

**Bewertung von Anmerkungen im Hinblick auf den geplanten
MOX-Brennelemente-Einsatz im Folgekern 2013/2014
des Kernkraftwerks Emsland**

04/2013

1 Anlass und Ziel

Die niedersächsische Landesregierung plant, für die Kernkraftwerke Grohnde (KWG) und Emsland (KKE) umfassende Sicherheitsüberprüfungen durchzuführen.

Als erster Schritt der geplanten umfassenden Sicherheitsüberprüfung soll auftragsgemäß für den 26. Betriebszyklus des KKE 2013/2014 eine „*Kritische Überprüfung des Einsatzes von MOX-Brennelementen im Kernkraftwerk Emsland (KÜMOX-KKE)*“ auf eventuelle Gefahren hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Auswirkungen eines Unfalls im Reaktorkern erfolgen. In diesem Bericht wird untersucht, ob ein Verzicht auf den Einsatz der im 26. Zyklus des KKE vorgesehenen MOX-Brennelemente einen mehr als nur geringfügigen Beitrag zur weiteren Vorsorge erbringt. Hierbei geht es um Betrachtungen zur Erhöhung der Wahrscheinlichkeit eines Unfalls bzw. zur Erhöhung der Auswirkungen von Unfällen. In die Prüfungen sollen aktuelle kritische Anmerkungen einbezogen werden. Die gemäß dem Schreiben des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt und Klimaschutz, 44-40311/3/3/1 vom 27.03.2013 /1/ zu betrachtenden technischen Kritikpunkte sind den folgenden Quellen entnommen:

- [OB] Oda Becker „Schwachstellen des AKW Grohnde“ vom 14.01.2013,
- [GP] Greenpeace e.V., Schreiben an den Ministerpräsidenten des Landes Niedersachsen, vom 15.11.2012, betr. Stopp für die Lieferung von Plutonium-Brennstoff nach Grohnde,
- [AR] Andreas Rohrmann, Schreiben an den Deutschen Bundestag – Petitionsausschuss – vom 23.02.2013, betr. Einsatz und Transport von MOX-Brennelementen; hier Einwendungen zur Petition 2-17-18-2792-043286

Weitere in dem o. g. Schreiben /1/ aufgeführte Fragestellungen sollen im Rahmen von Expertengesprächen diskutiert und beantwortet werden.

2 Technische Kritikpunkte

Die im Folgenden aufgeführten Kritikpunkte sind den Aufsätzen [OB], [GP] und [AR] entnommen. Die Auswahl und Nummerierung der Kritikpunkte erfolgt gemäß dem Schreiben /1/.

Die Kritikpunkte behandeln Aspekte des Anlagenverhaltens sowie die Auswirkungen bei einem Unfall.

Nr.	Kritik
2.2a	<i>MOX-BE haben gegenüber Uran-BE eine reduzierte Wärmeleitfähigkeit und einen geringeren Schmelzpunkt. Bei Verlust der Kernkühlung während eines Unfalls kann es damit schneller zum Aufheizen des Reaktorkerns kommen. [OB]</i>
2.2b	<i>Aber nicht nur die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls steigt durch den Einsatz von MOX, auch die potentiellen Unfallfolgen im Falle eines schweren Unfalls nehmen zu. [OB]</i>
2.2c	<i>MOX-Brennstoff enthält ein Mehrfaches an langlebigen alpha-Strahlern wie beispielsweise Americium-241. [OB]</i>
2.2d	<i>Höhere Strahlenbelastung durch Inhalation aus radioaktiver Wolke oder durch kontaminierte Nahrungsmittel. [OB]</i>
2.2e	<i>Vergrößerung der Flächen, die stark kontaminiert werden und für lange Zeiträume unbewohnbar sind. [OB]</i>
3.1.1	<i>Bei einem Ausfall der Kühlung des Kerns mit MOX-BE wäre ein schwerer Unfall wegen höherer Nachwärme wahrscheinlicher als ohne MOX-BE. [GP]</i>
3.1.2	<i>Im Falle eines solchen Unfalls wären die Folgen wegen der besonders langen Halbwertszeiten und der besonders hohen Toxizität von Plutonium noch verheerender, als bei einem Unfall in einem Reaktor ohne MOX-BE. [GP]</i>
9.1	<i>Der „Innendruckaufbau“ in den MOX-Elementen ist so stark, dass unter bestimmten Bedingungen eine „Spaltgasfreisetzung“ droht – die Hüllrohre können durch den Gasdruck platzen, ihr hochradioaktiver Inhalt kann das Kühlwasser verseuchen. [AR]</i>

9.4 *Schmilzt in einem mit MOX-Brennelementen bestückten Reaktor ein Teil des atomaren Inventars, droht auch nach einer erfolgreichen Notkühlung noch der Super-GAU – ein Katastrophen-Szenario, das bei der Analyse von Kernschmelzunfällen bislang nicht untersucht wurde. [AR]*

3 Genehmigungstand

Die derzeit für das Kernkraftwerk Emsland genehmigte Brennstoffzusammensetzung ergibt sich aus der 4. Teilgenehmigung vom 30.03.1988 und der atomrechtlichen Ergänzungs- und Änderungsgenehmigung (I/2000) vom 15.02.2000 und umfasst

- den Einsatz von Uran-Brennelementen mit einer Anreicherung von bis zu 4,4 Mass.-% des Uranisotops 235,
- den Einsatz von Brennelementen, die Brennstäbe mit Urandioxid und Brennstäbe mit einer Uran-Gadolinium-Mischung mit maximalem Gd_2O_3 -Gehalt von 7 Mass.-% und einer Anreicherung an Uran 235 von höchstens 70 % derjenigen der umgebenden Uran-Brennstäbe enthalten und
- den Einsatz von bis zu 16 Uran-Plutonium-Mischoxid-(MOX)-Brennelementen pro Nachladung und von insgesamt 48 MOX-Brennelementen im Reaktor. Hierbei ist der Gehalt an spaltbarem Plutonium so begrenzt, dass die MOX-Brennelemente reaktivitäts- und abbrandäquivalent zu Uran-Brennelementen mit 4,0 Mass.-% Uran 235 sind. Als Trägermaterial kann Natururan oder abgereichertes Uran mit $\leq 0,30$ Mass.-% Uran 235 verwendet werden. Innerhalb eines Brennelements ist eine Staffelung des Gehalts an spaltbarem Plutonium zulässig. Der maximale zulässige nominelle Gehalt an spaltbarem Plutonium beträgt 4,64 Mass.-%. Für MOX-Brennelemente mit Natururan als Trägermaterial ist bei einer Pu-Qualität von 71,2 Mass.-% der nominelle Anteil an spaltbarem Plutonium auf $\leq 3,7$ Mass.-% begrenzt.

Nach den derzeitigen Planungen beabsichtigt der Betreiber, noch mindestens 48 unbestrahlte MOX-Brennelemente im KKE einzusetzen.

Für den 26. Betriebszyklus des Kernkraftwerks Emsland hat der Betreiber den Einsatz von insgesamt 48 MOX-Brennelementen im Reaktorkern vorgesehen, davon sind 12 MOX-Brennelemente in der 1. Standzeit /2/.

4 Bewertung der technischen Kritikpunkte

Im Hinblick auf die Bewertung der angeführten technischen Kritikpunkte zum Folgekern des Kernkraftwerks Emsland, bei dem der Einsatz von insgesamt 48 MOX-Brennelementen vorgesehen ist /2/, vergleichen wir die aktuell geplante Kernbeladung mit einer reinen Uran-Kernbeladung.

Die „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ /3/ definieren den Begriff „Unfall“ als einen Ereignisablauf mit schweren Kern- bzw. Brennelementschäden und ordnen ihn in die Sicherheitsebene 4c ein. Ein schwerer Kernschaden ist danach ein Zustand des Reaktorkerns, bei dem die Kühlbarkeit oder die dauerhafte Unterkritikalität nicht mehr gegeben sind. Ein schwerer Brennelementschaden wird dort als ein Zustand eines Brennelements definiert, bei dem dessen Kühlbarkeit nicht mehr gegeben ist. Eine unzureichende Kernkühlung ist somit eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung für einen Unfall gemäß der Definition der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ /3/.

Zum technischen Kritikpunkt 2.2a:

Nach einem Verlust der Kernkühlung mit einer Aufheizung des Kerns vergehen bis zu einem eventuellen Brennstoffschmelzen je nach Unfallablauf Zeiten zwischen einer und mehr als zehn Stunden. Kurzfristige Eingriffe der Bedienungsmannschaft bei Stör- bzw. Unfallsituationen sind nicht erforderlich, sondern werden automatisiert vom Schutz- und Begrenzungssystem vorgenommen. Die Karenzzeiten für die Vorbereitung und die Einleitung von Notfallprozeduren entsprechend dem Notfallhandbuch werden für die Kerne, die der Genehmigung entsprechen, sicher eingehalten.

Wir beziehen unsere Bewertung zur Wärmeleitfähigkeit und zum Schmelzpunkt nicht auf einen Brennelementtyp, sondern auf Brennstoffzusammensetzungen. Die absolute Größe der Unterschiede in der Wärmeleitfähigkeit und dem Schmelzpunkt hängt von der konkreten Brennstoffzusammensetzung im Uran- bzw. MOX-Brennelement ab und diese verändert sich mit dem Zyklusabbrand. So sind zum Beispiel die Wärmeleitfähigkeiten bei 0 MWd/kgSM für Uran-Brennstoff 5,61 W/mK und für MOX-Brennstoff 5,44 W/mK sowie für 30 MWd/kgSM Abbrand für Uran-Brennstoff 3,52 W/mK und für MOX-Brennstoff 3,46 W/mK. Man erkennt dadurch deutlich, dass die Wärmeleitfähigkeiten viel stärker vom Abbrand abhängig sind als vom Brennstoff selbst. Die Wärmeleitfähigkeiten zwischen den im 26. Zyklus vorgesehenen MOX-Brennstoffen und Brennstoffen in reaktivitäts- und abbrandäquivalenten Uran-Brennelementen unterscheiden sich während eines Zyklusverlaufes und während der zu betrachtenden Unfallszenarien um deutlich weniger als 10 %. Auch die Unterschiede in den Schmelztemperaturen sind gering. So ergibt sich für einen Abbrand von z. B. 30 MWd/kgSM für Urandioxid eine Schmelztemperatur von ca. 2741 °C.

Bei einem Pu_{fiss} -Gehalt von 4,64 Mass.-% ergibt sich für MOX-Brennstoff eine Schmelztemperatur von ca. 2718 °C.

Die Unterschiede der Schmelztemperaturen und der Wärmeleitfähigkeiten zwischen den im 26. Zyklus vorgesehenen MOX-Brennstoffen und den Brennstoffen in reaktivitäts- und abbrandäquivalenten Uran-Brennelementen sind somit gering. Für unsere Analysen haben wir hinsichtlich der Fragestellung einer kürzeren Aufheizung abdeckende Annahmen bzgl. der Wärmeleitfähigkeit und der Schmelztemperatur getroffen.

Die Geschwindigkeit der Aufheizung des Reaktorkerns bei einem Verlust der Kernkühlung wird durch verschiedene Mechanismen bestimmt. Die wesentliche Größe dabei ist die Wärmekapazität. Die Wärmekapazitäten von MOX-Brennstoff und Uran-Brennstoff unterscheiden sich insofern, dass MOX-Brennstoff eine bis ca. 5 % höhere Wärmekapazität aufweist. Die Wärmeleitfähigkeit spielt dagegen für die Aufheizung des Reaktorkerns nur eine untergeordnete Rolle, weil die Unterschiede der Wärmeleitfähigkeiten und der Schmelztemperaturen für Uran- und MOX-Brennstoffe gering und im Übrigen auch nicht entscheidend sind, denn bevor bei Unfällen die Schmelztemperatur von Uran- oder MOX-Brennstoff erreicht wird, erhitzt sich das Hüllrohrmaterial der Brennstäbe auf Temperaturen, die zu einer exothermen Hochtemperaturoxidation führen. Da die diesbezügliche kritische Hüllrohrtemperatur zeitlich vor der Schmelztemperatur des Brennstoffs erreicht wird und dieser Vorgang bei MOX-Brennstoff wegen der geringeren Wärmeleitfähigkeit marginal langsamer als bei Uran-Brennstoff abläuft, ist das Verhalten von MOX-Brennstoff bezüglich des zeitlichen Aufheizverhaltens geringfügig günstiger als bei Uran-Brennstoff. Bei Unterstellung von Unfallabläufen ohne ausgeprägte Hüllrohroxidation, die zu einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umgebung führen, gelten unsere Aussagen zum technischen Kritikpunkt 3.1.2.

Zum technischen Kritikpunkt 2.2b:

Zur Bewertung der Auswirkungen des geplanten MOX-Brennelementeinsatzes im Kernkraftwerk Emsland aus probabilistischer Sicht ziehen wir die Ergebnisse der Probabilistischen Sicherheitsanalyse der Stufe 2 für das Kernkraftwerk Emsland für den Leistungsbetrieb heran, in der eine von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) für das Kernkraftwerk Neckarwestheim 2 (GKN 2) erstellte Analyse /4/ auf das Kernkraftwerk Emsland übertragen wurde. Diese Vorgehensweise entspricht den Anforderungen des einschlägigen nationalen und internationalen Regelwerks und wurde dementsprechend in unserem Abschlussbericht /5/ mit positivem Ergebnis bewertet.

Als Annahme für eine direkte frühe Freisetzung werden demnach in der GKN 2 Analyse Untersuchungen aus der deutschen Risikostudie Kernkraftwerke Phase B (DRS-

B) /6/ herangezogen /7/. Sehr hohe Freisetzungen sind gemäß der DRS-B /6/ bei Unfallabläufen möglich, bei denen es frühzeitig zu einem großflächigen Versagen des Reaktorsicherheitsbehälters (RSB) kommt. Dies ist infolge von Kernschmelzen unter hohem Druck sowie Kernschmelzen unter niedrigem Druck mit nachfolgender Wasserstoffverbrennung, die zu einer Zerstörung des RSB führen können, möglich. Dabei wird angenommen, dass bei Versagen des RSB mindestens 50 % der leichtflüchtigen Nuklide (I, Cs, Te) in die Umgebung gelangen und während der Schmelze-Beton-Wechselwirkung auch größere Anteile schwerflüchtiger Nuklide freigesetzt werden (z. B. ca. 4 % des Kerninventars der Gruppe Ce, zu der auch Pu und Am gehören). Aufgrund des zur Zeit der Erstellung der DRS-B vorhandenen Kenntnisstands handelt es sich hierbei um konservative Annahmen. Die großen Freisetzungen sind gemäß dem Abschlussbericht für die PSA der Stufe 2 für das Kernkraftwerk Emsland /8/ in den Freisetzungskategorien FKA und FKB zusammengefasst, für die eine Häufigkeit von $3,62 \times 10^{-8}/a$ erwartet wird. Hierbei ist das in den Berichten /7/ und /8/ gewählte Kriterium für eine große Freisetzung eine Freisetzung von mehr als 10 % des radioaktiven Iod-Kerninventars. Für große Freisetzungen, bei denen zwischen dem auslösenden Ereignis und der Freisetzung aus der Anlage weniger als 10 h vergehen (groß und früh), liegt der Erwartungswert für das Kernkraftwerk Emsland bei $2,21 \times 10^{-8}/a$. Insgesamt trägt die große Freisetzung (inkl. groß und früh) mit 6,7 % zur Freisetzungshäufigkeit des Kernkraftwerks Emsland von $5,4 \times 10^{-7}/a$ bei und liegt damit, gemessen an dem z. B. im IAEA Safety Guide SSG 4 /11/ angegebenen Richtwert für die Häufigkeit einer großen und frühen Freisetzung von $10^{-5}/a$ für bestehende Anlagen auf einem sehr niedrigen Niveau. Durch den geplanten Einsatz der MOX-Brennelemente ergeben sich weder Auswirkungen auf die Eintrittshäufigkeiten der störfallauslösenden Ereignisse noch auf die Zuverlässigkeit der für die Störfallbeherrschung erforderlichen Systeme. Die o. g. Betrachtungen sind damit weiterhin gültig, so dass sich aus probabilistischer Sicht auch bei Verwendung von MOX-Brennelementen im Folgekern ein nur geringfügiger Beitrag zur Freisetzungshäufigkeit des Kernkraftwerks Emsland im Leistungsbetrieb ergibt.

Hinsichtlich der Unterschiede in den radiologischen Auswirkungen bei Unfällen verweisen wir auf unsere folgenden Bewertungen zu den Kritikpunkten 2.2d, 2.2e und 3.1.2.

Zum technischen Kritikpunkt 2.2c:

Das Aktivitätsinventar ist keine zeitlich konstante Größe, sondern hängt wesentlich vom betrachteten Zeitpunkt sowie von der Leistung zum Abschaltzeitpunkt ab.

Für die Bewertung dieses technischen Kritikpunktes haben wir für die Kernkonfigurationen mit MOX-Brennelementen bzw. reaktivitäts- und abbrandäquivalenten Uran-Brennelementen die Aktivitätsinventare für das Zyklusende berechnet. Zu diesem Zeitpunkt liegen die maximalen Aktivitätsinventare vor. Die durchgeführten Betrachtungen

tungen eines Urankerns im Vergleich zu der für den 26. Betriebszyklus geplanten Kernbeladung mit insgesamt 48 MOX-Brennelementen im Kernverband haben ergeben, dass der Anteil an langlebigen Alphastrahlern zum Zyklusende bei der Kernkonfiguration mit MOX-Brennelementen größer wäre; beispielsweise für Am-241 um einen Faktor von ca. 6,6. Das Aktivitätsinventar an langlebigen Alphastrahlern erhöht sich insgesamt um ca. 1,2 % zum Abschaltzeitpunkt. Das gesamte Aktivitätsinventar (inkl. Spaltprodukte) zum Abschaltzeitpunkt am Ende eines Zyklus ist gegenüber einem reinen Urankern ca. 1 % kleiner.

Für die Betrachtung der Nachzerfallsleistung ist das gesamte Aktivitätsinventar bestimmend. Die berechneten Nachzerfallsleistungen beider Kernkonfigurationen am Zyklusende unterscheiden sich praktisch nicht.

Zur Bewertung der radiologischen Auswirkungen verweisen wir auf den nächsten Abschnitt.

Zu den technischen Kritikpunkten 2.2d, 2.2e und 3.1.2:

Für die Bewertung der radiologischen Auswirkungen der für den 26. Betriebszyklus geplanten Kernkonfiguration mit 48 MOX-Brennelementen und einer Konfiguration, bei der die MOX-Brennelemente durch reaktivitäts- und abbrandäquivalente Uran-Brennelemente ersetzt wurden, stützen wir uns auf die im Zusammenhang mit der Bewertung des technischen Kritikpunktes 2.2c erstellten Abbrandrechnungen und so ermittelten Aktivitätsinventare. Die unterstellten Freisetzungsraten sind der Probabilistischen Sicherheitsanalyse der Stufe 2 /4/ für das oben beschriebene Unfallszenario entnommen worden. Alternativ zu dem Szenario einer bodennahen Freisetzung betrachten wir eine Freisetzung über den Kamin.

Bei der Bestimmung der Strahlenexposition für Einzelpersonen der Bevölkerung sind gemäß dem Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz /9/ die Expositionspfade „Exposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Atemluft (Inhalation)“, „Exposition durch Gammastrahlung aus der Abluffahne (Gammasubmersion)“ und „Exposition durch Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe in 7 Tagen (Bodenstrahlung)“ betrachtet worden. Andere Expositionspfade (Beta-Submersion und Direktstrahlung) wurden entweder wegen ihrer geringeren Bedeutung vernachlässigt oder sind weniger dringlich (Ingestion), da durch die frühzeitige Warnung vor dem Verzehr frisch geernteter Lebensmittel sowie von Frischmilch aus dem betroffenen Gebiet die Ingestion unterbunden werden kann. Bei den Untersuchungen ist die Strahlenexposition für die nächste Wohnbebauung bzw. Industrieansiedlung für die Personengruppen Kleinkinder und Erwachsene ermittelt worden.

Die von uns gemäß der Unterlage /9/ berechneten maximalen effektiven Dosen der betrachteten Quellterme (Freisetzungsraten aus /4/, Aktivitätsinventare gemäß unse-

rer Abbrandrechnungen - siehe technischer Kritikpunkt 2.2c) ergeben sich unabhängig von der Art der Kernkonfiguration für die Altersgruppe der 1- bis 2-Jährigen. Die Strahlenexposition setzt sich für diese am höchsten exponierte Altersgruppe aus der Gammabodenstrahlung mit einem Beitrag von ca. 73 % für den reinen Uran-Kern und ca. 61 % für den Kern mit 48 MOX-Brennelementen sowie der Inhalation mit entsprechendem Anteil zusammen. Beim Expositionspfad Inhalation liegt der Anteil der durch die Aktiniden verursachten effektiven Dosis für die am höchsten exponierte Altersgruppe bei ca. 26 % für den reinen Uran-Kern und bei ca. 56 % für den Kern mit 48 MOX-Brennelementen. Der Beitrag der Gammasubmersion zur effektiven Dosis liegt unter 1 %. Die meteorologischen Ausbreitungsparameter sind den Störfallberechnungsgrundlagen /10/ entnommen worden. Insgesamt stellen wir fest, dass der Unterschied der maximalen effektiven Dosen für die betrachteten Kerne für die am höchsten exponierte Altersgruppe der 1- bis 2-Jährigen bei bodennaher Freisetzung ca. 17 % beträgt. Erfolgt die gleiche Freisetzung über den Kamin ergeben sich für die betrachteten Kernkonfigurationen Unterschiede in den radiologischen Auswirkungen für die am höchsten exponierte Altersgruppe von ca. 1 %.

Für die am höchsten exponierte Altersgruppe der 1- bis 2-Jährigen liegt der Anteil der Pu-Isotope an der gesamten effektiven Dosis bei ca. 3 % für den reinen Uran-Kern und ca. 7 % für den Kern mit 48 MOX-Brennelementen und wird hauptsächlich durch den Inhalationspfad verursacht. Hierbei liegt der Anteil der Pu-Isotope an der durch die Aktiniden verursachten effektiven Inhalationsdosis bei ca. 10 % für den reinen Uran-Kern und bis ca. 19 % für den Kern mit 48 MOX-Brennelementen. Die Pu-Isotope sind somit unabhängig von der Kernkonfiguration nicht dosisbestimmend.

Selbst bei einer theoretisch angenommenen vollständigen Freisetzung der Spaltprodukte und von 10 % der Aktiniden (ca. 3-faches Niveau von Tschernobyl /12/) in die Umgebung des Kernkraftwerks über eine bodennahe Freisetzung betragen für die beiden Kernkonfigurationen die Unterschiede in den radiologischen Auswirkungen ca. 13 %. Erfolgt die gleiche Freisetzung über den Kamin, ergeben sich für die betrachteten Kernkonfigurationen Unterschiede in den radiologischen Auswirkungen von ca. 2 %.

Zusammenfassend zeigen unsere Ergebnisse, dass der Einsatz von 48 MOX-Brennelementen die radiologischen Auswirkungen für die am höchsten exponierte Altersgruppe – unter Berücksichtigung der Inhalationsdosis - und die Größe der kontaminierten Fläche bei bodennaher Freisetzung gering und bei Freisetzung über den Kamin nicht signifikant beeinflusst. Hierbei wurden die Expositionspfade Inhalation, Gammasubmersion und Gammabodenstrahlung mit den Modellen aus /9/ untersucht. Die Pu-Isotope nehmen hierbei keine Sonderstellung ein.

Zum technischen Kritikpunkt 3.1.1:

Aufgrund der bereits in den Bewertungen zu den Kritikpunkten 2.2a und 2.2c erläuterten physikalischen Sachverhalte ist der zu betrachtende Unfall wegen einer „höheren Nachwärme“ nicht wahrscheinlicher, da bei einem Verlust der Kernkühlung zeitlich vor dem Eintritt einer Brennstoffschmelze zuerst die Hochtemperaturoxidation auftritt und diese wiederum bei MOX-Brennstäben zeitlich verzögert gegenüber Uran-Brennstäben beginnt.

Zum technischen Kritikpunkt 9.1:

Die Brennstäbe von MOX- wie auch von Uran-Brennelementen werden bei der Fertigung mit einem Füllgas versehen und mit einem inneren Überdruck beaufschlagt. Während des Reaktorbetriebes entstehen gasförmige Spaltprodukte, die zunächst vom Brennstoff zurückgehalten werden. Bei fortschreitendem Einsatz entweichen einige dieser Spaltprodukte aus dem Brennstoff und gelangen in die dafür vorgesehenen Gassammelräume an den Enden der Brennstäbe. Diese freigesetzten Gase und das Füllgas verursachen zusammen den Brennstabinnendruck. Das Rückhaltevermögen von Spaltgasen ist eine Eigenschaft des Brennstoffs und seiner strukturellen Ausbildung. Messungen an bestrahlten Brennstäben haben dies bestätigt. Es dürfen nur Brennstoffe eingesetzt werden, welche die sicherheitstechnischen Anforderungen an das Rückhaltevermögen erfüllen. Dies wird in der Auslegung der Brennstäbe berücksichtigt und geprüft. Ein „Platzen“ der Hüllrohre ist damit für den bestimmungsgemäßen Betrieb ausgeschlossen. Der Innendruckaufbau wird für jeden Brennstab des Reaktorkerns individuell bestimmt und muss unabhängig von der Brennstoffart den in der Genehmigung festgelegten Kriterien genügen.

Unter Störfallbedingungen kommt es zu einer Aufheizung der Brennstäbe, die abhängig von den jeweiligen noch vorhandenen Kühlbedingungen und der noch vorhandenen Wärmefreisetzung ist. Mit der Temperatur der Brennstäbe steigt auch ihr Innendruck an. Ist dieser erheblich größer als der Druck im Reaktor, kommt es zum Versagen der Hüllrohre durch den inneren Überdruck. Dies gilt gleichermaßen für MOX- und Uran-Brennstäbe. Die Anzahl der versagenden Brennstäbe wird für jeden Folgekern ermittelt und ist durch die Kernauslegung begrenzt.

Per Definition ist ein Unfall mit schweren Kernschäden verbunden. Dies führt zu einer Freisetzung des Aktivitätsinventars der Brennstäbe in das Kühlmittel. Der für die vorliegende Fragestellung betrachtete Innendruckaufbau hat in diesem Fall keine Bedeutung.

Zum technischen Kritikpunkt 9.4:

Der Unterschied zwischen den Auswirkungen einer Kernschmelze eines Kerns mit 48 MOX-Brennelementen und der eines reinen Urankerns, ist bereits in den vorangegangenen Kritikpunkten bewertet worden.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit für ein Kernschmelzszenarium ist sehr gering und wird durch den Einsatz von 48 MOX-BE im 26. Betriebszyklus nicht beeinflusst.

5 Sicherheitstechnische Bewertung des geplanten MOX-Einsatzes

Für eine sicherheitstechnische Betrachtung des geplanten Einsatzes von insgesamt 48 MOX-Brennelementen haben wir vergleichend die Auswirkungen der Unterschiede zwischen der geplanten Kernbeladung und einer reinen Uran-Kernbeladung analysiert. Bei unseren Vergleichsrechnungen haben wir neben dem geplanten Folgekern eine Kernkonfiguration angenommen, bei der diese 48 MOX-Brennelemente durch reaktivitäts- und abbrandäquivalente Uran-Brennelemente ersetzt wurden.

Wir stellen zusammenfassend fest, dass die Auswirkungen der für den 26. Betriebszyklus des Kernkraftwerks Emsland geplanten Einsatzstrategie mit insgesamt 48 MOX-Brennelementen im Reaktorkern, davon 12 MOX-Brennelemente in der 1. Standzeit, im Vergleich zu einem Uran-Kern gering sind. Unsere Prüfungen bezüglich des Einsatzes der 48 MOX-Brennelemente zeigen, dass die Anforderungen der Genehmigung eingehalten werden.

Referenzen

- /1/ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz
Schreiben an die TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG
Sachverständigentätigkeit zur Unterstützung der niedersächsischen Aufsichtsbehörde zur kritischen Überprüfung des Einsatzes von MOX-Brennelementen im Kernkraftwerk Grohnde (KÜMOX-KWG)
44-40311/3/3/1 vom 27.03.2013
- /2/ AREVA
KKE-Reaktorphysikalische Rechnungen für den 26. Zyklus;
Vorläufiger Umsetzplan für den 25. BE-Wechsel (Stand vom 17.01.2013)
FS1-0009125 Rev. 1.0 vom 18.02.2013
- /3/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Bekanntmachung der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“
Stand vom 22.11.2012
- /4/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Bewertung des Unfallrisikos fortschrittlicher Druckwasserreaktoren in Deutschland
GRS 175, ISBN 3-931995-43-7
Okt. 2001
- /5/ TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG
Abschlussbericht zum Abschlussworkshop zur PSA der Stufe 2 für das KKE
ETB-Dr. Bß vom 26.10.2011
- /6/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Phase B
Verlag TÜV Rheinland, 1990
ISBN 3-88585-809-6
- /7/ Westinghouse Electric Germany GmbH
Übertragbarkeit der Freisetzungsanalysen von GKN 2 auf KKE
Technischer Bericht GBRA 094 765, Rev. B
26.11.2009
- /8/ Westinghouse Electric Germany GmbH
PSA der Stufe 2 für das KKE
Abschlussbericht GBRA 094 778, Rev. B
21.07.2011

- /9/ SSK
Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen, Berichte der SSK, Heft 37, 2004

- /10/ SSK
Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV
Neufassung des Kapitels 4: Berechnung der Strahlenexposition
Berichte der Strahlenschutzkommission, Heft 44 (2004)

- /11/ IAEA
Safety Guide No. SSG-4
Development and Application of Level 2 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants
ISBN 978-92-0-102210-3, 2010

- /12/ Bundesamt für Strahlenschutz
Tschernobyl – 20 Jahre danach
2009