



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Forschungsreaktor München II (FRM-II) Standort und Sicherheitskonzept

Gemeinsame Empfehlung der Reaktor-Sicherheitskommission und
der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 133. Sitzung am 11./12. Oktober 1995

Veröffentlicht in: - Bundesanzeiger Nr. 26a vom 07. Februar 1996
- Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 39

Inhaltsverzeichnis

1	Beratungsauftrag	3
2	Kurzbeschreibung des Forschungsreaktors FRM-II	4
2.1	Standort	4
2.2	Sicherheitskonzept des FRM-II	4
3	Beratungsergebnisse und Bewertung durch die RSK	7
3.1	Bewertungskriterien der RSK	7
3.2	Einzelaspekte bei der Bewertung des Standorts	7
3.2.1	Erdbeben.....	7
3.2.2	Flugzeugabsturz.....	8
3.3	Bewertung des Sicherheitskonzepts	8
3.3.1	Brennelement	8
3.3.2	Bruchausschluß	9
3.3.3	Leittechnik	10
3.4	Auslegungsüberschreitende Ereignisse.....	11
4	Bewertung durch die RSK	11
5	Beratungsergebnisse und Bewertung der strahlenschutztechnischen Aspekte durch die SSK	12
5.1	Strahlenschutz des Personals.....	12
5.2	Strahlenexposition in der Umgebung	13
5.2.1	Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft.....	13
5.2.2	Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser	13
5.2.3	Direktstrahlung	14
5.3	Umgebungsüberwachung	14
5.4	Strahlenexposition nach Störfällen	14
6	Bewertung der strahlenschutztechnischen Aspekte durch die SSK	15
7	Zusammenfassende Bewertung durch die RSK und die SSK	15

1 Beratungsauftrag

Zur Vorbereitung einer bundesaufsichtlichen Stellungnahme zur 1. Teilgenehmigung für den Forschungsreaktor München II (FRM-II) hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) mit Schreiben vom 25. Juli 1995 die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) und die Strahlenschutzkommission (SSK) um eine gemeinsame Empfehlung zum Standort und zum Sicherheitskonzept des FRM-II gebeten.

Nachdem das BMU bereits mit Schreiben vom 24. Januar 1995 die RSK um eine Stellungnahme zu den wesentlichen sicherheitstechnischen Eigenschaften des projektierten Forschungsreaktors und seines Betriebs unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse gebeten hatte, hat der RSK-Ausschuß „Leichtwasserreaktoren“ in drei Sitzungen über folgende Themen beraten:

1. 127. Sitzung am 2. März 1995
 - Status des Projekts
 - Konzeptmerkmale
 - Kernauslegung
 - Schutzkonzept gegen Flugzeugabsturz
2. 129. Sitzung am 26. April 1995
 - Systemauslegung
 - Auslegungsüberschreitende Ereignisse
3. 130. Sitzung am 21. Juni 1995
 - Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA)

Darüber hinaus hat der RSK-Ausschuß „Druckführende Komponenten“ auf seiner 230. Sitzung am 25. April 1995 und auf seiner 231. Sitzung am 29. Mai 1995 über das Konzept zum Bruchausschluß beraten.

Auf ihrer 293. Sitzung am 21. Juni 1995 wurde die RSK über die Ergebnisse der Beratungen in den Ausschüssen informiert. Ergänzend hierzu hörte die RSK auf ihrer 294. Sitzung am 10. August 1995 die Antragsteller und Sachverständigen des im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren tätigen TÜV Bayern Sachsen e.V. zu Untersuchungen zur Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung nach auslegungsüberschreitenden Ereignissen an. Auf dieser Sitzung diskutierte die RSK die ihre Fachgebiete betreffenden Teile des vorgelegten Entwurfs einer Empfehlung. Auf der Grundlage dieser Hinweise überarbeitete der RSK-Ausschuß „Leichtwasserreaktoren“ auf seiner 131. Sitzung am 6. September 1995 den Entwurf nochmals und legte ihn auf der 295. RSK-Sitzung am 27. September 1995 vor, in der die Beschlußfassung erfolgte.

Der Ausschuß „Strahlenschutz bei kerntechnischen Anlagen“ der SSK hat auf der 133. Sitzung am 19. und 20. September 1995 und die SSK auf ihrer 132. Sitzung am 21. September 1995 und 133. Sitzung am 11. und 12. Oktober 1995 die strahlenschutztechnischen Aspekte des Vorhabens beraten.

2 Kurzbeschreibung des Forschungsreaktors FRM-II

Die Technische Universität München und die Firma Siemens beabsichtigen, auf dem Forschungsgelände Garching eine neue Neutronenquelle, den Kernreaktor FRM-II, zu errichten. Betreiber wird die Technische Universität München sein. Der Reaktor dient ausschließlich der Erzeugung von Neutronen und künstlicher radioaktiver Isotope für Experimente zur Klärung grundlegender Fragen der Neutronenphysik sowie für Anwendungen in der Medizin und für Materialuntersuchungen.

2.1 Standort

Der Standort in unmittelbarer Nähe von Garching liegt etwa 14 km nordnordöstlich vom Stadtzentrum Münchens entfernt und östlich der Bundesautobahn München-Nürnberg sowie am Rande der Einflugschneise des Münchener Flughafens „Franz Josef Strauß“. Im Umkreis von 10 km leben mehr als 127 000 Menschen. Auf dem Forschungsgelände Garching sind zahlreiche wissenschaftliche Einrichtungen angesiedelt. An Werktagen sind hier mehrere tausend Menschen tätig. Seit mehr als 30 Jahren wird hier der Forschungsreaktor München I (FRM-I) betrieben.

2.2 Sicherheitskonzept des FRM-II

Der FRM-II gehört zum Typ der Schwimmbadreaktoren. Der Reaktorkern befindet sich im Zentralkanal eines D_2O -Moderatortanks und ist im unteren Bereich eines oben offenen Leichtwasserbeckens untergebracht. Dieses Becken ist aufgeteilt in ein Reaktorbecken, in dem sich der D_2O -Moderatortank mit dem Kern befindet, und ein Absetzbecken, in dem u.a. die Lagergestelle für abgebrannte Brennelemente untergebracht sind. Das Beckenwasser dient zur Abschirmung und als Wärmesenke.

Der Reaktorkern besteht aus einem kompakten Brennelement. Das Brennelement ist zylinderförmig ausgebildet und enthält 113 gekrümmte Brennstoffplatten, die mit zwei konzentrischen Tragrohren verschweißt sind. Die Brennstoffplatten enthalten die aus einer Uran-Silizium-Verbindung und Aluminium bestehende Brennstoffmatrix, die von einer brennstofffreien Aluminiumschicht eingeschlossen ist. Die ca. 8 kg Uran sind auf ca. 93 % U-235 angereichert. Die thermische Leistung des Reaktors beträgt 20 MW.

Als Sicherheitssystem für die Abschaltung stehen zwei diversitäre und voneinander unabhängige Abschaltssysteme zur Verfügung. Jedes ist für sich in der Lage, den Reaktor schnell abzuschalten und unterkritisch zu halten. Das erste Abschaltssystem bilden die im Moderatortank angeordneten fünf Abschaltstäbe, von denen vier ausreichen, um die Abschaltung und die Langzeitunterkritikalität sicherzustellen. Zur Schnellabschaltung werden die Abschaltstäbe über ein Magnet-Auslösesystem von ihrem Antrieb getrennt und schwerkraft- und federbeschleunigt in eine kernnahe Position gebracht.

Der Regelstababsorber, der im Normalbetrieb die Reaktorleistung regelt und die abbrandbedingten Reaktivitätsverluste kompensiert, stellt das zweite schnelle Abschaltssystem dar. Er ist zentrisch im Zentralkanal innerhalb des inneren Brennelement-Tragrohres angeordnet, hängt am Antriebsgestänge und wird über eine elektromagnetisch betätigte Kupplung gehalten. Er ist im oberen Bereich als Absorber aus Hafnium mit einem Kern aus einer Aluminiumlegierung, im unteren Bereich als Innenmoderator aus Beryllium ausgebildet. Zum Anfahren und zur Ab-

brandkompensation wird der Regelstab nach oben gezogen, wobei der damit verbundene Innenmoderator von unten nachfolgt. Zur Abschaltung des Reaktors wird der Regelstab wieder eingefahren.

Zur Auslösung einer Schnellabschaltung wird die Kupplung zwischen dem Regelstab und dem Antriebsgestänge elektromagnetisch entriegelt. Der Regelstab fällt in seinem Führungsrohr frei in den Kern ein und wird dabei durch sein Eigengewicht und durch die abwärts gerichtete Kühlmittelströmung beschleunigt.

Zur Kühlung des Brennelements im Leistungsbetrieb werden die Kühlpalte zwischen den Brennstoffplatten mit Leichtwasser von oben nach unten durchströmt. Das im Reaktorkern erwärmte Wasser wird über die Saugleitung des Primärkühlsystems von vier mit Schwungrädern versehenen Primärpumpen angesaugt und über zwei Wärmetauscher und eine Sammelleitung in den Zentralkanal zum Brennelement zurückgefördert. Die vier Primärpumpen und die zwei Wärmetauscher befinden sich in der wasserdichten Primärzelle, die übrigen Komponenten des Primärkühlsystems im wassergefüllten Reaktorbecken. Der Primärkreislauf ist in den wesentlichen passiven Komponenten einsträngig und bei aktiven Komponenten redundant aufgebaut. Siebe im Primärkühlsystem und am Brennelementkopf bewirken, daß möglicherweise im Kühlmittel mitgeführte Partikel aufgefangen werden, so daß Kühlkanalblockaden im Brennelement verhindert werden.

Von den Wärmetauschern wird die Wärme über ein geschlossenes, im Reaktorgebäude untergebrachtes Sekundärkühlsystem an ein Tertiärkühlsystem mit Naßkühlturm als Wärmesenke abgegeben.

Die Druckleitung des Primärkühlsystems sowie die Bauteile der Primärkühlmittelumschließung in der Primärzelle werden gemäß den Anforderungen der Rahmenspezifikation Basissicherheit ausgelegt, gefertigt und betrieben. Dadurch sind Rohrleitungsbrüche, die zu großen Kernbypassen führen können, ausgeschlossen. Als Störfall werden Leckagen entsprechend einer Querschnittsfläche von 25 cm² unterstellt. Damit wird der Abriß einer Anschlußleitung bis DN 50 abgedeckt.

Nach einer Reaktorabschaltung wird die Zwangsdurchströmung des Reaktorkerns durch die weiterlaufenden Primärpumpen aufrechterhalten. Die Zwangsdurchströmung ist zur Vermeidung von instationären Siedevorgängen im Brennelement und daraus hervorgerufenen Druckpulsationen für die Dauer von mindestens drei Stunden erforderlich. Schwungräder bewirken, daß die Primärpumpen bei Ausfall verzögert auslaufen. Diese Schwungräder sind so bemessen, daß der Durchsatz erst nach ca. 100 s auf ca. 8 % des Nominaldurchsatzes abfällt. Die Nachzerfallsleistung beträgt zu diesem Zeitpunkt ca. 3 % der Nominalleistung. Die Kernkühlung des abgeschalteten Reaktors wird bei Ausfall der Primärkühlmittelpumpen durch das Not-/Nachkühlsystem für ca. drei Stunden übernommen. Dazu wird von den 3x100 % vorhandenen, batteriegepufferten Notkühlpumpen Beckenwasser in die Primärdruckleitung gefördert, Rückströmung in Richtung der Primärpumpen wird durch Rückschlagklappen verhindert.

Die langfristige Kühlung erfolgt im Naturumlauf. Dabei kehrt sich nach Abschalten aller Primär- und Notkühlpumpen und Öffnen der Naturumlaufklappen die Strömungsrichtung durch die Nachwärmeerzeugung im Kern um. Solange nach einer Reaktorabschaltung das Primärkühlsystem sowie Sekundär- und Tertiärkühlsystem zur Verfügung stehen, erfolgt die Wärmeabfuhr wie im Leistungsbetrieb. Bei Betrieb des Not-/Nachkühlsystems und beim Naturumlauf-

betrieb dient das Beckenwasser als Wärmesenke. Die eingebrachte Wärme wird über das Beckenwasserkühlsystem an das Sekundär- und Tertiärkühlsystem abgegeben, sofern diese verfügbar sind. Ist dies nicht der Fall, kann die gesamte Nachwärme in das Beckenwasser abgegeben werden, ohne daß dort eine Temperatur von 80 °C überschritten wird. Die Wärmeabfuhr aus dem Becken erfolgt dann durch Wärmeabgabe an die Beckenwände und durch Verdunstung.

Radioaktive Spaltprodukte werden durch die Brennstoffmatrix, die brennstofffreie Aluminiumschicht, die Primärkühlmittelumschließung und das Beckenwasser zurückgehalten.

Ein Verlust von Primärkühlmittel aus dem Primärkreislauf über betriebliche Bypässe wird durch die Systemwandungen als erste Barriere verhindert. Die Rückhaltung störfallbedingter Leckagen des Primärkreislaufes erfolgt je nach Leckort im Beckenwasser, in der dichten Primärzelle oder im komplett im Reaktorgebäude angeordneten, geschlossenen Sekundärkühlsystem.

Das Auslaufen von Beckenwasser wird durch je zwei Barrieren verhindert. Diese sind zum einen die Beckenauskleidung aus Stahl (Liner) und der Beckenbeton und zum anderen die Strahlrohrreinheiten mit zwei Wandfunktionen. Die Beckenstruktur ist so ausgelegt, daß sie auch bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen, z.B. im Falle eines Flugzeugabsturzes auf das Reaktorgebäude, ihre Integrität behält.

Im Zusammenwirken mit diesen Rückhaltebarrieren dient der Sicherheitseinschluß als letzte Barriere dazu, bei Betrieb und nach Störfällen die Freisetzung radioaktiver Stoffe gering zu halten und zu kontrollieren. Hierbei wird zwischen Luftpfad und Wasserpfad unterschieden.

Für den Luftpfad stellen das Reaktorgebäude und die zur Unterdruckhaltung und zur Filterung der Umluft und der Fortluft erforderlichen lufttechnischen Einrichtungen des Kontrollbereiches des Reaktorgebäudes sowie des Kellerbereiches unter der Neutronenleiterhalle den Sicherheitseinschluß dar.

Bei Normalbetrieb wird der Kontrollbereich durch Zuluft- und Fortluftanlagen belüftet. Die Lüftungsanlagen stellen sicher, daß im Kontrollbereich ein Unterdruck gegenüber angrenzenden Gebäudebereichen bzw. der Außenatmosphäre besteht und daß innerhalb des Kontrollbereiches eine gerichtete Luftströmung von Räumen mit geringer zu Räumen mit höherer Aktivität aufrechterhalten wird. Die Fortluft wird gefiltert und kontrolliert abgegeben.

Die Reaktorhalle wird im Falle einer störfallbedingten Aktivitätsfreisetzung durch lufttechnischen Gebäudeabschluß von den Lüftungsanlagen des Normalbetriebs mit luftdicht schließenden Klappen abgetrennt. Der Unterdruck in der Reaktorhalle wird über eine dann in Betrieb genommene, mit Filtern ausgestattete Unterdruckhalteanlage aufrechterhalten. Zusätzlich wird in der Reaktorhalle eine Umluftfilteranlage in Betrieb genommen.

Für den Wasserpfad bilden die entsprechenden Kellerbereiche von Reaktorgebäude und Neutronenleiterhalle die Barrieren des Sicherheitseinschlusses. Diese Räume sind mit einer wasserdichten Innenbeschichtung versehen und aus Stahlbeton mit außenliegender Bauwerksabdichtung im Erdbereich hergestellt.

3 Beratungsergebnisse und Bewertung durch die RSK

3.1 Bewertungskriterien der RSK

Das Sicherheitskonzept für den FRM-II muß gewährleisten, daß die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen wird. Bei der Bewertung des Sicherheitskonzepts legt die RSK folgende Kriterien zugrunde:

- Grundlage sind die Bewertungsmaßstäbe für Leichtwasserreaktoren, soweit sie sinnvoll auf einen Forschungsreaktor anwendbar sind. Die Erfahrungen mit Forschungsreaktoren werden berücksichtigt.
- Die Schutzziele „Reaktivitätskontrolle“, „Kühlung des Reaktorkerns“, „Aktivitätseinschluß“ und „Begrenzung der Strahlenexposition“ müssen erreicht werden.
- Die Grundsätze der Rahmenspezifikation „Basissicherheit“ der RSK-Leitlinien und somit der Nachweis des Bruchausschlusses für die sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten des FRM-II müssen eingehalten werden.
- Die Lage des Standorts am Rande der Einflugschneise des Münchener Flughafens „Franz Josef Strauß“ muß in die Beurteilung einbezogen werden.

Hiervon ausgehend, stellt die RSK aufgrund ihrer Beratungen über die sicherheitstechnisch relevanten Fragen folgendes fest:

3.2 Einzelaspekte bei der Bewertung des Standorts

Für die Beurteilung des Standorts sind die relevanten Lastfälle aus Einwirkungen von außen sowie die radiologischen Auswirkungen von Anlagenbetrieb und Störfällen auf die Umgebung zu betrachten.

Nach Ansicht der RSK werden die für die baulichen Anlagen anzusetzenden Lastfälle zur Berücksichtigung der Einwirkungen von außen angemessen berücksichtigt.

Zur Bewertung der radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung wird auf die Abschnitte 5 und 6 verwiesen.

Zu den Lastfällen „Erdbeben“ und „Flugzeugabsturz“ stellt die RSK im einzelnen fest:

3.2.1 Erdbeben

Der Standort liegt zentral innerhalb des erdbebenarmen Bayerischen Molassebeckens. Bei den insgesamt sechs tektonischen Erdbeben, die in den vergangenen Jahrhunderten in dieser seismischen Region aufgetreten sind, wurde eine maximale Epizentralintensität von I (MSK) = 6 beobachtet. Diese Intensität wurde am Standort auch bei Erbebeneinwirkungen aus dem im Umkreis von mehr als 200 km Entfernung liegenden seismisch aktiven Nachbarregionen nicht überschritten. Die vom Hersteller durchgeführte und von den Sachverständigen in ihren Ergebnissen bestätigte probabilistische seismische Standortanalyse hat ergeben, daß für das Bemessungserdbeben am Standort eine Intensität I (MSK) = 6 1/4 mit einer Horizontalbeschleunigung von $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ und einer Vertikalbeschleunigung von $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ anzusetzen ist.

Aus Sicht des Gutachters werden alle Gebäude und Anlagenteile, die benötigt werden, um den Reaktor abzuschalten und langfristig unterkritisch zu halten, die Nachzerfallswärme abzuführen sowie eine unzulässige Freisetzung von Radioaktivität zu verhindern, gegen Lasten aus dem Bemessungserdbeben ausgelegt.

3.2.2 Flugzeugabsturz

Wegen der Lage des Standorts am Rande der Einflugschneise des Münchener Flughafens „Franz Josef Strauß“ hat sich die RSK mit dem Schutz des FRM-II gegen Flugzeugabsturz befaßt. Die RSK ist der Ansicht, daß für den Lastfall Flugzeugabsturz der Penetrationsschutz für das Reaktorgebäude nach der Last-Zeit-Funktion gemäß RSK-Leitlinien und die funktionelle Integrität des Leichtwasserbeckens nachzuweisen sind.

Die RSK stimmt den übrigen von den Antragstellern vorgesehenen Maßnahmen zu, sofern gezeigt wird, daß bei diesem Ereignis - auch unter Berücksichtigung der im Absetzbecken zwischengelagerten abgebrannten Brennelemente - eine Evakuierung nicht notwendig wird.

3.3 Bewertung des Sicherheitskonzepts

Die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) hatte sich bereits auf ihrer 228. Sitzung am 16. Dezember 1987 mit Fragen zum Konzept des Forschungsreaktors München II (FRM-II) befaßt und eine Stellungnahme abgegeben. Darin ist ausgeführt, daß der FRM-II im nationalen und internationalen Vergleich keine Besonderheiten aufweist. Grundsätzliche Überlegungen und insbesondere der vorgesehene hohe Reaktivitätshub veranlaßten die RSK zu der Empfehlung, z.B. den Einsatz abbrennbarer Gifte oder eine Konstruktionsänderung des Regelstabantriebs zu prüfen. In ihrer Stellungnahme führte die RSK weiterhin aus, daß der Redundanzgrad der Umwälzpumpen im Primärkreis auf 3x100 % erhöht werden sollte. Diese Empfehlungen aus der 228. RSK-Sitzung wurden von den Antragstellern berücksichtigt. Die Konstruktion der Abschalteneinrichtungen und die Auslegung des Reaktors einschließlich des Reaktorschutzes gewährleistet, daß überprompt kritische Reaktivitätsstörfälle ausgeschlossen sind.

Aufgrund der jetzigen Beratungen stellt die RSK fest: Das Konzept der Anlage FRM-II entspricht dem Stand von Wissenschaft und Technik. Vergleichbare Anlagen im In- und Ausland haben sich im Betrieb bewährt und als sicher erwiesen.

Im einzelnen stellt die RSK folgendes fest:

3.3.1 Brennelement

Die Konstruktion des Brennelements für den FRM-II entspricht in den Grundzügen dem im HFR in Grenoble seit ca. 20 Jahren bewährten Brennelementtyp. Die Brennstoffplatten entsprechen hinsichtlich ihres Aufbaus und ihrer Herstellungsweise den auch in anderen Forschungsreaktoren verwendeten Platten.

Das aus 113 Brennstoffplatten mit insgesamt ca. 8 kg Uran bestehende Brennelement des FRM-II weist mit einer Leistungsdichte von 1,06 MW/l und einer Zyklusdauer von 52 Vollasttagen einen Abbrand von 128 GWd/tU auf. Damit entsprechen diese Werte der Auslegung des Forschungsreaktors HFR in Grenoble. Die RSK geht davon aus, daß die im HFR erzielten Bestrahlungserfahrungen für den FRM-II voll genutzt werden.

3.3.2 Bruchausschluß

Das im Jahre 1979 eingeführte Konzept der Basissicherheit ermöglicht den Ausschluß großer Brüche im Primärkreis und in äußeren Systemen mit sicherheitstechnischer Bedeutung.

Im Sinne dieser Nachweisführung wird die Primärkühlmittelumschließung des FRM-II von den Antragstellern in die folgenden Bereiche unterteilt:

1. Die Pumpendruckseite mit Ausnahme des aus der Aluminiumlegierung Typ AlMg3 gefertigten Zentralkanals und die Pumpensaugseite in der Primärzelle, einschließlich des trockenen Rohrkanals: Für diesen Bereich wird der Nachweis des Bruchausschlusses erbracht.
2. Der Rohrleitungsabschnitt der Pumpensaugseite, der vom Beckenwasser überdeckt wird, sowie der Teil des Zentralkanals von der Unterkante der Brennelemente bis zum Moderatortankboden: Für den Rohrleitungsabschnitt in diesem Bereich liegt ein Druckausgleich zum Beckenwasser vor. Ein unterstellter Bruch der Rohrleitung in diesem Bereich gefährdet nicht die Aufrechterhaltung der Kernkühlung. Für den angesprochenen Teil des Zentralkanals gilt, daß unterhalb des Brennelements keine leakagebedingten Kernbypässe möglich sind. Für diesen Bereich wird von den Antragstellern der Bruchausschluß nicht in Anspruch genommen.
3. Der Abschnitt des Zentralkanals auf der Pumpendruckseite (Nahtstelle ist die Unterkante des Brennelements): Für diesen Bereich wird der Nachweis der Bruchbeherrschung erbracht.

Die Druckführende Umschließung des Primärkühlmittels des FRM-II ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Niederenergetisches System (10 bar, 60 °C);
- Niobstabilisierter, austenitischer Stahl (Werkstoff-Nr. 1.4550), primäre Nennspannung unter 50 N·mm⁻² (gemäß Tabelle 1 der Rahmenspezifikation Basissicherheit);
- Die Werkstoffe für den Zentralkanal (AlMg3) und für den äußeren Quellenbehälter der Kalten Neutronenquelle sowie den inneren und äußeren Quellenbehälter der Heißen Neutronenquelle (Zircaloy) sind nicht in der Rahmenspezifikation Basissicherheit enthalten.

Als Strukturwerkstoff für die Teile der Primärkühlmittelumschließung ist der stabilisierte austenitische Stahl mit der Werkstoffnummer 1.4550 vorgesehen. Dieser Stahl hat sich im Betrieb von Leistungsreaktoren seit Jahren bewährt.

Für den Zentralkanal sind die Kriterien und Anforderungen der Rahmenspezifikation Basissicherheit nicht direkt anwendbar. Das Konzept zur Sicherstellung der Kernkühlung unter allen Betriebs- und Störfallbedingungen sieht eine doppelwandige Führung des Reaktorkühlmittels auf dem Abschnitt der Pumpendruckseite des Zentralkanals vor. Die ausgewählte Aluminiumlegierung ist als Werkstoff für Druckbehälter gemäß den Technischen Regeln zur Druckbehälterverordnung zugelassen. Für den Bereich des Brennelements soll die Doppelwandigkeit durch den äußeren zylindrischen Mantel des Brennelements und durch das Zentralkanalrohr erreicht werden.

Für den aus der Aluminiumlegierung Typ AlMg3 bestehenden Zentralkanal ist der Werkstoffversprödung durch Neutronenbestrahlung besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Die RSK

geht von der sinngemäßen Erfüllung der Rahmenspezifikation „Basissicherheit“ aus. Diese kann darin bestehen, daß - wie vom Hersteller vorgesehen - der Zentralkanal frühzeitig ausgewechselt wird und daran Untersuchungen zum Grad der Zähigkeitsverminderung durchgeführt werden.

Für die Beurteilung der zulässigen Standzeit des Zentralkanals benötigt die RSK im laufenden Verfahren weitere Informationen. Deshalb wird sie sich hierzu zu gegebener Zeit äußern.

Die Unterteilung der Primärkühlmittelumschließung in die drei o.g. Bereiche zur Nachweisführung des Bruchausschlusses bzw. der Bruchbeherrschung ist nach Meinung der RSK sinnvoll.

Die RSK hält die vorgesehenen Maßnahmen für geeignet, große Brüche bei Rohrleitungen mit Nennweiten größer als DN 50 auszuschließen.

Nach Ansicht der RSK sind die Voraussetzungen für die Einhaltung der Grundsätze der Rahmenspezifikation „Basissicherheit“ und somit für den Bruchausschluß bei den sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten des FRM-II gegeben. Dieses gilt für Komponenten der Primärkühlmittelumschließung, den Entgasungsbehälter des Moderator Kühlsystems in der Primärzelle und die Behälter der Heißen und Kalten Neutronenquelle.

Der Entgasungsbehälter und die Behälter der Heißen und Kalten Neutronenquelle sind als niederenergetische Systeme ($T < 100 \text{ }^\circ\text{C}$, $p < 20 \text{ bar}$) einzustufen, wenn die Betriebsnennspannung $< 50 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ bleibt. Sie sollen in Anlehnung an die Anforderungen und Kriterien der Rahmenspezifikation „Basissicherheit“ so ausgelegt werden, daß von einem Bruchausschluß ausgegangen werden kann. Durch qualitätserzeugende und qualitätssichernde Maßnahmen bei der Konstruktion, Berechnung, Werkstoffauswahl und Herstellung sowie den herstellungsbegleitenden Prüfungen und den Fertigungsendprüfungen der Schweißnähte soll eine hohe Qualität erreicht werden. Der für den Einsatz vorgesehene Werkstoff Zircaloy ist ein erprobter Werkstoff für reaktorspezifische Anwendungen. Die qualitätserzeugenden und qualitätssichernden Maßnahmen sollen sich an den inhaltlichen Festlegungen für die Prüfgruppen A2/A3 der Rahmenspezifikation „Basissicherheit“ orientieren. Für die Prüfbarkeit der Schweißverbindungen sollen konstruktive Vorkehrungen dafür getroffen werden, daß alle Schweißnähte zu 100 % durchstrahlbar sind. Die RSK geht davon aus, daß - insbesondere im Hinblick auf die Werkstoffversprödung durch Neutronenstrahlung - die bisherigen Betriebserfahrungen sicherheitstechnisch in geeigneter Form genutzt werden.

3.3.3 Leittechnik

Das Konzept der Leittechnik des FRM-II entspricht dem von Leistungsreaktoren.

Die RSK wurde darüber informiert, daß der Hersteller beabsichtigt, ein digitales Leittechniksystem einzusetzen. Sie begrüßt dieses.

Wegen des niedrigen Spannungsniveaus digitaler Leittechnik ist ein ausreichender Schutz gegenüber Störfalleinflüssen sicherzustellen.

Ferner ist die Notstromversorgung so auszulegen, daß die Störfallinstrumentierung über zehn Stunden aufrechterhalten wird.

3.4 Auslegungsüberschreitende Ereignisse

Der RSK wurden von den Antragstellern die Ergebnisse einer probabilistischen Untersuchung von Sequenzen mit Kernschmelzen vorgelegt. Danach ist die Eintrittswahrscheinlichkeit von Sequenzen mit Kernschmelzen beim FRM-II deutlich geringer als bei Leistungsreaktoren.

Die radiologischen Auswirkungen dieser Sequenzen machen keine Evakuierung erforderlich. Das gilt selbst für den Fall, daß alle aktiven Sicherheitssysteme, einschließlich Unterdruckhaltung und Filterung, versagen. Gründe hierfür sind u.a. das Aktivitätsinventar des FRM-II, das um den Faktor 200 geringer ist als das eines Leistungsreaktors mit einer elektrischen Leistung von ca. 1300 MW, und das große Rückhaltevermögen des Leichtwasserbeckens für Spaltprodukte.

Die RSK hält unter diesen Umständen detaillierte Analysen der einzelnen Sequenzen des Kernschmelzens nicht für erforderlich.

4 Bewertung durch die RSK

Bei Anwendung der in Abschnitt 3.1 genannten Bewertungskriterien auf das Sicherheitskonzept des FRM-II und den für seine Errichtung vorgesehenen Standort auf dem Forschungsgelände Garching ergibt sich folgende zusammenfassende Bewertung des Vorhabens durch die RSK:

- Gegen die Wahl des Standorts bestehen keine Bedenken.
- Das Konzept der Anlage FRM-II entspricht dem Stand von Wissenschaft und Technik. Vergleichbare Anlagen im In- und Ausland haben sich im Betrieb bewährt und als sicher erwiesen.
- Die bauliche und verfahrenstechnische Auslegung der Anlage stellt in Verbindung mit der elektro- und leittechnischen Auslegung die Einhaltung der Schutzziele sicher.
- Dem Konzept der Basissicherheit für die Komponenten der Druckführenden Umschließung wird zugestimmt.
- Die Behälter der Heißen und Kalten Neutronenquelle sind als niederenergetische Systeme einzustufen. Sie sollen in Anlehnung an die Anforderungen und Kriterien der Rahmenspezifikation „Basissicherheit“ so ausgelegt werden, daß von einem Bruchausfluß ausgegangen werden kann. Bezüglich der Schweißnähte soll eine hohe Qualität erreicht werden.
- In das Störfallspektrum, das der Auslegung zugrunde gelegt wird, sind alle relevanten Störfälle einbezogen.
- Die für die baulichen Anlagen anzusetzenden Lastfälle aus Einwirkungen von außen werden angemessen berücksichtigt, sofern beim Lastfall „Flugzeugabsturz“ gewährleistet ist, daß bei diesem Ereignis - auch unter Berücksichtigung der im Absetzbecken zwischengelagerten abgebrannten Brennelemente - eine Evakuierung nicht notwendig wird.

Insgesamt stellt die RSK fest, daß die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage gewährleistet werden kann, wenn die in den Abschnitten 3.2 bis 3.4 ausgesprochenen Empfehlungen beachtet werden.

5 Beratungsergebnisse und Bewertung der strahlenschutztechnischen Aspekte durch die SSK

5.1 Strahlenschutz des Personals

In den Gebäuden des FRM-II und für das Betriebsgelände werden Strahlenschutzbereiche als

- Sperrbereich
- Kontrollbereich
- betrieblicher Überwachungsbereich

vorgesehen.

Die Räume im Kontrollbereich werden in Zonen unterschiedlicher Ortsdosisleistung und Kontamination eingeteilt, in denen entsprechende Strahlenschutzmaßnahmen vorgesehen werden.

Es sind Abschirmungen vorgesehen, deren Auslegung die Anforderungen an Dauereinrichtungen gemäß § 54 StrlSchV erfüllen.

Der wesentliche Anteil an der Gesamtstrahlenexposition wird durch den Brennelement-Wechsel (nach 50 Vollasttagen, unter Wasser) und die Instandhaltungsmaßnahmen erwartet. Diese betreffen:

- Arbeiten im Bereich des Reaktorbeckens (Zeitabstände 5-10 a, im wesentlichen unter Wasser);
- Arbeiten an Ionenaustauschern;
- Arbeiten an Komponenten der Kühl- und Nebensysteme;
- Arbeiten an tritiumhaltigen Systemen und Komponenten (Entleeren und Spülen/Trocknen vor Öffnung der Systeme).

Die Raumluft in relevanten Raumbereichen im Reaktorgebäude wird auf radioaktive Aerosole, radioaktive Edelgase und Tritium mit festinstallierten Meßgeräten kontinuierlich überwacht.

Die Anforderungen der §§ 62 und 63 StrlSchV bezüglich der Erfassung der Körperdosen werden durch Überwachung mit amtlichen sowie direkt ablesbaren Personendosimetern erfüllt. Erforderlichenfalls werden Inkorporationsmessungen vorgenommen. Zur Erfassung von Neutronen und zur Ermittlung von Teilkörperdosen werden geeignete Dosimeter ausgegeben.

Beim Betrieb des FRM-II (Forschungsbetrieb, Reaktorbetrieb, BE-Wechsel, Inspektions- und Wartungsarbeiten, Reparaturen) sollen ca. 200 beruflich strahlenexponierte Personen tätig werden. Die Antragsteller rechnen mit einer jährlichen Kollektivdosis von etwa 80 Personen-mSv. Beim Betrieb des FRM-I lag die Kollektivdosis in den Jahren 1990 bis 1992 bei 10 bis 40 Personen-mSv pro Jahr.

Der Sachverständige hat festgestellt, daß der Schutz des Personals durch die vorgesehenen Maßnahmen gewährleistet werden kann. Die physikalische Strahlenschutzkontrolle des Personals entspricht den zu stellenden Anforderungen.

5.2 Strahlenexposition in der Umgebung

5.2.1 Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft

Für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft werden folgende Werte pro Kalenderjahr beantragt:

– radioaktive Edelgase	2,0 E 13 Bq
– radioaktive Aerosole mit HWZ > 8 d	2,0 E 06 Bq
– I-131	1,5 E 08 Bq
– C-14	2,0 E 10 Bq
– Tritium (H-3)	3,0 E 12 Bq

Die Ableitung der radioaktiven Stoffe erfolgt über den 50 m hohen Fortluftkamin neben dem Reaktorgebäude. Die Ableitungen mit Luft werden spezifisch für die jeweilige Radionuklidgruppe überwacht.

Die in der Empfehlung über den Regelungsinhalt von Bescheiden bezüglich der Ableitung radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor (GMBI 1984, S. 327) vorgegebenen zusätzlichen Begrenzungen der Ableitungen radioaktiver Stoffe sind nach Einschätzung des Sachverständigen einhaltbar.

Für die beantragten Ableitungen hat der Sachverständige nach der AVV zu § 45 StrlSchV sowie zusätzlich unter Zuhilfenahme eines modifizierten Rechenverfahrens zur Berücksichtigung der am Standort vorhandenen komplexen Gebäudestrukturen und des dadurch entstehenden Einflusses auf das bodennahe Strömungsfeld eine potentielle effektive Dosis für die Referenzperson Erwachsener von ca. 12 μSv pro Kalenderjahr (4% vom Grenzwert) und für die Referenzperson Kleinkind von ca. 17 μSv pro Kalenderjahr (6% vom Grenzwert) berechnet. Einschließlich der Vorbelastung beträgt die potentielle effektive Dosis für die Referenzperson Erwachsener ca. 15 μSv pro Kalenderjahr (5% vom Grenzwert) und für die Referenzperson Kleinkind ca. 21 μSv pro Kalenderjahr (7% vom Grenzwert). Die Strahlenexposition der Referenzpersonen unterschreiten somit die Grenzwerte gemäß § 45 Abs. 1 StrlSchV.

5.2.2 Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser

Alle innerhalb des Kontrollbereiches anfallenden radioaktiv kontaminierten Wässer werden abhängig vom jeweiligen Kontaminationsgrad unterschiedlichen Sammelbehältern für schwach-, mittelradioaktive und D_2O -haltige Abwässer zugeführt.

Für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser in die Isar werden von den Antragstellern folgende Werte pro Kalenderjahr beantragt:

– Radionuklidgemisch ohne Tritium	2,0 E 09 Bq
– Tritium	2,0 E 11 Bq

Die Forderung gemäß Empfehlung über den Regelungsinhalt von Bescheiden bezüglich der Ableitung radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktor (GMBI 1984, S. 327), daß zusätzlich zu den Obergrenzen der jährlichen Ableitungen auch die innerhalb von 180 Ta-

gen abgeleitete Radioaktivität auf die Hälfte der Jahresobergrenzen zu begrenzen ist, kann erfüllt werden. Es werden nur schwachradioaktive Abwässer chargenweise aus dem dafür vorgesehenen Übergabebehälter abgeleitet; Abwässer mit höherer Kontamination werden zur externen Entsorgung abgegeben.

Die effektive Dosis durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Wasser aus dem FRM-II beträgt nach den Berechnungen des Sachverständigen an der ungünstigsten Einwirkungsstelle für die Referenzperson Erwachsener ca. 6,0 μSv pro Kalenderjahr (2% vom Grenzwert) und für das Kleinkind ca. 2,5 μSv pro Kalenderjahr (0,8% vom Grenzwert).

Die Isar ist in dem zu betrachtenden Bereich durch Ableitungen der Anwender von Radionukliden aus den Bereichen Medizin, Technik und Wissenschaft (Genehmigungen nach § 3 StrlSchV) nach den Berechnungen des Sachverständigen mit 220 μSv effektive Dosis pro Kalenderjahr (Erwachsener) bzw. 65 μSv effektive Dosis pro Kalenderjahr (Kleinkind) vorbelastet. Dabei wurden vom Sachverständigen die gemäß § 46 Abs. 4 StrlSchV maximal möglichen Aktivitätskonzentrationen für die Ableitung radioaktiver Stoffe zugrundegelegt. Auch die Berücksichtigung der so ermittelten Vorbelastung führt zu keiner Überschreitung der Grenzwerte des § 45 StrlSchV. Die SSK erwartet, daß die Vorbelastung bis zur Erteilung einer Betriebsgenehmigung realistisch ermittelt wird.

5.2.3 Direktstrahlung

Die effektive Dosis durch Direktstrahlung unter Einbeziehung der Dosen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser unterschreitet außerhalb der Anlage den Dosisgrenzwert nach § 44 Abs. 1 StrlSchV.

5.3 Umgebungsüberwachung

Die Emission und die Immission radioaktiver Stoffe werden entsprechend der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) überwacht. Nach Aussage des Sachverständigen berücksichtigt das Umgebungsüberwachungsprogramm die zu überwachenden Umweltbereiche. Die hierzu erforderlichen Messungen und Beprobungen sind vorgesehen.

Die SSK empfiehlt, die gemäß REI geforderten Gammaortsdosismessungen (TLD) durch eine repräsentative Neutronendosismessung zu ergänzen. Es wird vorgeschlagen, diese Neutronenmeßstelle im Bereich der Lkw-Schleuse einzurichten.

5.4 Strahlenexposition nach Störfällen

Die Analysen zur Freisetzung radioaktiver Stoffe aus dem FRM-II bei Störfällen wurden in Anlehnung an die Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor gegen Störfälle (Störfall-Leitlinien) vom 18. Oktober 1983 unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Gegebenheiten durchgeführt.

Antragsteller und Sachverständiger haben als radiologisch abdeckenden Störfall die Freisetzung des Inventars von 15 Brennstoff-Platten angenommen. Dieses Ereignis ist aufgrund der systemtechnischen Vorkehrungen hypothetisch.

Die sowohl von den Antragstellern mit dem Rechenverfahren der Störfallberechnungsgrundlagen als auch vom Sachverständigen unter Zuhilfenahme eines modifizierten numerischen Ausbreitungsmodells ermittelten Dosiswerte bei Störfällen liegen unter den Störfallplanungswerten nach § 28 Abs. 3 StrlSchV.

6 Bewertung der strahlenschutztechnischen Aspekte durch die SSK

Nach Diskussion der von den Antragstellern, dem Sachverständigen und der Genehmigungsbehörde vorgetragenen strahlenschutztechnischen Aspekte zum Standort und Sicherheitskonzept des FRM-II stellt die SSK fest:

- Die von den Antragsstellern geplanten technischen und organisatorischen Maßnahmen zum Schutz des Personals und der Umgebung des FRM-II entsprechen bei Berücksichtigung der vom Sachverständigen gegebenen Hinweise den zu stellenden Forderungen.
- Die vorgesehenen Maßnahmen zum Schutz des Personals vor äußerer Bestrahlung, Kontamination und Inkorporation bei Vorbereitung und Durchführung von Arbeiten entsprechen den Anforderungen. Die Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle ist anzuwenden.
- Die durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser bedingte Strahlenexposition liegt unter den Dosisgrenzwerten des § 45 StrlSchV. Die SSK erwartet, daß die Vorbelastung der Isar bis zur Erteilung einer Betriebsgenehmigung realistisch ermittelt wird.
- Die SSK empfiehlt, hinsichtlich der Umgebungsüberwachung zusätzlich eine Neutronendosismeßstelle im Außenbereich der Lkw-Schleuse vorzusehen.
- Die berechneten Dosiswerte bei Störfällen liegen unter den Planungsrichtwerten des § 28 Abs. 3 StrlSchV.
- Die Strahlenexposition in der Umgebung liegt selbst nach postulierten auslegungsüberschreitenden Ereignissen unterhalb der unteren Eingreifrichtwerte, so daß keine einschneidenden Maßnahmen zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen, wie z. B. Evakuierung außerhalb des abgeschlossenen Geländes der Anlage, erforderlich werden.

7 Zusammenfassende Bewertung durch die RSK und die SSK

Die RSK und die SSK haben die sicherheitstechnischen und die strahlenschutztechnischen Aspekte des projektierten Forschungsreaktors und seines Betriebs unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse beraten. Beide Kommissionen kommen zu dem Ergebnis, daß die Antragsteller die erforderlichen Maßnahmen vorgesehen haben. Das vorgelegte Konzept ist nach Ansicht der RSK und der SSK in seinen einzelnen Schritten folgerichtig aufgebaut und sicherheitsgerichtet. Die Einzelheiten der strahlenschutztechnischen Ausstattung und des radiologischen Arbeitsschutzes werden im Rahmen der weiteren Genehmigungsschritte von der SSK bewertet.