erhöhten Anforderungen der KTA-Regeln 3902/3903 entspricht. Dadurch können in der Anlage radioaktive Stoffe freigesetzt werden.

Stellungnahme:

Der Kran im Lager für neue BE ist gemäß den zusätzlichen Anforderungen der KTA-Regel 3905 (4.2) ausgelegt.

Durch technische und administrative Maßnahmen wird die maximale Transporthöhe von MOX-BE bei der Handhabung in diesem Lager auf 60 cm begrenzt. Aufgrund der örtlichen und konstruktiven Gegebenheiten ist eine maximale Absturzhöhe von 1,4 m möglich. Selbst bei einem Absturz eines MOX-BE aus einer Höhe von 1,5 m tritt keine Freisetzung radioaktiver Stoffe auf. Dieses wurde sowohl experimentell nachgewiesen als auch rechnerisch belegt. Damit ist eine Auslegung des Krans im Trockenlager nach den erhöhten Anforderungen gemäß der KTA-Regel 3902 (4.3) nicht erforderlich.

(H. Nerlich)

- 3.3 Die Anlage ist möglicherweise grundsätzlich nicht für die bereits praktizierte Kompaktlagerung abgebrannter Brennelemente geeignet. Somit kann auch die Sicherheit von MOX-BE fraglich sein.

Stellungnahme:

Die zulässigen Lagerbeckentemperaturen werden auch beim Einsatz von MOX-BE eingehalten (vgl. Pkt. 3.5).

Der Neutronenfluß im Lagerbecken ist um Größenordnungen niedriger als im Reaktor selbst, so daß sein Einfluß auf Werkstoffeigenschaften vernachlässigbar ist.

Die Kritikalitätssicherheit des Lagerbeckens ist bei Einlagerung von MOX-BE in gleicher Weise gegeben wie für Uran-BE. Bei der Nachweisführung wurde im übrigen eine in der Realität nicht vorkommende, besonders "reaktive" Plutoniumzusammensetzung unterstellt.

(Dr. Faber)

3.4 Die höhere und härtere Neutronenstrahlung im Brennelementlagerbecken schädigt möglicherweise die Kompaktlagergestelle und die Beckeneinbauten.

Stellungnahme:

Im Kompaktlager herrscht eine geringe Neutronenstrahlung aufgrund von Spontanspaltungen und (α, n) -Reaktionen, die um mindestens 9 Zehnerpotenzen geringer ist als der Neutronenfluß beim Reaktorbetrieb. Damit ergibt sich für die Lagergestelle des Kompaktlagers und die Beckeneinbauten eine Neutronenfluenz, die kleiner ist als $1 \text{ E}14 \text{ n/cm}^2$. Da mit Änderungen der Werkstoffeigenschaften erst ab Neutronenfluenzen $> 1 \text{ E}17 \text{ n/cm}^2$ zu rechnen ist, kann eine Schädigung der Kompaktlagergestelle und Beckeneinbauten infolge Neutronenbestrahlung ausgeschlossen werden.

(Dr. Lehmann)

- 3.5 Die abzuführende Nachwärmeleistung im Brennelementlagerbecken erhöht sich und kann, da die Kühleinrichtungen möglicherweise nicht mehr voll ausreichen, zu unzulässig hohen Temperaturen führen.

Stellungnahme:

Die Nachwärmeleistung im Brennelementlagerbecken erhöht sich beim vorgesehenen Anteil von MOX-BE ohne Kernvollausladung um ca. 16 % auf 5,2 MW und bei gleichzeitiger Kernvollausladung um ca. 12 % auf 12,1 MW. Die Erhöhung ergibt sich daraus, daß die Nachwärmeleistung der MOX-BE ab ca. 3 Tagen Abklingzeit höher ist als die der Uran-BE. Ohne Kernvollausladung ist der prozentuale Einfluß länger gelagerter MOX-BE größer. Die entsprechend der KTA Regel 3303 zulässigen Werte der Lagerbeckentemperatur werden auch bei den angeführten Änderungen eingehalten.

Es ist anzumerken, daß vor dem Beginn des Brennelementwechsels die zu erwartenden Lagerbeckentemperaturen bei den entsprechend KTA 3303 zu unterstellenden Ausfällen und Ausfallkombinationen in den Lagerkühlsystemen jeweils ermittelt werden. Die Einhaltung zusätzlicher Reserven zu den zulässigen Temperaturen könnte stets durch Festlegung längerer Abklingzeiten vor Entladung der BE erreicht werden.

(Dr. Faber)

3.6 Das Plutonium in den MOX-BE ist möglicherweise während des Einsatzes in der Anlage der internationalen Kontrolle entzogen, MOX-Brennstoff kann entwendet werden.

Stellungnahme:

IAEA- und EURATOM-Spaltstoffflußkontrollen werden auch in den Kernkraftwerken durchgeführt. Der Bestand an Brennelementen in der Anlage einschließlich von An- und Abtransport wird im übrigen auch von der Aufsichtsbehörde überwacht.

(Dr. Faber)

5.2 Das KRB II wurde unter Vernachlässigung ^{der} ~~von~~ Sicherheit im Wechsellastbetrieb gefahren

Stellungnahme:

Siedewasserreaktoren sind grundsätzlich für Lastwechselbetrieb ausgelegt. Erhöhte Belastungen der Brennelemente können dabei nur dann auftreten, wenn die Laständerungen so groß sind ($> 40\%$ der Nennleistung), daß zusätzlich zur Kühlmitteldurchsatzregelung Steuerstabbewegungen beim Wiederauffahren auf hohe Leistung nötig werden. Auch bei solchen Vorgängen wird speziell im Hinblick auf die Brennelementintegrität auf die Einhaltung der Einschränkungen der Fahrweise, z. B. der Steuerstabposition und -ausfahrgeschwindigkeit, zur Vermeidung sog. pci-Schäden geachtet. Die in der Vergangenheit vor allem bei Block B aufgetretenen pci-Schäden konnten im übrigen nicht mit dem Lastwechselbetrieb korreliert werden. Sie waren auf Fertigungsfehler bei der Brennstabherstellung zurückzuführen und konnten durch verschärfte Überwachungsmaßnahmen während des Betriebs wieder unterbunden werden. Radiologische Auswirkungen der vereinzelt Brennstabdefekte auf die Umgebung waren nicht nachweisbar. Die hier genannten Effekte sind im übrigen nicht MOX-spezifisch.

(Dr. Faber)

- 5.4 Beim Betrieb des KRB II haben sich Störfälle und sicherheitsrelevante Vorkommnisse gehäuft. Teilweise sind diese der Aufsichtsbehörde nicht ordnungsgemäß gemeldet worden.

Stellungnahme

Die Zahl von "Störfällen" bzw. von sicherheitsrelevanten Vorkommnissen ist in den bisher knapp 9 (Block B, 1. Kritikalität 9.3.84) bzw. gut acht (Block C, 1. Kritikalität 26.10.84) Betriebsjahren der beiden Anlagen nicht nur nicht auffällig hoch gewesen, sondern deutlich geringer als bei vergleichbaren deutschen Anlagen.

Im Mittel hat jedes deutsche KKW ca. 15 sog. meldepflichtige besondere Vorkommnisse im Jahr zu verzeichnen (RSK, 15.02.89).

Das KRB II hat dagegen in den ca. 17 Reaktorbetriebsjahren der beiden Blöcke insgesamt 69 Ereignisse zu verzeichnen, das sind also durchschnittlich pro Block und Jahr fast genau vier Ereignisse und damit etwa 1/4 der sonst in Deutschland "üblichen" Zahl. Dies mag zu der im Einwand formulierten Behauptung Anlaß gewesen sein, der Betreiber würde nicht alle meldepflichtigen Ereignisse melden. Unsere Einsicht in die Betriebsregelungen im Rahmen der regelmäßigen Betriebsprüfungen (ca. 15 Termine pro Block und Jahr) erweist eine derartige Vermutung jedoch als unbegründet.

Jahr	Block B	Block C	Gesamt	übrige fünf	SWR in Deutschland
				Gesamt	Durchschnitt pro Block
1984	3	0	3	65	13
1985	3	3	6	67	13,4
1986	4	7	11	65	13
1987	2	5	7	53	10,6
1988	4	4	8	63	12,6
1989	3	4	7	73	14,6
1990	5	5	10	51	10,2
1991	3	10	13	72	14,4
1992*	4	0	4	53	10,6
Summe	31	38	69	562	
ø p. a.	3,4	4,2			12,5

*bis Oktober

(H. Schröder)

Aktenzeichen

4201-971-673/93 ✓

Datum

12.01.93

- I. ☒ Der Vorgang ist nach gegenwärtigem Stand abgeschlossen

Begründung

Durch Kenntnisnahme erledigt.

- II. ☐ Wiedervorlage zum _____ wegen _____

☒ Zum Akt

☐ Weglegen

☐ Mitlöschchen (E-Nummern)
– ggf. mit Umschreibung von Aktenplanzeichen –

E-Nummern, ggf. mit Jahr (zeitlich absteigend geordnet) bzw. vollständige Aktenzeichen bei Umschreibung von Aktenplanzeichen!

71.1

- ☐ Der Vorgang soll verbunden bleiben

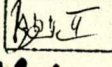
– Beiheft / Beiakt Nr. _____

Ref. 52
i.A.

Unterschrift

Bayerisches Staatsministerium
für Landesentwicklung und
Umweltfragen
Postfach 81 80 90

8000 München 81

Bayer Staatsministerium für Landesentwicklung u. Umweltfragen			
000679		08. JAN. 1993	
Aktenz.	9209	Anl.	
	9	Ref. 921	

Handwritten notes:
8.1. i. 11.1. 11.1. 11.1. 9
- 8.11.93

IHRE NACHRICHT

UNSERE ZEICHEN

TELEFON-DURCHWAHL

FAX-DURCHWAHL

DATUM

G2-ETP 1 schr-bs -14 85

-21 57

04.01.93

A.-Nr.;

2

**Kernkraftwerk Gundremmingen (KRB II)
Einsatz von Mischoxid-Brennelementen
StMLU-Auftrag 9209-921-11665 vom 08.03.91**

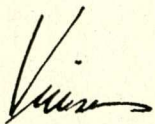
Sehr geehrter Herr Dr. Springer

vereinbarungsgemäß erhalten Sie als Anlage unsere
Kurzstellungnahmen zu den von Ihnen am 03.12.92 übermittelten
Themen 7.1, 7.2 und 7.3 der Einwendungen.

Mit freundlichen Grüßen

Anlage

Sparte Energietechnik



Dr. Vinzenz

7.1 Die Entsorgung abgebrannter MOX-BE ist nicht gewährleistet:

7.1.1 Eine direkte Endlagerung ist derzeit nicht möglich

Die direkte Endlagerung abgebrannter BE, sowohl U-BE als auch MOX-BE, ist gem. § 9a AtG in der Bundesrepublik derzeit als planmäßige Entsorgung nicht vorgesehen. Im Rahmen der derzeit laufenden Untersuchungen für die direkte Endlagerung abgebrannter BE (Projekt Pilotkonditionierungsanlage PKA) werden sowohl U-BE als auch MOX-BE berücksichtigt, z.B. Entwicklung eines Pollux-Endlagerbehälters, der sowohl U- als auch MOX-BE aufnehmen kann. Für MOX-BE sind u.U. längere Abklingzeiten vor der Einlagerung notwendig.

Bis zu einer eventuellen Endlagerung der jetzt für den Einsatz in KRB II vorgesehenen MOX-BE vergehen unter Berücksichtigung von Einsatzzeit im Reaktor und Abklingzeit noch ca. 15 Jahre, so daß eine zeitgerechte Endlagerung dieser MOX-BE realisierbar wäre.

Das Projekt PKA (Pilotkonditionierungsanlage zur direkten Endlagerung) befindet sich derzeit im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren; Stand: öffentl. Erörterung erledigt, 1.TG (Bauwerke) ist erteilt, die technischen Einrichtungen sind derzeit im Genehmigungsverfahren.

Hinsichtlich der direkten Endlagerung bestehen sicherheitstechnisch keine signifikanten Unterschiede zwischen U-BE und MOX-BE.

Abgebrannte MOX-BE aus der Anlage VAK wurden zur Langzeitzwischenlagerung mit dem Ziel der direkten Endlagerung in einem schwedischen Endlager im Jahr 1987/88 abtransportiert (insgesamt 4 Transportkampagnen mit insgesamt 112 BE in das Endlager CLAB, Abbrand 20.000 bis 25.000 MWd/Mg SM). Aus KRB-A wurden ebenfalls MOX-BE nach Schweden abtransportiert.

7.1.2 Eine Wiederaufarbeitung (Mehrfachzyklisierung) von MOX-BE ist schwierig

Die Einwendung bezieht sich offenbar auf die Schwierigkeiten, die bei der Wiederaufarbeitung von MOX-Brennstoff aus früheren MOX-Versuchsfertigungen in der WAK auftraten (schlechte Löslichkeit des Brennstoffs aus dem Oxalat-Verfahren im Auflöser). Zwischenzeitlich wurden die Fertigungsverfahren für MOX-BE im Hinblick auf die spätere Wiederaufarbeitung optimiert (z.B. Einsatz des OCOM-Verfahrens). Einzelne Versuchsbrennelemente bzw. Brennstäbe aus dieser verbesserten Fertigung wurden in WAK erfolgreich aufgearbeitet.

Es wurde bereits auch abgebrannter Kernbrennstoff mit zweifach rezykliertem Pu wiederaufgearbeitet (Brennstoff aus KWO).

Die für KRB II vorgesehenen MOX-BE entsprechen den verbesserten MOX und sind daher in einer WAA wiederaufarbeitbar.

Die Verträge der EVU mit Cogema bzw. BNFL berücksichtigen im übrigen auch die Wiederaufarbeitung von MOX-BE mit bis zu 25% der fest vereinbarten Mengen.

Die Verarbeitung des bei der Wiederaufarbeitung von abgebrannten U-BE oder MOX-BE anfallenden Urans (sog. "Wiederaufgearbeitetes Uran", WAU) ist technisch in den Konversions- und Anreicherungsanlagen sowie in den Uran-Brennelementfabriken durchführbar und wurde z.B. bei der Auslegung der Uranverarbeitung der Fa. Siemens in Hanau berücksichtigt.

Anmerkung:

Die Wiederaufarbeitung von abgebrannten LWR-MOX-BE ist im Hinblick auf die dabei erzielbaren Brennstoffeinsparungen bei weitem nicht so wirtschaftlich wie die Wiederaufarbeitung von abgebrannten LWR-U-BE. Sie wird daher im Rahmen der Diskussion um die langfristige Versorgung und Entsorgung mit Kernbrennstoff zunehmend kritisch beurteilt. Nach heutigem Kenntnisstand erscheint es daher sehr unwahrscheinlich, daß abgebrannte MOX-BE, zumal mit hohem Abbrand, jemals routinemäßig in einer Wiederaufarbeitungsanlage verarbeitet werden.

7.1.3. Die Wiederaufarbeitungsverträge mit COGEMA und BNFL sind
nicht belastbar (werden geheimgehalten)

Hierzu sollten der Betreiber von KRB II bzw. RWE und BAG Stellung
nehmen.

7.1.4 Der MOX-Einsatz ist keine schadlose Verwertung i.S. des § 9a AtG

Der § 9a AtG fordert in Absatz 1, Nr. 1, daß anfallende radioaktive Reststoffe vorrangig den in § 1, Nr. 2 bis 4, bezeichneten Zwecken entsprechend schadlos verwertet werden. In § 1, Nr. 2 bis 4, werden folgende Punkte aufgeführt:

- Schutz von Leben, Gesundheit und Sachgütern (Nr. 2)
- keine Gefährdung der inneren und äußeren Sicherheit der BRD (Nr. 3)
- Erfüllung internationaler Verpflichtungen der BRD (Nr. 4)

Aus sicherheitstechnischer Sicht sind hier vor allem die in Nr. 2 gestellten Forderungen relevant, die hier in folgende Unterpunkte gegliedert werden können:

1. Sicherheit bei der Gewinnung von Spaltstoff aus abgebrannten BE
2. Sicherheit bei der Herstellung der MOX-BE
3. Sicherheit beim Einsatz der MOX-BE im Kernkraftwerk

zu 1.:

Es handelt sich hier um die Fragen der Sicherheit der für die Wiederaufarbeitung von abgebranntem Kernbrennstoff aus der BRD vorgesehenen Wiederaufarbeitungsanlagen in Cap La Hague und Sellafield. Diese wurden im Zusammenhang mit dem Projekt WAW und in verschiedenen Expertenruppen bereits ausführlich diskutiert. vgl. hierzu:

GRS: Bericht der deutsch/französischen Expertengruppe für die Sicherheit der Entsorgungsanlagen (6/91)

Vom Öko-Institut Darmstadt liegt hierzu ebenfalls eine Stellungnahme vor (Vergleich und Bewertung der Sicherheitsanforderungen bei der Wiederaufarbeitung bundesdeutscher Brennelemente in der Bundesrepublik, Frankreich und Großbritannien, 9/91)

zu 2.:

Die Frage nach der Sicherheit der MOX-Herstellung betrifft vor allem die Anlagen in Hanau (Siemens BW-MOX) daneben auch Anlagen in Frankreich (MELOX, Cadarache und Marcoule) und in Belgien

(Dessel, FBFC bzw. BN).

Die Anlage in Hanau unterliegt den Sicherheitsanforderungen des AtG der BRD; daher sind hier keine weitergehenden Untersuchungen anzustellen.

Die Sicherheit der französischen MOX-Anlagen wurde im Rahmen der o.g. gemeinsamen Expertengruppe mit dem Ergebnis behandelt, daß keine sicherheitsrelevanten Abweichungen vom Stand neuer Anlagen in der BRD vorliegen.

Zur sicherheitstechnischen Auslegung der belgischen Anlage liegen uns derzeit keine detaillierten Unterlagen vor. Die Anlage ist derzeit in der Diskussion wegen eines Vorkommnisses am 23.11.1992. Bei diesem Ereignis (Beschädigung eines MOX-Brennstabes in einer automatischen Assembliereinrichtung) kam es zu einer Pu-Kontamination des Aufstellungsraumes. Es wurden auch Mitarbeiter kontaminiert. Ein detaillierter Bericht mit Auswertung der Kontaminations- und Inkorporationsmessungen des Personals liegt uns derzeit noch nicht vor.

zu 3.:

Die Frage der Sicherheit des MOX-Einsatzes im KKW, hier speziell in KRB II, ist Gegenstand der Erörterung im Erörterungstermin und wird im Detail in den übrigen Punkten dieses Fragenkatalogs abgehandelt.

7.2 Die Wiederaufarbeitung/Rezyklierung ist bedenklich:

7.2.1 Es ist keine Abnahme von Plutonium zu erwarten, sondern eine Vermehrung (Plutoniumspirale)

Diese Aussage ist nicht zutreffend. Für den Einsatz von U/Pu-MOX-Brennstoff in LWR gilt, daß bei den üblichen Abbränden der abgebrannte MOX-Brennstoff weniger Pu enthält als der frische MOX-Brennstoff. Zwei Beispiele sollen dies erläutern:

1. Beispiel

MOX-Brennstoff mit 3,64% Pu fis, 61,5% des Pu spaltbar (typischer MOX-Brennstoff für LWR mit Pu aus höher abgebranntem LWR-Brennstoff):

frischer MOX-Brennstoff:

59 200 g Pu ges/Mg SM
36 400 g Pu fis/Mg SM

abgebrannter MOX-Brennstoff:

36 480 g Pu ges/Mg SM
16 506 g Pu fis /Mg SM

(Rechnung mit ORIGEN II für einen Abbrand von 37 000 MWd/Mg SM, bezogen auf 1 Jahr nach Abschaltzeitpunkt)

2. Beispiel

MOX-Brennstoff mit 2,57% Pu fis und 1,07% U-235, 71% des Pu spaltbar (typischer LWR-MOX-Brennstoff, bei dessen Herstellung leicht angereichertes Uran bzw. Uran aus der WAA ohne weitere Anreicherung verwendet wurde; der spaltbare Anteil des Pu entspricht den bei Pu aus abgebranntem LWR-Brennstoff üblichen Werten):

frischer MOX-Brennstoff:

36 197 g Pu ges/Mg SM
25 700 g Pu fis /Mg SM

abgebrannter Brennstoff:

24 310 g Pu ges/Mg SM
12 116 g Pu fis /Mg SM

Das Beispiel zeigt, daß durch die Bestrahlung im Reaktor sowohl die Gesamtmenge des Pu als auch insbesondere die Menge an spaltbarem Pu um ca. 33 bis 40% bzw. ca. 47 bis 55% abnimmt. Der Einsatz von Pu in Form von MOX-Brennstoff im Reaktor stellt also eine (genaugenommen die einzige derzeit praktikable) Möglichkeit zur Verringerung der Pu-Bestände dar.

Von einer Pu-Spirale kann also nicht die Rede sein.

Hinweis:

Bei der Diskussion über die Pu-Mengen bei der thermischen Rezyklierung werden häufig die Ergebnisse von Rechnungen verglichen, die die Gesamt-Pu-Mengen im Reaktor, also inklusive der U-BE vergleichen. Diese Betrachtungsweise ist irreführend, da als Vergleich nur das MOX-BE bzw. das an seiner Stelle im Reaktor eingesetzte U-BE herangezogen werden kann. Die Pu-Inventare dieser BE sind hinsichtlich der Zu- oder Abnahme der Pu-Menge während des Reaktoreinsatzes bei gleicher Energieproduktion (Abbrand) zu vergleichen.

7.2.2 Es erfolgt eine Volumenvermehrung des Abfalls bei schwach- und mittelaktiven Abfällen bei der Wiederaufarbeitung

Es ist unbestritten, daß bei der Wiederaufarbeitung ein größeres Gesamt- Abfallvolumen anfällt als bei der direkten Endlagerung, umstritten ist derzeit nur, wie sehr sich für die einzelnen Abfallgruppen (HAW, MAW, LAW) die Abfallvolumina unterscheiden.

Im Hinblick auf die anfallenden Abfallmengen wurden in letzter Zeit verschiedene Untersuchungen durchgeführt. In der derzeitigen Diskussion wird aktuell von folgenden Abfallmengen ausgegangen:

Wiederaufarbeitung:

0,6 m³ HAW/Mg SM
2,5 m³ MAW/Mg SM
18 m³ LAW/Mg SM

direkte Endlagerung:

2,0 m³ HAW/Mg SM

Einer Verringerung des HAW-Volumens steht also eine deutliche Erhöhung des Volumens des Gesamt-Abfalls bedingt durch zusätzlichen MAW und LAW gegenüber.

Es handelt sich bei den Angaben zur direkten Endlagerung um Nettovolumina, die das Volumen der notwendigen Lagerbehälter (z.B. Pollux-Behälter für die direkte Endlagerung) noch nicht enthalten. Beim HAW dürfte sich dadurch das Endlagervolumen ca. verdoppeln.

Die Angaben für die Wiederaufarbeitung, insbesondere den LAW, stellen den derzeitigen Stand dar. Aufgrund der absehbaren technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen dürften sich die Volumina von MAW und LAW in etwa halbieren (zusätzliche Konditionierungsverfahren, z.B. durch Verbrennen und Verpressen, wegen der ansteigenden Einlagerungskosten für das Endlager).

Im übrigen enthalten die vertraglichen Vereinbarungen der EVU mit Cogema bzw. BNFL detaillierte Angaben über die Mengen der anfallenden und von den EVU zurückzunehmenden Abfälle. Hierzu sollte zweckmäßigerweise RWE bzw. BAG Stellung nehmen.

7.2.3 Die Endlagerung von Wiederaufarbeitungsabfällen ist nicht gesichert

Die Endlagerung der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung ist ein Detailpunkt des Entsorgungskonzepts für radioaktive Abfälle in der BRD. Für die einzelnen Abfallarten sind nach derzeitigem Planungsstand folgende Endlager vorgesehen:

HAW:

Der aus der Wiederaufarbeitung anfallende HAW (Glaskokillen) soll in das Endlager Gorleben verbracht werden, nachdem er vorher am Standort oberirdisch zwischengelagert wurde.

Derzeitiger Stand des Projekts: Inbetriebnahme des Lagers nach Einschätzung des BMU im Jahre 2008.

HAW und LAW:

Diese Abfälle sollen wie auch die Abfälle aus dem Betrieb kerntechnischer Einrichtungen in der BRD in das Endlager Grube Konrad verbracht werden.

Derzeitiger Stand des Projekts: Inbetriebnahme des Lagers im Jahr 1996 (Sachstandsbericht des BMU).

Für eine absehbare Zeit (bis ca. zum Jahr 2000) können derartige Abfälle auch in das Endlager Morsleben (ERAM) verbracht werden. Inwieweit dieses Lager auch zur Endlagerung von Abfällen aus der Wiederaufarbeitung genutzt werden soll, ist derzeit nicht bekannt. Hierzu sollten RWE bzw. BAG Stellung nehmen.

Direkte Endlagerung:

Für die direkte Endlagerung von abgebranntem Kernbrennstoff steht derzeit in der BRD kein Endlager zur Verfügung; es sind auch keine konkreten Planungen absehbar. Derzeit laufen hierzu keine Untersuchungen bzw. Genehmigungsverfahren.

7.2.4 Jede Wiederaufarbeitung setzt zusätzliche radioaktive Stoffe in die Biosphäre frei

Diese Aussage ist zutreffend. Sie ist jedoch im größeren Zusammenhang, insbesondere mit den Forderungen des § 9a AtG (vgl. 7.1.4), zu sehen, wobei die in jedem Fall geforderte Schadlosigkeit der Wiederaufarbeitung zu prüfen ist.

Bei den Ableitungen aus einer Wiederaufarbeitungsanlage in die Biosphäre handelt es sich um Ableitungen mit

- der Fortluft bzw. dem Abgas in die Atmosphäre sowie
- mit dem Abwasser in einen Vorfluter (Fluß bzw. Meer).

Die Auswirkungen dieser Ableitungen wurden sowohl hinsichtlich der globalen Effekte (z.B. Zunahme der Kr-85-Konzentration in der Atmosphäre) als auch hinsichtlich der lokalen Effekte (Strahlenexposition in der Umgebung der Wiederaufarbeitungsanlage) detailliert untersucht. Für die Standorte der Wiederaufarbeitungsanlagen gilt, daß in jedem Fall die Grenzwerte der Strahlenschutz-Gesetzgebung des betreffenden Landes eingehalten werden müssen, die auf den europäischen Strahlenschutzgrundnormen beruhen. Dies wird durch eine entsprechende Limitierung der Emissionen sichergestellt.

Für die Anlagen in Frankreich wurde dies im Rahmen einer deutsch/französischen Expertengruppe untersucht und die Ergebnisse mit den in der BRD geltenden Strahlenschutz-Grenzwerten verglichen. Es ergaben sich keine signifikanten Abweichungen.

Bezüglich der Störfälle in ausländischen Wiederaufarbeitungsanlagen ist auf die entsprechende von der GRS im Auftrag des BMU durchgeführte Untersuchung sowie auf die Beantwortung der parlamentarischen Anfrage im Deutschen Bundestag durch das BMU zu verweisen.

7.2.5 Eine Americium-Aufkonzentration im Kernbrennstoff ist zu erwarten

Bei dieser Frage geht es insbesondere um das Radionuklid Am-241. Dieses entsteht sowohl während des Einsatzes von Kernbrennstoff im Reaktor als auch bei der Lagerung von Pu. Da es sich hierbei um zwei sehr unterschiedliche Fragestellungen mit unterschiedlicher sicherheitstechnischer Bedeutung handelt, sollen die beiden Fragen getrennt behandelt werden.

Entstehung von Am-241 im Reaktor:

Es sollen die beim Reaktorbetrieb entstehenden Mengen an Am-241 und Am ges für U-BE und MOX-BE verglichen werden.

U-BE:

381 g Am-241/Mg SM
428 g Am ges/Mg SM

MOX-BE:

2757 g Am-241/Mg SM
3194 g Am ges/Mg SM

(jeweils bezogen auf den Abschaltzeitpunkt, Abbrand 37 000 MWd/MgSM, 1 Jahr Abklingzeit, Berechnung mit ORIGEN II)

Es zeigt sich also, daß sowohl Am-241 als auch Am ges bei abgebrannten MOX-BE erheblich zunehmen. Für den Betrieb des Reaktors hat dies (abgesehen vom Einfluß auf die Reaktivität des Reaktorkerns) keine sicherheitstechnische Bedeutung. Für die Handhabung der abgebrannten BE bringt das Am zusätzliche Wärmeentwicklung und n-Dosis, die sich nach Abklingen der kurzlebigen Nuklide (insbesondere Spaltprodukte) merklich auswirken kann.

Entstehung von Am-241 in Pu während der Lagerung:

Durch den Beta-Zerfall von Pu-241 entsteht in LWR-Pu während der Lagerung in relevantem Umfang Am-241. Bei den üblicherweise vorliegenden Pu-241-Gehalten von LWR-Pu von ca. 10% entstehen in den ersten Jahren der Lagerung ca. 0,5%/a Am-241 (bezogen auf Pu ges). Dies führt wegen der höheren Gamma- und n-Aktivität des

Am-241 (im Vergleich zu Pu-241) zu einer Erhöhung der Dosisleistung des Materials. Daneben erhöht sich auch die Wärmeentwicklung infolge des Alpha-Zerfalls des Am-241.

Diese Effekte wirken sich sowohl bei der Herstellung der MOX-BE als auch bei ihrer Handhabung im Kernkraftwerk vor dem Einsatz im Reaktor aus (vgl. Pkt. 4.5).

Durch den Zerfall des Pu-241 verringert sich daneben der Gehalt der BE an spaltbarem Material. Insgesamt ist daher anzustreben, daß Pu, das aus der Wiederaufarbeitung kommt, zügig verarbeitet und die gefertigten BE ohne lange Lagerzeiten im Reaktor eingesetzt werden.

7.2.6 Die Brennelementfertigung bei Siemens (Hanau) gefährdet dort Personal und Umgebung

Die Brennelementfertigung der Fa. Siemens in Hanau wurde nach § 9 AtG genehmigt bzw. wird derzeit in eine nach § 7 AtG genehmigte Anlage umgerüstet. In beiden Genehmigungsverfahren wurden jeweils die nach AtG zu erfüllenden Genehmigungsvoraussetzungen mit positivem Ergebnis überprüft. Durch das atomrechtliche Aufsichtsverfahren nach § 19 AtG wird weiterhin für den Betrieb der Anlagen sichergestellt, daß von ihnen keine Gefährdung für Leben, Gesundheit oder Sachgüter ausgehen kann.

Es kann daher festgestellt werden, daß die Brennelementfertigung in der MOX-Anlage der Fa. Siemens in Hanau nach den Vorschriften des Atomrechts erfolgt und damit keine Gefährdung von Personal oder Umgebung bedeutet.

Anmerkung:

Eine detaillierte Diskussion der BE-Fertigung in Hanau sollte ohne Hinzuziehung des TÜV Bayern Sachsen geführt werden, da dieser in den dortigen Genehmigungsverfahren ebenfalls als atomrechtlicher Gutachter tätig ist (Besorgnis der Befangenheit).

7.2.7 Ein dauernder Abschluß der Wiederaufarbeitungsabfälle von der Biosphäre ist nicht möglich

Diese Feststellung ist zutreffend und gilt sowohl für die Endlagerung von Wiederaufarbeitungsabfällen als auch für die direkte Endlagerung. Bei allen Endlagerungsuntersuchungen wird für die langfristige Phase eine Freisetzung radioaktiver Materialien unterstellt und deren Auswirkungen untersucht. Es handelt sich daher hier um eine generelle Frage im Zusammenhang mit der Sicherheit der Endlagerung radioaktiver Abfälle und nicht um ein spezielles Problem im Zusammenhang mit dem MOX-Einsatz in KRB II. Daher hier nur einige Anmerkungen:

Bei der sicherheitstechnischen Bewertung von Endlagern für hochaktive Abfälle wird in jedem Fall untersucht, welche Auswirkungen die Freisetzung von Radionukliden aus dem Lager in die Biosphäre im Laufe sehr langer Zeiträume haben könnte. Für diese Betrachtungen sind ~~langen Zeiträume~~ praktisch nur noch die langlebigen Nuklide relevant. Es sind dies u.a. vor allem Pu-239 und Pu-240.

Vergleicht man den Eintrag dieser Radionuklide in das Endlager für WAA-Abfälle mit einem direkt endgelagertem BE, so ergibt sich nach Lagerzeiten von ca. 100.000 Jahren, daß das Inventar der ~~der~~ WAA Abfälle weitgehend abgeklungen ist, während das Inventar der direkt endgelagerten BE wegen des in ihnen enthaltenen Pu noch in relevantem Umfang vorliegt. Dies bedeutet, daß die die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bezogen auf die gleiche Energieproduktion im Hinblick auf die langfristige Sicherheit eines Endlagers ein geringeres Gefährdungspotential darstellen als direkt endgelagerte abgebrannte BE.

Auch bei einmaliger Rezyklierung mit anschließender Endlagerung der bestrahlten MOX-BE ergibt sich eine deutliche Verringerung des Eintrags an langlebigem Pu in das Endlager.

Physikalisch begründet ist dieser Effekt in der längeren Bestrahlung der langlebigen Pu-Nuklide mit einem höheren Anteil an schnellen Neutronen, wodurch ein nennenswerter Anteil in Isotope mit deutlich kürzeren Halbwertszeiten umgewandelt wird. Dieser Effekt wird gezielt in den derzeit diskutierten neuen Reaktorkonzepten zur Pu-Vernichtung angewandt (Pu-Brenner).

Der Einsatz von MOX-BE in KRB II bedeutet also hinsichtlich der potentiellen Freisetzung von Radionukliden aus einem Endlager keine sicherheitstechnische Verschlechterung, sondern auf lange Sicht eine Verbesserung.

7.3 Mißbrauch von Plutonium ist möglich

7.3.1 Durch den Einsatz von MOX-BE ist das Plutonium für längere Zeit jeder Kontrolle entzogen

Plutonium unterliegt als spaltbares Material während jeder Phase seiner Handhabung bzw. seines Einsatzes den Kontrollen durch die damit beauftragten internationalen Organisationen (IAEA und EURATOM). Insbesondere auch während der Lagerung der frischen MOX-BE im Kernkraftwerk, deren Einsatz im Reaktor sowie der Lagerung der abgebrannten BE im BE-Lagerbecken des Kraftwerks werden entsprechende Überwachungs- und Kontrollmaßnahmen durchgeführt.

Die Einzelheiten dieser Überwachungsmaßnahmen werden von den internationalen Organisationen festgelegt und können nicht Gegenstand dieser Erörterung sein.

7.3.2 Beim Transport kann leicht Plutonium entwendet werden

Sowohl beim Transport des Pu von der Wiederaufarbeitungsanlage zur MOX-Fertigung als auch beim Transport der MOX-BE von der Fertigung zum KKW werden gezielte Sicherungsmaßnahmen getroffen, die eine Entwendung von Pu verhindern sollen. Art und Umfang dieser Maßnahmen sind im sog. Sicherungsmaßnahmenkatalog im Detail festgelegt; sie können jedoch nicht Gegenstand dieser Erörterung sein. Der Sicherungsmaßnahmenkatalog des BMU ist nur für den Dienstgebrauch bestimmt.

7.3.3 Durch den Einstieg in die Plutoniumwirtschaft soll die staatliche Option auf Kernwaffenbau in der Bundesrepublik eröffnet werden

Die BRD hat den Vertrag auf Nichtweiterverbreitung von Kernwaffen unterzeichnet und auf den Bau von Kernwaffen verzichtet, somit besteht in der BRD keine staatliche Option auf den Bau von Kernwaffen.

Im übrigen ist die Fertigung von MOX-BE eine vollständig andere Technologie als die Herstellung von Kernwaffen. Es besteht nur ein scheinbarer Zusammenhang wegen der Verwendung von Plutonium, das -entsprechende Isotopenzusammensetzung vorausgesetzt- neben Uran auch zur Herstellung von Kernwaffen verwendet werden könnte.

Das für die Herstellung von Kernwaffen verwendete Plutonium unterscheidet sich hinsichtlich der Isotopenzusammensetzung erheblich von dem in LWR-Reaktoren anfallenden Plutonium. Der Umgang mit kernwaffenfähigem Pu ist den BE-Fabriken explizit nicht genehmigt.

Zur Eignung von LWR-Plutonium zur Herstellung von Nuklearsprengsätzen s. Stellungnahme Dr.Locke aus dem WAW-Verfahren.

7.3.4 Durch Pu-Vorräte in Brennelementfabriken erhöht sich das Diebstahlrisiko

Die Lagerung von Pu in Brennelementfabriken unterliegt hohen Anforderungen hinsichtlich der Sicherung gegen Entwendung und Sabotage, die im einzelnen in Richtlinien des BMU festgelegt sind und der Geheimhaltung unterliegen.

Unabhängig davon ist anzustreben, die in den BE-Fabriken gelagerten Mengen zügig einer Weiterverwertung als MOX-BE zuzuführen, um die Mengen und damit das Risiko einer Entwendung weiter zu verringern. Nur durch den Einsatz in LWR-MOX-BE können beim derzeitigen Stand die Pu-Mengen in den BE-Fabriken bzw. in der staatlichen Verwahrung effektiv verringert werden.

7.3.5 Das Abtrennen von Plutonium aus neuen MOX-BE ist innerhalb des KKW leicht zu bewerkstelligen

Neue MOX-BE bestehen zu ca. 95% aus UO_2 und zu ca. 5% aus PuO_2 , wobei UO_2 und PuO_2 durch die Herstellung in einem sog. Mischoxid sehr eng verbunden sind. Zur Abtrennung des Pu aus diesem Mischoxid müßte daher das Mischoxid zunächst aufgelöst werden. Hierzu kommen wegen der sehr stabilen Struktur dieses Materials (gesintertes keramisches Material) nur sehr aggressive Säuren in Verbindung mit höheren Temperaturen und vorheriger mechanischer Zerkleinerung in Frage. Aus dem aufgelösten Material müßte dann durch einen gezielten Trennschritt, z.B. chemische Fällung oder Extraktion, das Pu abgetrennt werden. Bis zum Vorliegen des Pu in reiner Form wäre dieser Trennschritt u.U. mehrmals zu wiederholen und abschließend noch eine chemische Umwandlung durchzuführen.

All diese Operationen müßten wegen der hohen Radioaktivität des Materials unter speziellen Schutzvorkehrungen durchgeführt werden, z.B. hermetisch dichte Handschuhkästen mit Unterdruckhaltung und speziellen Filtereinrichtungen. Derartige Einrichtungen zur Handhabung von Alpha -Aktivität sowie die speziellen chemischen Apparaturen gehören nicht zur Ausrüstung von Kernkraftwerken, da dort Alpha-Aktivität allenfalls in Spuren in den Medienströmen auftritt.

Die Hantierung von offenem Plutonium in einem Kernkraftwerk ohne derartige Schutzvorkehrungen würde einerseits eine erhebliche Gefährdung des Täters selbst bedeuten und andererseits zu Kontaminationen in der Anlage und in den Abluftströmen führen, die von den vohanden Überwachungseinrichtungen in jedem Fall sofort erkannt würden.