

Bewertung der Umsetzung der Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren

Inhalt

1	Anlass der Beratung	4
2	Beratungsgang	4
3	Vorbemerkungen zu Inhalt und Aufbau der Stellungnahme	5
4	Forschungsreaktor Berlin II (BER-II)	6
4.1	Notfallmaßnahmen	6
4.1.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	6
4.1.2	Umsetzung.....	7
4.1.3	Bewertung der RSK	14
4.2	Sonstige naturbedingte Einwirkungen	17
4.2.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	17
4.2.2	Umsetzung.....	18
4.2.3	Bewertung der RSK	18
4.3	Schutz gegen Explosion	18
4.3.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	18
4.3.2	Umsetzung.....	18
4.3.3	Bewertung der RSK	19
4.4	Flugzeugabsturz	19
4.4.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	19
4.4.2	Umsetzung.....	20
4.4.3	Bewertung der RSK	22
4.5	Vorsorgemaßnahmen	23
4.5.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	23

4.5.2	Umsetzung.....	24
4.5.3	Bewertung der RSK	26
5	Forschungsreaktor München II (FRM-II).....	27
5.1	Notfallmaßnahmen.....	27
5.1.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	27
5.1.2	Umsetzung.....	27
5.1.3	Bewertung der RSK	34
5.2	Erdbeben.....	37
5.2.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	37
5.2.2	Umsetzung.....	37
5.2.3	Bewertung der RSK	39
5.3	Vorsorgemaßnahmen.....	40
5.3.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	40
5.3.2	Umsetzung.....	40
5.3.3	Bewertung der RSK	44
6	Forschungsreaktor Mainz (FR-Mz).....	45
6.1	Notfallmaßnahmen.....	45
6.1.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	45
6.1.2	Umsetzung.....	45
6.1.3	Bewertung der RSK	49
6.2	Erdbeben.....	50
6.2.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	50
6.2.2	Umsetzung.....	51
6.2.3	Bewertung der RSK	52
6.3	Sonstige naturbedingte Einwirkungen.....	52
6.3.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	52
6.3.2	Umsetzung.....	52
6.3.3	Bewertung der RSK	53
6.4	Schutz gegen Explosion.....	53
6.4.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	53

6.4.2	Umsetzung.....	53
6.4.3	Bewertung der RSK	54
6.5	Flugzeugabsturz	54
6.5.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	54
6.5.2	Umsetzung.....	54
6.5.3	Bewertung der RSK	55
6.6	Vorsorgemaßnahmen.....	55
6.6.1	Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012	55
6.6.2	Umsetzung.....	56
6.6.3	Bewertung der RSK	58
7	Empfehlungen	59
8	Referenzen.....	64
9	Anlagen.....	70
Anlage 1:	Kurzbeschreibung des Forschungsreaktors Berlin II (BER-II).....	70
Anlage 2:	Kurzbeschreibung des Forschungsreaktors München II (FRM-II)	73
Anlage 3:	Kurzbeschreibung des Forschungsreaktors Mainz (FR-Mz).....	76

1 Anlass der Beratung

Aufgrund der Ereignisse im japanischen Kernkraftwerk Fukushima-I im Jahr 2011 wurde die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) gebeten, ergänzend zur Sicherheitsüberprüfung der deutschen Kernkraftwerke [RSK-SÜ] auch eine Sicherheitsüberprüfung von drei in Betrieb befindlichen deutschen Forschungsreaktoren vorzunehmen. Die Überprüfung bezog sich auf den Forschungsreaktor Berlin II (BER-II), den Forschungsreaktor München II (FRM-II) und den Forschungsreaktor Mainz (FR-Mz). In der 447. Sitzung am 03.05.2012 verabschiedete die RSK die Stellungnahme „Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Forschungsreaktoren unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan)“ (RSK-SÜ-FR) [RSK-SÜ-FR].

Im Rahmen der RSK-SÜ-FR wurde erstmalig eine systematische Überprüfung der Robustheit der Forschungsreaktoren - analog zu den Leistungsreaktoren [RSK-SÜ] - im Sinne eines Stresstests vorgenommen. In den Betrachtungsumfang hatte die RSK daher auch andere Ereignisse, als die in Fukushima beobachteten, aufgenommen. Dazu gehören neben Erdbeben und Überflutung weitere naturbedingte Einwirkungen, mögliche Überlagerungen solcher Einwirkungen und zivilisatorisch bedingte Ereignisse, wie z. B. Flugzeugabsturz. Darüber hinaus hat die RSK von konkreten Ereignisabläufen unabhängige Postulate (soweit sie für Forschungsreaktoren von sicherheitstechnischer Bedeutung sind) und erschwerende Randbedingungen für die Durchführung von Notfallmaßnahmen betrachtet. Aus der Sicherheitsüberprüfung leitete die RSK anlagenspezifische Empfehlungen im Hinblick auf die Robustheit der Forschungsreaktoren bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen und Postulaten ab [RSK-SÜ-FR].

In ihrer 472. Sitzung am 14.01.2015 richtete die RSK die ad-hoc-Arbeitsgruppe ROBUSTHEITSANALYSE FORSCHUNGSREAKTOREN (AG RAFR) ein und beauftragte sie mit der Überprüfung des Stands der Umsetzungen der RSK-Empfehlungen aus der RSK-SÜ-FR. Die vorliegende Stellungnahme der RSK stellt die Ergebnisse dieser Überprüfung dar.

2 Beratungsgang

In der 472. RSK-Sitzung bestätigte die RSK das von der AG RAFR vorgelegte Beratungskonzept [RSK472_4.1].

In der 1. Sitzung der AG RAFR am 31.03.2015 konzentrierte sich die Beratung auf ein Gutachten [BER-05] zum gezielten Flugzeugabsturz auf den Forschungsreaktor BER-II. Mit dem Gutachten sollte ermittelt werden, ob der Forschungsreaktor BER-II den Schutzgrad 2 entsprechend der RSK-SÜ-FR bei einem Flugzeugabsturz erfüllt. Außerdem sollte die Wirksamkeit der vorhandenen Notfallmaßnahmen und Notfalleinrichtungen unter Berücksichtigung der Auswirkungen eines Flugzeugabsturzes überprüft werden. Der AG wurden die Ergebnisse des Gutachtens sowie die Struktur der Notfallorganisation und die einschlägigen Notfallmaßnahmen vorgestellt [EP_RAFR1].

In der 2. Sitzung am 02.07.2015 erhielt die AG weitere Informationen über die Umsetzung von Empfehlungen und Erkenntnissen aus der anlagenspezifischen Sicherheitsüberprüfung des BER-II [RSK-

SÜ-FR] sowie zu einigen Restpunkten aus den Beratungen der 1. AG-Sitzung bzgl. des gezielten Absturzes eines Verkehrsflugzeuges [EP_RAFR2].

Die 3. Sitzung am 30.09.2015 diente der Überprüfung der Umsetzung der RSK-Empfehlungen am FRM-II [EP_RAFR3].

Auf der 4. Sitzung am 21.01.2016 erfolgte neben der Beratung zu einigen Restpunkten zum FRM-II die Anhörung zum Forschungsreaktor Mainz (FR-Mz) [EP_RAFR4]. Weitere Informationen zum FRM-II im Zusammenhang mit den Themen Erdbeben und Lastabsturz erhielt die AG RAFR in der 5. Sitzung am 05.09.2016 [EP_RAFR5].

Im weiteren Verlauf erarbeitete die AG den Stellungnahmeentwurf, den sie in der 7. Sitzung am 09.02.2017 billigte und der RSK in deren 492. Sitzung vorlegte. Die RSK verabschiedete die hier vorliegende Stellungnahme in der 492. Sitzung am 22.03.2017.

3 Vorbemerkungen zu Inhalt und Aufbau der Stellungnahme

Mit dieser Stellungnahme überprüft die RSK, inwieweit die Empfehlungen und Erkenntnisse aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012 [RSK SÜ FR] durch die jeweiligen Betreiber und Behörden umgesetzt worden sind. Getrennt für die drei betrachteten Forschungsreaktoren (Kapitel 4, 5 und 6) werden für die einzelnen Überprüfungsthemen jeweils zunächst die Empfehlungen der RSK aus der Überprüfung 2012 zitiert. Anschließend wird der bei der Umsetzung der Empfehlungen erreichte Sachstand mit Verweis auf die mündlichen und schriftlichen Darlegungen von Betreibern und Behörden dargestellt. Schließlich wird die Umsetzung der Empfehlungen durch die RSK bewertet.

Im Kapitel 7 wird der Stand der Umsetzung gewürdigt und es werden die in den Kapiteln 4, 5, und 6 formulierten Empfehlungen der besseren Übersicht halber nochmals für die drei betrachteten Anlagen zusammengefasst.

Die drei Anlagen zu dieser Empfehlung enthalten zum besseren Verständnis der Ausführungen technische Kurzbeschreibungen der drei Forschungsreaktoren.

4 Forschungsreaktor Berlin II (BER-II)

4.1 Notfallmaßnahmen

4.1.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

Generische Empfehlungen:

„In Abhängigkeit vom Risikopotenzial der Forschungsreaktoren sollte ein anlagenspezifisches Konzept für anlageninterne präventive und mitigative Notfallmaßnahmen (neben den externen Katastrophenschutzmaßnahmen) erstellt oder weiterentwickelt werden. Dabei sollten folgende Punkte einbezogen werden:

- Bei diesem Konzept sollte die Rahmenempfehlung für Notfallmaßnahmen in Kernkraftwerken ^{1/} unter Berücksichtigung des jeweiligen Gefährdungspotenzials zur Orientierung herangezogen werden. Die festgelegten Notfallmaßnahmen (NFM) sollten im Betriebsreglement als Teil der Wartendokumentation vorliegen oder entwickelt werden. Eine Krisenstabsorganisation sollte in jedem Fall eingerichtet werden.*
- Im Rahmen der Weiterentwicklung von NFM sollten auch erschwerende Randbedingungen bei Einwirkungen von Außen, wie weitgehende Zerstörung der Infrastruktur inkl. der Kommunikationseinrichtungen in der Standortumgebung, erschwerte technische und personelle Unterstützung von außen sowie eine Nichtzugänglichkeit und Beeinträchtigung von Arbeitsmöglichkeiten aufgrund Trümmerbildung, Rauchgasen, erhöhter Dosisleistung etc., soweit dies je nach Szenario zu erwarten ist, berücksichtigt werden.*
- Im Hinblick auf auslegungsüberschreitende Szenarien mit Verlust von Kühlwasser sollten bei den NFM auch Abdichtungs- und Nachspeisemöglichkeiten für die Becken mit einbezogen werden.*
- Für auslegungsüberschreitende Szenarien, bei denen die vorhandene Instrumentierung zur Überwachung der Reaktorparameter und der Strahlendosis einschl. deren Energieversorgung als ausgefallen anzunehmen ist, sind dafür ausreichende NFM bereit zu halten.*
- Konzeption von NFM zur Begrenzung von Aktivitätsfreisetzung im Falle von Kernschmelzen“*

Spezifische Empfehlungen zum BER-II

„Nach Aussagen des Sachverständigen wird in diesem Zusammenhang ein Notfallhandbuch für den BER-II erwartet, das derzeit nicht, oder nicht in dem zu erwartenden Umfang vorliegt. Die RSK sieht es als zielführend an, eine Überprüfung des Notfallschutzkonzepts entsprechend der generischen Bewertung mit

¹ „Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken“, Empfehlung der Strahlenschutzkommission und der Reaktorsicherheitskommission, gebilligt in der 244. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 03. Nov. 2010, zum Zeitpunkt der RSK-SÜ-FR gültig, mittlerweile abgelöst durch [REmp-NFM].

Bezug zu Kap. 5.1 vorzunehmen, um eine aktualisierte und systematische Darstellung und Weiterentwicklung zu gewährleisten.“

„Der Sachverständige empfiehlt, die Auslegung der vorhandenen Störfallinstrumentierung unter Beachtung der im Rahmen dieser Robustheitsprüfung zu berücksichtigenden ungünstigen Randbedingungen zu überprüfen.“

„Obwohl nach den Beschreibungen ausreichende Stromversorgungsmöglichkeiten bestehen, empfiehlt die RSK diesen Teilaspekt im Rahmen der Überprüfung des Notfallschutzkonzepts und der Erstellung eines Notfallhandbuches zu präzisieren und ggf. durch technische Maßnahmen (z. B. Installation von ortsfesten Einspeisestellen für die Stromversorgung) zu ergänzen.“

„Die RSK empfiehlt die Einspeisung von Kühlwasser in das Reaktorbecken als Notfallmaßnahme im Rahmen der Überprüfung des Notfallschutzkonzepts und der Erstellung eines Notfallhandbuches zu präzisieren und ggf. durch technische Maßnahmen, die einen Zugang in die Reaktorhalle nicht erfordern, zu ergänzen.“

Hinsichtlich von Notfallmaßnahmen zur Kühlung von bestrahlten Brennelementen im Absatzbecken und Umsetzbecken sieht der Sachverständige noch Überprüfungsbedarf und empfiehlt weitergehende Betrachtungen im Rahmen der Erstellung des Notfallhandbuches. Die RSK schließt sich der Meinung des Sachverständigen an.“

4.1.2 Umsetzung

Überarbeitung des Notfallschutzkonzepts in Anlehnung an die Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen und Einrichtung einer Krisenstabsorganisation

Auf den Sitzungen der AG RAFR am 31.03.2015 und am 02.07.2015 berichtete der Betreiber des BER-II [EP_RAFR1], [BER-01], [BER-02], [EP_RAFR2], [BER-03], dass die Notfallschutzorganisation des Helmholtzzentrums Berlin (HZB) angeregt durch die Empfehlungen der RSK nach der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren [RSK-SÜ-FR] überarbeitet worden sei.

Bei der Überarbeitung seien die „Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken“ [REmp-NFM] weitgehend umgesetzt worden. Ausnahmen gäbe es u. a. bei der Zusammensetzung des Krisenstabs, da nicht nur der Reaktor, sondern das gesamte HZB von Notfallsituationen betroffen sein könnte. Außerdem erfolge im Katastrophenfall die Information der Öffentlichkeit nicht durch den Krisenstab des HZB, sondern durch die Gemeinsame Einsatzleitung der Berliner Feuerwehr bzw. die Zentrale Einsatzleitung der Senatsverwaltung für Inneres und Sport des Landes Berlin [BER-03].

Die Stabsabteilung Zentrale Sicherheit des HZB ist für die anlageninterne Notfallschutzorganisation und den Brandschutz und damit auch für die Betriebsfeuerwehr und die Bereitstellung des Krisenstabs des HZB („Einsatzstab HZB“) zuständig.

Leiter des Krisenstabs („Einsatzleiter HZB“) ist die/der Sicherheitsbevollmächtigte des HZB oder bei deren/dessen Abwesenheit der jeweils diensthabende Einsatzleiter aus einem Kreis von 8 weiteren Personen (Stellvertreter). Im Katastrophenfall übernimmt der „Einsatzleiter HZB“ die Koordination aller Beteiligten und die Kommunikation mit den Behörden und der Gemeinsamen Einsatzleitung der Berliner Feuerwehr, in der das HZB durch einen Fachberater vertreten ist. Die Koordination schließt die technischen Entscheidungen über erforderliche Maßnahmen zur Reaktorsicherheit, zum Strahlenschutz und zur Anlagensicherung nicht ein. Diese Maßnahmen bleiben in der Verantwortung des Leiters Reaktor, des Leiters Strahlenschutz und des Objektsicherungsbeauftragten.

Der Einsatzleiter und seine Stellvertreter werden bei Alarm in die Einsatzzentrale gerufen. Die Einsatzzentrale des HZB ist gebunkert, notstromgesichert und verfügt über Kommunikationsmöglichkeiten u. a. mit der Berliner Feuerwehr. Von dort bestehen auch Standleitungen zur Warte und zur Notsteuerstelle des BER-II. Von der Einsatzzentrale können Umwelt-, Wetter- und radiologische Daten erfasst werden. Seit 2004 existiert integriert in das KFÜ² ein Netz von ODL³-Messstellen im Umkreis von 4 km um den Reaktor, die ebenfalls herangezogen werden.

Die gebunkerte Einsatzzentrale ist nicht für einen Betrieb über Tage hinweg ausgelegt. Deshalb kann, sofern erforderlich, der „Einsatzstab HZB“ zur Berliner Feuerwehr verlegt werden.

Die Einleitung von Maßnahmen am Reaktor obliegt allein dem Leiter Reaktor oder dem Schichtleiter. Gemäß der so genannten „Führungslinie Anlagenbetrieb“ [BER-07NHB] übernimmt der diensthabende Schichtleiter die Funktion des Leiters Reaktor bis zum Eintreffen des Dienstranghöheren. Der Leiter Reaktor bzw. einer seiner Stellvertreter befinden sich in Rufbereitschaft und werden bei Störfalleintritt von der Wartenmannschaft alarmiert. Der Leiter Reaktor ist gegenüber allen Personen im Reaktorbereich weisungsbefugt. Bei Bedarf kann er weitere Kräfte beim „Einsatzstab HZB“ anfordern, ist aber gegenüber Dritten nicht weisungsberechtigt. Für alle weiteren Maßnahmen im Rahmen des anlageninternen Notfallschutzes (z. B. Evakuierung des Institutsgeländes und Kommunikation mit der Gemeinsamen Einsatzleitung der Berliner Feuerwehr) ist der „Einsatzleiter HZB“ zuständig.

Der „Einsatzleiter HZB“ ist seinerseits verpflichtet, die fachlichen Belange des Reaktors, des Strahlenschutzes und der Anlagensicherung und die von den jeweils verantwortlichen Personen im Zuge der Umsetzung von Notfallmaßnahmen getroffenen technischen Entscheidungen unverändert in die übergeordnete Koordinierung einzubeziehen.

Die Betriebsfeuerwehr mit werksfeuerwehrähnlichem Charakter ist während der Dienstzeiten einsatzbereit. Nach Dienstschluss steht eine Wache zur Verfügung. Die Betriebsfeuerwehr übernimmt während der Dienstzeit im Schadensfall Erste-Hilfe-Maßnahmen und erste Löschmaßnahmen und leistet technische Hilfe. Sie alarmiert die Berliner Feuerwehr, weist diese ein und unterstützt sie [BER-03]. Nach Eintreffen der Berliner Feuerwehr übernimmt diese die technisch-operative Leitung ihres Einsatzes.

² Kernreaktor-Fernüberwachungs-System

³ Ortsdosisleistung

Das HZB führt mit der Berliner Feuerwehr regelmäßig Schulungen und Begehungen durch, so dass diese über Orts- und Anlagenkenntnisse – auch zum BER-II – verfügt. Die Notfallübungen beziehen sich ausschließlich auf den BER-II. Dies schließt auch die regelmäßige Übung von Notfallmaßnahmen gemäß Notfallhandbuch (NHB) [BER-07NHB] ein; bspw. die Herstellung der Wasserversorgung für das Reaktorbecken über verschiedene Einspeisemöglichkeiten.

Auf ihrer zweiten Sitzung am 02.07.2015 wurde die AG RAFR von der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde des Landes Berlin über Änderungen der Katastrophenschutzplanung in Bezug auf den BER-II informiert [EP_RAFR2].

Die Behörde geht davon aus, dass eine Überschreitung von radiologischen Eingreifrichtwerten für Maßnahmen zum Bevölkerungsschutz [REmp-Kat] nur durch eine massive Einwirkung von Außen und ein dadurch verursachtes, nicht überspeisbares Leck des Reaktorbeckens denkbar sei. Auf Grund des damit verbundenen schnellen Szenarios und der hohen Anzahl von potentiell betroffenen Personen sei eine größtmögliche Geschwindigkeit bei der Umsetzung von Maßnahmen des Katastrophenschutzes außerordentlich wichtig.

Vor diesem Hintergrund sei eine „Reflexphase“ eingeführt worden, so dass bereits im Zuge der Alarmierung ausgewählte Maßnahmen ohne weitere verzögernde Entscheidungen eingeleitet werden könnten. Zur Umsetzung dieses Konzeptes wurde auf die Abstufung zwischen Voralarm und Alarm verzichtet; d. h. das Erreichen eines der Kriterien für Voralarm oder Katastrophenalarm löst sofort die Empfehlung eines Katastrophenalarms aus. Der Empfehlung des Betreibers zur Auslösung von Katastrophenalarm wird ohne weitere behördliche Entscheidungen gefolgt. Dies bedeutet eine sofortige Alarmierung aller für den Katastrophenfall zuständigen Behörden und Strukturen durch die Berliner Feuerwehr und die unmittelbare Einleitung und Vorbereitung relevanter Maßnahmen durch die jeweils zuständigen Stellen. Hierzu gehören auch eine erste allgemeine Information der Bevölkerung und die Aufforderung, in der Umgebung des Forschungsreaktors geschlossene Räume aufzusuchen.

Dass damit dem Betreiber eine große Verantwortung zukommt, ist der Behörde bewusst. Allerdings bestünde bzgl. der Emissionskriterien ein deutlicher Abstand zwischen dem Emissionswert eines Auslegungsstörfalls und dem Voralarm-Kriterium, so dass die Gefahr einer Fehlentscheidung reduziert sei.

Verankerung der Notfallmaßnahmen als Teil der Wartendokumentation und Übergang vom Betriebshandbuch (BHB) in das NHB

Der Betreiber des BER-II informierte die AG RAFR auf ihrer ersten und zweiten Sitzung am 31.03.2015 bzw. am 02.07.2015 darüber, dass die Notfallmaßnahmen für den BER-II im Nachgang der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren [RSK-SÜ-FR] überprüft und weiterentwickelt und das NHB in Anlehnung an die KTA 1203 [KTA 1203] überarbeitet wurden.

Das NHB [BER-07NHB] definiert u. a. Kriterien für die Einleitung von Notfallmaßnahmen und regelt die Organisation des anlageninternen Notfallschutzes bspw. im Hinblick auf Zuständigkeiten und

Verantwortlichkeiten, die Einberufung der Notfallschutzorganisation, die Zusammenarbeit mit externen Stellen und die Alarmierungsverfahren. Es beschreibt darüber hinaus die verschiedenen Notfallmaßnahmen zur Einspeisung in das Reaktorbecken und das Brennelement-Umsetzbecken sowie zur Kontrolle der Reaktivität, zur Ersatzstromversorgung mit mobilen Notstromdieselmotoren und zur Ab- und Zuschaltung der betrieblichen Leittechnik nach Station-Black-Out (SBO).

Der Übergang vom BHB in das NHB wird in Übereinstimmung mit der Alarmordnung des BHB bei Überschreitung eines Dosiskriteriums (Erhöhung der Emission auf 1% des Emissionskriteriums für Voralarm⁴) sowie bei Gefährdung oder Verletzung eines Schutzzieles ausgelöst. Außerdem wird die Notfallorganisation bei Verlust der Normal- und Notstromversorgung einberufen.

Die Beschreibung der einzelnen Notfallmaßnahmen definiert darüber hinaus spezifische Einleitungskriterien und umfasst zudem u. a. Darlegungen zum Ziel der Maßnahme, zu den systemtechnischen und personellen Voraussetzungen und zur Karenzzeit sowie zur Durchführung und Wirksamkeitskontrolle.

Über die Auswahl und Einleitung der anlageninternen Notfallmaßnahme entscheidet der Leiter Reaktor.

Das NHB enthält auch Regelungen zur radiologischen Überwachung. Danach werden einmal im Monat Übungen mit dem Messwagen zum Störfall-/Unfallmessprogramm durchgeführt. Das Störfall-/Unfallmessprogramm wird vom Strahlenschutzbeauftragten initiiert. Entsprechende Regelungen seien für den Strahlenschutz vorhanden. Im NHB sind außer dem Emissionskriterium für den Voralarm keine weiteren Kriterien für die Einleitung des Störfall-/Unfallmessprogramms genannt.

Im Rahmen der gutachterlichen Bewertung durch den TÜV Rheinland ist geplant, das NHB an den Rahmenempfehlungen für den Notfallschutz [REmp-NFM] und der KTA 1203 [KTA 1203] zu spiegeln. U. a. sei ein Fachgespräch (Sachverständiger, Behörde, Betreiber) zu den organisatorischen Regelungen durchgeführt worden, in dessen Ergebnis die Regelungen der Zuständigkeiten innerhalb der Notfallschutzorganisation und die Festlegungen zum Strahlenschutz präzisiert und ergänzt werden sollen. Der Sachverständige sieht Potenzial für die weitere Optimierung des NHB und regt an, die Erfahrungen aus Übungen bei weiterer Überarbeitung des NHB zu berücksichtigen.

Notfallmaßnahmen zur Bespeisung des Betriebsbeckens und des Absetzbeckens

Nach dem überarbeiteten NHB des BER-II [BER-07NHB], [BER-03], [EP_RAFR2] kann die Notfallmaßnahme zur Wassereinspeisung in das Betriebsbecken/Absetzbecken (Reaktorbecken = Betriebsbecken + Absetzbecken) auf drei diversitäre Einspeisemöglichkeiten zurückgreifen, wobei jeweils unterschiedliche Einspeisewege und Wasserquellen genutzt werden können:

- i. über das betriebliche KTJ-System⁵,

⁴ Seit 2014 wird nach einer Entscheidung des SenInnSport des Landes Berlin auf die Abstufung zwischen Voralarm und Alarm verzichtet.

⁵ System zur Nachspeisung bei betrieblichen Leckagen am Reaktorbecken

-
- ii. über die trockene Steigleitung des Feuerlöschsystems,
 - iii. direkte Einspeisung über Schlauchverbindungen in das Reaktorbecken.

Im Normalbetrieb dient das KTJ-System dazu, Wasserverluste des Reaktorbeckens auszugleichen. Bei größeren Leckagen liegt ein auslegungsüberschreitender Störfall vor und das NHB kommt zur Anwendung. Ist das KTJ-System noch intakt, kann es unter Zuhilfenahme verschiedener Einspeisequellen als Notfallmaßnahme (i) neben weiteren Maßnahmen genutzt werden. Auf Grund der Förderleistung des KTJ-Systems (ca. 5 m³/h) ist davon auszugehen, dass die Maßnahme alleine nicht ausreicht, um ein großes Leck zu überspeisen. Die zusätzlichen Einspeisemöglichkeiten ii. und iii. (bis etwa 20 m³/h) sind geeignet, größere Leckagen zu überspeisen, erfordern aber (im Unterschied zur Nutzung des KTJ-Systems) den Zutritt zur Reaktorhalle.

Abdichtung von Lecks im Betriebs- oder Absetzbecken

Notfallmaßnahmen zur Abdichtung des Betriebs- oder Absetzbeckens sind nach NHB nicht vorgesehen [BER-07NHB], [EP_RAFR2]. Der Betreiber verweist darauf, dass die Maßnahmen zur Bespeisung des Betriebsbeckens ebenso für das Absetzbecken herangezogen werden könnten.

Ferner bestünde die Möglichkeit, die Brennelemente bei einer Leckage des Betriebs- oder Absetzbeckens in das jeweils intakte Becken durch Handmaßnahmen umzuladen. Die Umladung könne auch derart erfolgen, dass der gesamte Kern umgesetzt wird. Dies sei im Notfall ohne Stromversorgung realisierbar. Eine Leckage am Betriebsbecken als Folge eines Strahlrohrdefekts habe keine signifikanten Auswirkungen auf das Absetzbecken, da beide durch ein Betonschütz getrennt sind.

Darüber hinaus sei es grundsätzlich möglich, Brennelemente vom Reaktorbecken in das Umsetzbecken zu verlagern. Hierfür bestünde allerdings ein größerer Zeitbedarf. Aus der Erfahrung sei bekannt, dass pro Schicht 7 Brennelemente (im Kern befinden sich insgesamt 30 Brennelemente) in einem Transportbehälter vom Absetzbecken in das Umsetzbecken gebracht werden können. Außerdem erfordere die Maßnahme die Verfügbarkeit des Hallenkrans.

Notfallmaßnahme zur Kühlung der Brennelemente im Umsetzbecken

Eine Notfallmaßnahme zur Bespeisung des Umsetzbeckens ist im NHB [BER-07NHB] definiert. Dabei geht der Betreiber davon aus, dass das Umsetzbecken durch die massive Abdeckung und die doppelwandige Ausführung bei Einwirkungen von Außen intakt bleibt (siehe auch Ausführungen zum Flugzeugabsturz). Deshalb wurde die Maßnahme für den Fall ausgelegt, dass es zum Ausfall der redundanten Kühlsysteme des Umsetzbeckens bei erhöhter Verdunstungsrate als Folge der Notentladung von Brennelementen aus dem Betriebs- oder Absetzbecken kommt. Bei Ausfall der Strom- und Stadtwasserversorgung kann die Maßnahme mit mobilen Pumpen der Feuerwehr und Löschwasservorräten umgesetzt werden. Die Karenzzeit dafür beträgt mindestens ein Tag.

Notfallmaßnahmen zur Wiederherstellung der Drehstromversorgung

Bereits bei der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012 [RSK-SÜ-FR] wurde von der RSK festgestellt, dass ausreichende Stromversorgungsmöglichkeiten bestehen und dass für die Aufrechterhaltung vitaler Sicherheitsfunktionen weder Strom- noch Wasserversorgung gebraucht werden. Die Abschaltstäbe fallen schwerkraftgetrieben ein und selbst bei Ausfall des batteriegepufferten Pumpennachlaufs (60 s gemäß Spezifikation, Mindestbatteriekapazität 10 Minuten) treten keine Schäden an den Brennelementen auf.

Neben der betrieblichen Stromversorgung verfügt der BER-II über zwei Notstromdiesel, die für mindestens 72 h die sicherheitstechnisch wichtigen Verbraucher der ihnen jeweils zugeordneten Redundanz versorgen wie die +/-24-V-Schiene zur Versorgung der Instrumentierung, die Unterdruckhaltung in der Reaktorhalle und das KFÜ. Zusätzlich steht eine Batteriekapazität von mindestens 70 h für die Instrumentierung zur Verfügung. Daneben sind zwei räumlich getrennte Einspeisestellen für mobile Notfall-Notstromdiesel vorhanden, über die sowohl die Leittechnik (bspw. Störfallinstrumentierung und Strahlenschutzinstrumentierung) als auch die Unterdruckanlage für die Reaktorhalle versorgt werden können [BER-01], [BER-03]. Die Einspeisestellen befinden sich auf verschiedenen Seiten des Reaktorgebäudes und haben einen Abstand von etwa 125 m Luftlinie. Die Verbindungen zu noch vorhandenen Verbrauchern und zu mobilen Einrichtungen (z. B. Tauchpumpe im KBB⁶-Speichertankraum) werden temporär hergestellt. Eine entsprechende Notfallmaßnahme wurde in das NHB aufgenommen [BER-07NHB]. Ein mobiler Dieselgenerator zur gleichzeitigen Versorgung der Leittechnik und der Unterdruckanlage steht auf dem Gelände des HZB nicht zur Verfügung. Ein Aggregat der benötigten Leistungsklasse muss inklusive des notwendigen Zubehörs über eine Verleihfirma beschafft werden. Eine vertragliche Abmachung mit einem Verleiher zur Bereitstellung eines solchen Gerätes besteht nicht. Eine grundsätzliche Verfügbarkeitsanfrage wird vom HZB regelmäßig durchgeführt.

Robustheit der Störfallinstrumentierung und Notfallmaßnahmen zur Überwachung der Reaktorparameter und der radiologischen Situation

Bereits bei der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren durch die RSK im Jahre 2012 [RSK-SÜ-FR] hatte sich die RSK der Meinung des Sachverständigen angeschlossen, dass hinsichtlich der Erfassung radiologischer Daten auf Grund der vielfältigen ortsfesten und mobilen Messmöglichkeiten kein weiterer Überprüfungsbedarf besteht.

Die Wasserstandsmessung und die Temperaturmessung im Reaktorbecken sowie die Neutronenflussinstrumentierung seien störfallfest ausgelegt. Für wichtige Parameter stünden diversitär auch Handmessgeräte zur Verfügung. Im Rahmen der Sicherheitsüberprüfung 2012 [RSK-SÜ-FR] sei die Störfallfestigkeit unter den zu berücksichtigten Randbedingungen erneut geprüft worden. Nur bei massiven mechanischen Einwirkungen sei das Versagen der Geräte zu unterstellen.

⁶ KBB: System zur Kühlmittelbehandlung und –speicherung. Das KTJ-System kann auch Leckwasser und Löschwasser, das sich im KBB-Speichertankraum sammelt, in das Reaktorbecken fördern.

Wie in [RSK-SÜ-FR] ausgeführt, wird durch VM-Maßnahmen sichergestellt, dass es nicht zu einer Wasserstoff-Luft-Reaktion („H₂-Explosion“) an der kalten Neutronenquelle (KQ) kommt. Der Betreiber erklärte ferner [EP_RAFR2], dass dennoch eine hypothetische Wasserstoff-Luft-Reaktion an der KQ bereits 1987 unterstellt worden sei. Die Analyse der Auswirkungen habe gezeigt, dass keine unzulässige Beschädigung der Reaktoranlage zu erwarten sei und deshalb kein Bedarf an weiteren Vorsorgemaßnahmen bestünde. Insbesondere sei keine Auswirkung auf die Störfallinstrumentierung und auf den Kern zu besorgen. Auch bei Leckagen sei kein Ausfall der Instrumentierung zu erwarten.

Um den Betrieb der Störfallinstrumentierung bei SBO über einen längeren Zeitraum abzusichern, wird zunächst eine Notfallmaßnahme zur Abschaltung der betrieblichen Leittechnik umgesetzt, mit der die Batterien der 24V-Gleichstromversorgung innerhalb der ersten 5 Stunden entlastet werden [BER-07NHB]. Darüber hinaus werden die Notfallmaßnahmen zur Wiederherstellung der Drehstromversorgung eingeleitet.

Notfallmaßnahmen zur Begrenzung der Aktivitätsfreisetzung bei Kernschmelzen

In der Auslegung ist das Schmelzen eines einzelnen Brennelements auf Grund einer Kühlkanalblockade berücksichtigt [BER-01], [EP_RAFR1].

Tritt eine Kernschmelze ein, ist unabhängig vom Umfang des Kernschadens vorrangig die Überdeckung des Kerns mit Wasser zu gewährleisten. Bei intakter Reaktorhalle verhindern der Lüftungsabschluss und die Filterung der Abluft eine Freisetzung (ausgenommen die Edelgase) in die Umgebung. Hierzu wird bei einem gleichzeitig unterstellten SBO eine externe Notstromversorgung über einen großen Notfall-Notstromdiesel benötigt. Bei defekter Halle gewährt die Wasserüberdeckung des Kerns eine weitgehende Rückhaltung der Spaltprodukte außer den Edelgasen. Bei trockener Kernschmelze und defekter Halle erfolgt eine teilweise Freisetzung aller flüchtigen Spaltprodukte.

Die wesentlichen Maßnahmen zur Begrenzung der Freisetzung sind demzufolge in jedem Falle die Wassereinspeisung in das Reaktorbecken, der Lüftungsabschluss sowie die Wiederinbetriebnahme der Unterdruckanlage mit Abluftfilterung bei intakter Reaktorhalle.

Berücksichtigung erschwerender Randbedingungen bei der Umsetzung von Notfallmaßnahmen

Bei der Planung der im NHB verankerten Notfallmaßnahmen seien nach Auffassung des Betreibers erschwerende Randbedingungen (Nichtzugänglichkeit, Trümmerbildung, Rauchgase, etc.) berücksichtigt worden [BER-01], [BER-03].

Die Anschlusspunkte für die elektrische Versorgung über mobile Notfall-Notstromdiesel sind räumlich getrennt (siehe auch unter Notfallmaßnahmen zur Wiederherstellung der Drehstromversorgung). Es werde deshalb davon ausgegangen, dass auch bei erschwerter Zugänglichkeit der Reaktorhalle und gravierenden Zerstörungen auf dem Gelände eine mobile Notfall-Notstromversorgung eingerichtet werden könne.

Eine analoge Argumentation gelte für die Notbespeisung der Becken. Mit der alternativen, räumlich getrennten Bespeisung über das KTJ-System oder die trockenen Steigleitungen des Feuerlöschsystems und durch die mögliche direkte Einspeisung in das Reaktorbecken über Feuerwehrschräuche auf der einen Seite sowie durch Diversität bei den Wasserentnahmestellen (Kühlturmtasse, Stadtwasserversorgung, Sprinkleranlage, KBB-Speichertankraum, Stölpchensee) auf der anderen Seite sei potenziellen Zerstörungen in der Anlage und auf dem Gelände Rechnung getragen worden. Bei der Bespeisung über das KTJ-System muss die Reaktorhalle nicht betreten werden.

Bei der Notfallmaßnahme „alternative Abschaltung des Kerns durch Borierung“ kann die in kristalliner Form vorliegende Borsäure aufgelöst und über die Wassernoteinspeisung eingebracht werden.

Die Einrichtungen zur Kommunikation zwischen der Warte, der Notsteuerstelle, der Einsatzzentrale HZB, der Gemeinsamen Einsatzleitung der Berliner Feuerwehr und der Zentralen Einsatzleitung der Senatsverwaltung für Inneres und Sport des Landes Berlin seien diversitär und räumlich getrennt aufgebaut (u. a. unabhängige Telefonanlagen, Digitalfunkverbindung zur Berliner Feuerwehr, Standleitungen zwischen Einsatzzentrale und Warte bzw. Notsteuerstelle).

Der Betreiber erklärt, dass für die Räumung von Trümmerteilen Gabelstapler auf dem Gelände des HZB zur Verfügung stehen. Größere Hebezeuge und Räumgeräte zur Beseitigung von Trümmern müssten bei Bedarf durch externe Firmen bereitgestellt werden. Zusätzlich habe das HZB einen Vertrag mit der Kerntechnischen Hilfsdienst GmbH (KHG) geschlossen. Deren Einsatzkräfte treffen im Bedarfsfall mit entsprechendem Gerät innerhalb von 24 Stunden auf der Anlage ein. Außerdem könne im Katastrophenfall benötigtes Gerät von der Gemeinsamen Einsatzleitung der Berliner Feuerwehr oder von Firmen aus der Umgebung angefordert werden. Eine Liste von Firmen mit entsprechenden Geräten liege vor. Die Berliner Feuerwehr und Berliner Polizei würden in einem solchen Fall unterstützend herangezogen. Darüber hinaus könne das Technische Hilfswerk (über die Gemeinsame Einsatzleitung der Berliner Feuerwehr) einbezogen werden.

Die Zugänglichkeit des HZB für schweres Gerät (Notstromdieselgeneratoren, Hebezeuge, etc.) ist nach Auffassung des Betreibers auch bei äußeren Einwirkungen nicht gefährdet. Die Insel, auf der sich das HZB befindet, sei über drei weit auseinanderliegende Brücken erreichbar. Die Zuwegung ist nach Einschätzung des Betreibers auch bei Hochwasser gewährleistet. Eine Flutwelle sei nicht zu besorgen, da keine Staustufen vorhanden sind.

4.1.3 Bewertung der RSK

Mit der Fortentwicklung der Notfallmaßnahmen, der Überarbeitung des NHB und der Überarbeitung der Notfallschutzorganisation hat der Betreiber in Zusammenarbeit mit der Behörde die diesbezüglichen Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung im Jahre 2012 [RSK-SÜ-FR] weitgehend umgesetzt. Die RSK sieht weitere Optimierungsmöglichkeiten, wozu sie im Folgenden Empfehlungen abgibt.

Die durch die zuständige Behörde für die Katastrophenschutzplanung eingeführte „Reflexphase“ und die damit geschaffene Möglichkeit, bereits unmittelbar nach der Alarmempfehlung durch den Betreiber die

notwendigen Maßnahmen des Katastrophenschutzes einzuleiten bzw. vorzubereiten, werden von der RSK positiv gesehen. Mit dieser Regelung wird zudem eine RSK/SSK Empfehlung [REmp-NFM] zur Vorgehensweise bei „schnell ablaufenden Ereignissen“⁷ mit zu erwartender hoher Freisetzung umgesetzt.

Im Hinblick auf die Notfallschutzorganisation des BER-II ergibt sich aus Sicht der RSK die Besonderheit, dass sich diese Organisation nicht nur originär aus dem atomrechtlich verantwortlichen Personal des BER-II zusammensetzt und nicht nur auf den BER-II ausgerichtet ist, sondern in die Notfallschutzorganisation des HZB eingebunden ist. Damit ist nicht – wie beispielsweise bei den Leistungsreaktoren – der höchstrangige anwesende atomrechtlich Verantwortliche gleichzeitig auch der Leiter der Notfallschutzorganisation und demzufolge auch weisungsbefugt für die Bereiche Strahlenschutz und Objektschutz.

Vielmehr ist am BER-II der für den sicheren Betrieb des BER-II atomrechtlich Verantwortliche (Leiter Reaktor) auch im Notfall unterhalb der Leitung der Notfallschutzorganisation des HZB verortet. Durch die spezifische Struktur sind die Verantwortlichen für den Strahlenschutz und den Objektschutz gleichrangig zum Leiter des Reaktors in die Notfallschutzorganisation des HZB eingebunden. Die RSK ist sich der Besonderheit der Einbettung der Notfallschutzorganisation des BER-II in die Notfallorganisation des HZB bewusst. Ungeachtet dessen sollte aus ihrer Sicht auch in der Notfallschutzorganisation des BER-II eine Hierarchie der Weisungsbefugnisse klar erkennbar sein. Insbesondere sollte der Leiter Reaktor bei allen Belangen der Reaktorsicherheit in Notfallsituationen auch weisungsbefugt gegenüber dem Objektschutz- und Strahlenschutzbeauftragten sein. Weisungen des „Einsatzleiters HZB“ dürfen die atomrechtliche Verantwortung des Leiters Reaktor nicht überregeln /E1/.

E1 Die RSK empfiehlt, dass in der Notfallschutzorganisation des BER-II die Hierarchie der Weisungsbefugnisse klar erkennbar sein sollte. Insbesondere sollte der Leiter Reaktor bei allen Belangen der Reaktorsicherheit in Notfallsituationen auch weisungsbefugt gegenüber dem Objektschutz- und Strahlenschutzbeauftragten sein. Weisungen des „Einsatzleiters HZB“ dürfen die atomrechtliche Verantwortung des Leiters Reaktor nicht überregeln.

Im NHB des BER-II wird bei einigen Notfallmaßnahmen auf die Feuerwehr als Ressource zurückgegriffen. Hierbei wird nicht unterschieden, ob es sich um die Betriebsfeuerwehr oder die Berufsfeuerwehr der Stadt Berlin handelt. Da die Betriebsfeuerwehr des HZB nur während der Regelarbeitszeit verfügbar ist, ergäbe sich damit außerhalb der Regelarbeitszeit das Erfordernis, auf die Berufsfeuerwehr der Stadt Berlin zurückzugreifen. Da diesbezüglich aber kein Weisungsrecht des BER-II in Richtung der Berliner Feuerwehr besteht, sollte dieser Aspekt im hinreichenden Maße bei der Auswahl der Notfallmaßnahmen berücksichtigt werden. Im NHB sollte eine entsprechende Differenzierung in der Darstellung erfolgen /E2/.

E2 In Bezug auf die Umsetzung von Notfallmaßnahmen empfiehlt die RSK bei den Ausführungen im NHB zwischen dem Einsatz der Betriebsfeuerwehr und der Berliner Feuerwehr zu differenzieren. Das NHB sollte bei der Ressourcenbenennung und der Beschreibung der Notfallmaßnahmen den Umständen Rechnung tragen, dass die Betriebsfeuerwehr nur innerhalb der normalen Dienstzeit verfügbar ist und dass die Berliner Feuerwehr nicht den Weisungen des Betreibers unterliegt.

⁷ siehe [REmp-NFM] Abschnitt 3.2 „Externe Alarmierung“

Vor dem Hintergrund der Ausführungen des Betreibers, dass im Betriebsreglement keine eindeutigen Kriterien zur Auslösung und Einleitung des Störfall-/Unfall-Messprogramms gemäß REI - Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen [REI] - enthalten sind, empfiehlt die RSK zu prüfen, inwieweit eindeutige Kriterien zur Auslösung des Störfall-/Unfall-Messprogramms bei Ereignissen mit Freisetzung in das Betriebsreglement aufgenommen werden können /E3/.

E3 Die RSK empfiehlt zu prüfen, inwieweit eindeutige Kriterien zur Auslösung des Störfall-/Unfall-Messprogramms bei Ereignissen mit Freisetzung in das Betriebsreglement aufgenommen werden können.

Die Robustheit der Störfallinstrumentierung bei auslegungsüberschreitenden Bedingungen ist vom Betreiber nochmals überprüft worden. Für wichtige Parameter stehen diversitäre Messmöglichkeiten zur Verfügung. Außerdem ist eine Notfallmaßnahme zur Abschaltung der betrieblichen Leittechnik eingeführt worden, um die 24V-Gleichstromversorgung zu entlasten und so eine längere Versorgung der Störfallinstrumentierung zu erreichen. Darüber hinaus kann über räumlich getrennte Einspeisepunkte ein Notfall-Notstromgenerator zur Wiederherstellung der Drehstromversorgung angeschlossen werden.

Die RSK sieht hierzu keinen weiteren Prüfbedarf.

Die RSK stellt fest, dass möglichen erschwerenden Randbedingungen bedingt durch äußere Einwirkungen bei der Entwicklung der Notfallmaßnahmen u. a. durch die räumlich getrennten Einspeisepunkte für die Notfall-Notstromdiesel und durch die diversitären Möglichkeiten zur Notbespeisung des Reaktorbeckens Rechnung getragen wurde.

Der Betreiber hat entsprechend der Empfehlung der RSK die Notfallmaßnahmen zur Stromversorgung überprüft und technische Maßnahmen ergänzt. Jedoch wurde von der RSK weiteres Optimierungspotenzial festgestellt, um die Wirksamkeit der Stromversorgung durch einen mobilen Notstromdieselgenerator sicherzustellen. Insbesondere ist aus Sicht der RSK ohne eine entsprechende vertragliche Verpflichtung nicht gesichert, dass bei einem langandauernden Ausfall der Drehstromversorgung von einem Verleiher die benötigten Ressourcen zur Verfügung gestellt werden können, da bei einem flächendeckenden Stromausfall eine Vielzahl von Bedarfsträgern auf derartige Ressourcen zugreifen werden. Insofern ist hier aus Sicht der RSK eine vertragliche Absicherung zu empfehlen. Spezifisches Zubehör zum Anschluss innerhalb der Anlage sollte ausreichend geschützt vorgehalten werden. Darüber hinaus sind aus Sicht der RSK die Randbedingungen (z. B. benötigte Leistung) und Schalthandlungen (z. B. zur Vermeidung automatischer Verbraucherzuschaltungen) zum Anschluss des mobilen Notstromdieselgenerators im NHB klar auszuweisen. Da dies im derzeitigen NHB nicht der Fall ist, empfiehlt die RSK hier eine entsprechende Konkretisierung /E4/.

E4 Die RSK empfiehlt, eine vertragliche Regelung zur Bereitstellung eines mobilen Notstromdieselgenerators zu schließen, der auch den Betrieb der Lüftungsanlage und der Abluftfilterung der Reaktorhalle erlaubt. Die notwendigen Kabelverbindungen sollten ausreichend geschützt auf der Anlage verfügbar sein. Die Randbedingungen (z. B. benötigte Leistung) und Schalthandlungen (z. B. zur Vermeidung automatischer

Verbraucherzuschaltungen) zum Anschluss des mobilen Notstromdieselgenerators sollten im NHB klar ausgewiesen sein.

Aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten zur Einspeisung von Wasser in das Reaktorbecken in Verbindung mit der Möglichkeit, die Brennelemente in das Absetzbecken umzusetzen, kann die RSK nachvollziehen, dass keine Maßnahmen zur Abdichtung von Leckagen an diesen Becken vorgesehen sind. In diesem Zusammenhang sollte aber eine ausreichende Nachspeisung in das Reaktorbecken möglich sein, ohne die Reaktorhalle betreten zu müssen. Die diesbezügliche Empfehlung der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung 2012 ist noch nicht erfüllt. Daraus ergibt sich Empfehlung /E5/.

E5 Auf Grund der Förderleistung des KTJ-Systems ist davon auszugehen, dass die Maßnahme alleine nicht ausreicht, um ein großes Leck des Reaktorbeckens zu kompensieren. Die zusätzlich vorhandenen Einspeisemöglichkeiten sind geeignet, größere Leckagen zu überspeisen, erfordern aber den Zutritt zur Reaktorhalle. Ebenso müssen im Inneren der Gebäude noch vorhandene elektrische Verbraucher und mobile Einrichtungen durch temporäre Kabelverbindungen an die externen Noteinspeisestellen der Drehstromversorgung angeschlossen werden. Die RSK empfiehlt zu überprüfen, inwieweit durch festverlegte Rohrleitungen bzw. Kabel vermieden werden kann, dass gefährdete Raumbereiche im Notfall betreten werden müssen.

Vom Betreiber wurde dargelegt, welche Notfallmaßnahmen zur Kühlung von abgebrannten Brennelementen im Umsetzbecken eingeführt wurden. Die entsprechende Empfehlung wurde umgesetzt. Die RSK sieht hierzu keinen weiteren Prüfbedarf.

4.2 Sonstige naturbedingte Einwirkungen

4.2.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

„Bzgl. des Abluftkamins bestätigt der Sachverständige grundsätzlich die Aktualität der Auslegungsgrundlagen, sieht jedoch einen ergänzenden Prüfbedarf bei der Berücksichtigung von Ermüdungsbeanspruchungen im Rahmen der Aufsicht.“

Hinsichtlich Belastungen durch Starkregen und extreme Schneefälle bestätigt der Sachverständige die Robustheit des Reaktorgebäudes und der Experimentierhalle unter Berücksichtigung von Lastreserven aufgrund einer zwischenzeitlich erfolgten Entlastung durch Abtrag von Kiesschüttungen auf der Dachfläche sowie vorhandener und noch nachzurüstender Regennotabläufe.“

„Die RSK sieht aufgrund der Aussagen des Betreibers, der Aktualität der bautechnischen Auslegungsgrundlagen und insbesondere aufgrund der positiven Bewertung durch den zugezogenen Sachverständigen zu dem hier angesprochenen Prüfaspect keinen weiteren Prüfbedarf unter der Voraussetzung, dass die angesprochenen ergänzenden Prüfungen und Nachrüstungen umgesetzt werden.“

4.2.2 Umsetzung

Die Nachweise zur Ermüdungsbeanspruchung des Kamins wurden im Rahmen der Auslegung erstellt. Sie wurden nach der Sicherheitsüberprüfung durch die RSK im Jahre 2012 dem Sachverständigen zusammen mit einer Bewertung durch ein Ingenieurbüro für Bauwesen vorgelegt. Der Sachverständige vom TÜV Rheinland bestätigt auf dieser Grundlage, dass eine Beeinträchtigung der Integrität des Kamins durch Ermüdung nicht zu besorgen sei [BER-10], [EP_RAFR2].

Die zusätzlichen Regennotabläufe zur Vorsorge gegen Wassereintrag in das Reaktorgebäude wurden zwischenzeitlich nachgerüstet [EP_RAFR2].

4.2.3 Bewertung der RSK

Die Empfehlungen aus der Sicherheitsüberprüfung 2012 wurden umgesetzt.

4.3 Schutz gegen Explosion

4.3.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

„Basierend auf den vorgelegten Untersuchungen und der Bewertung des Sachverständigen kommt die RSK zu der Feststellung, dass der Schutzgrad 1 (Erhalt der vitalen Sicherheitsfunktionen bei Einwirkungen nach heutigem Kenntnisstand) grundsätzlich erfüllt wird. Sie sieht aber noch ergänzenden Prüfbedarf hinsichtlich der maximalen Transportmengen von Wasserstoff bei der Befüllung des Pufferbehälters und deren Berücksichtigung bei der Bewertung möglicher Auswirkungen von Explosionsmöglichkeiten.“

4.3.2 Umsetzung

Bei der Sicherheitsüberprüfung im Jahre 2012 [RSK-SÜ-FR] wurden als wesentliche Quellen für die Freisetzung explosiver Gase der Wasserstoff-Pufferbehälter für die kalte Neutronenquelle und die Wasserstoff-Transportmengen bei der Befüllung des Pufferbehälters identifiziert. Eine Explosion des Wasserstoffs im Pufferbehälter führt nach Abschätzungen des Betreibers [BER-09] nicht zu gravierenden Schäden am Reaktorgebäude und nicht zum Verlust vitaler Sicherheitsfunktionen. Ein vergleichbarer Nachweis für die Schadlosgkeit bei gleichzeitiger Explosion der Wasserstoffmengen im Pufferbehälter und im Flaschenbündel (12 Flaschen), das bei der Befüllung des Pufferbehälters verwendet wird, liegt nicht vor. Vom Betreiber wurde inzwischen administrativ festgelegt, dass bei der Befüllung des Pufferbehälters für die Kalte Neutronenquelle keine Bündel mit 12, sondern nur noch einzelne Wasserstoffflaschen transportiert werden dürfen [EP_RAFR2]. Die Befüllung erfolgt durch Personal des BER-II.

Außerdem wurde festgelegt, dass der Transport von explosiven Stoffen auf dem Betriebsgelände des BER-II durch Kontrolle einfahrender Fahrzeuge und Rückweisung unzulässiger Transporte verhindert wird. Letztgenannte Maßnahme sieht der Sachverständige als ausreichend an [EP-RAFR2].

4.3.3 Bewertung der RSK

Bei der Sicherheitsüberprüfung des BER-II durch die RSK im Jahre 2012 wurden der Wasserstoff-Pufferbehälter für die kalte Neutronenquelle und die Wasserstoff-Transportmengen bei der Befüllung des Pufferbehälters als wesentliche Quellen für die Freisetzung explosiver Gase identifiziert. Es wurde festgestellt, dass eine Explosion des Wasserstoffs im Pufferbehälter und in der Anschlussleitung zum Reaktorgebäude nicht zum Verlust vitaler Sicherheitsfunktionen führt. Ein vergleichbarer Nachweis für die Schadlosigkeit bei gleichzeitiger Explosion der Wasserstoffmengen aus dem Pufferbehälter und einer Flasche liegt nicht vor.

Die RSK sieht die administrative Regelung des Betreibers, wonach vom Personal des BER-II nur noch einzelne Wasserstoffflaschen bei der Befüllung des Pufferbehälters für die kalte Neutronenquelle benutzt werden dürfen, grundsätzlich als zielführend an. Da nach dem Kenntnisstand der RSK diese Regelung bisher nicht in das Betriebsreglement eingeflossen ist, wird empfohlen diese Vorgabe im Betriebsreglement zu verankern.

Darüber hinaus empfiehlt die RSK, den Nachweis zu führen, dass die Explosion der gesamten Wasserstoffmenge einer Wasserstoffflasche, des Pufferbehälters und der Anschlussleitung nicht zur Beeinträchtigung von vitalen Sicherheitsfunktionen des BER-II führt /E6/.

E6 Die RSK empfiehlt, die Vorgabe, wonach vom Personal des BER-II nur noch einzelne Wasserstoffflaschen bei der Befüllung des Pufferbehälters für die kalte Neutronenquelle benutzt werden dürfen, im Betriebsreglement zu verankern. Darüber hinaus empfiehlt die RSK, den Nachweis zu führen, dass die Explosion der gesamten Wasserstoffmenge einer Wasserstoffflasche, des Pufferbehälters und der Anschlussleitung nicht zur Beeinträchtigung von vitalen Sicherheitsfunktionen des BER-II führt.

4.4 Flugzeugabsturz

4.4.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

„Nach Meinung der RSK sollten weitergehende Überlegungen zur Robustheit des BER-II bezüglich Flugzeugabsturz im Hinblick auf den Erhalt der Wirksamkeit von Notfall- und Katastrophenschutzmaßnahmen unter den Bedingungen eines solchen Ereignisses und deren Verbesserung angestellt werden. Dabei geht es sowohl um Maßnahmen zur Vermeidung eines Kernschmelzens (z. B. weitergehende Möglichkeiten einer Wassereinspeisung in betroffene Becken) als auch um mitigative Maßnahmen zur Reduzierung einer Freisetzung aus einer Kernschmelze. In diesem Zusammenhang sollten

auch die vorhandenen Brandbekämpfungsmaßnahmen dahingehend überprüft werden, ob sie auch geeignet sind Treibstoffbrände, wie sie bei einem Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs auf dem Anlagengelände auftreten können, so zu beherrschen, dass die Wirksamkeit von in diesem Szenario relevanten vorgeplanten und ggf. auch weiterentwickelten Notfall- und Katastrophenschutzmaßnahmen nicht wesentlich eingeschränkt wird.“

4.4.2 Umsetzung

Auswirkungen des Absturzes eines Verkehrsflugzeuges (Airbus A320)

Nach der Sicherheitsüberprüfung 2012 [RSK-SÜ-FR] sind im Auftrag der Landesbehörde die Auswirkungen des gezielten Absturzes eines Airbus A 320 auf den Forschungsreaktor BER-II unter Federführung der TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG untersucht worden [BER-04], [BER-05], [BER-06]. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die Experimentierhalle, die Reaktorhalle und das Reaktorbecken (Betriebsbecken und Absetzbecken).

Die Analyse ergab, dass der Erhalt der vitalen Sicherheitsfunktionen nicht nachgewiesen werden kann. Daher wird der Schutzgrad 2 gemäß der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren [RSK-SÜ-FR] über die Erhaltung der vitalen Sicherheitsfunktionen nicht erreicht.

Alternativ kann Schutzgrad 2 erreicht werden, wenn infolge des Absturzes eines Flugzeugs dieser Klasse und dem damit verbundenen Treibstoffbrand die radiologischen Auswirkungen in der Umgebung der Anlage auch bei Ausfall von vitalen Sicherheitsfunktionen unterhalb der Werte für Katastrophenschutzmaßnahmen bleiben. In der Studie wurde daher der Frage nachgegangen, ob die radiologischen Auswirkungen unterhalb des Eingreifrichtwertes von 100 mSv Effektivdosis für die Maßnahme „Evakuierung“ [REmp-Kat] bleiben.

Auf der Basis der vorliegenden Untersuchungen kann der Sachverständige die Einhaltung des Schutzgrads 2 auch in Bezug auf die radiologischen Auswirkungen des Flugzeugabsturzes nicht bestätigen, da der Eingreifrichtwert für die Ganzkörperdosis von 100 mSv für die Maßnahme „Evakuierung“ unter bestimmten Randbedingungen erreicht werden kann.

Notfallmaßnahmen zur Vermeidung einer Kernschmelze bei Flugzeugabsturz und zur Begrenzung der Freisetzungen aus einer Kernschmelze

Grundsätzlich können auch bei einem Flugzeugabsturz die Notfallmaßnahmen zur Reaktorabschaltung, zur Wiederherstellung der elektrischen Drehstromversorgung und zur Wassereinspeisung in das Reaktorbecken für die Vermeidung einer Kernschmelze bzw. für die Begrenzung der Auswirkungen einer Schmelze herangezogen werden. Welche Notfallmaßnahmen ergriffen werden können, hängt vom Grad der Zerstörung durch den Flugzeugabsturz ab. Es ist davon auszugehen, dass die Maßnahmen durch Trümmer, Brand und erhöhte Ortsdosisleistungen behindert werden.

Auf die Berücksichtigung erschwerender Randbedingungen bei der Umsetzung von Notfallmaßnahmen wird unter 4.1.2 eingegangen.

Eignung von Bekämpfungsmaßnahmen gegen Kerosinbrände im Hinblick auf die Wirksamkeit von Notfall- und Katastrophenschutzmaßnahmen

Das Brandschutzkonzept ist vom Betreiber überarbeitet worden und berücksichtige die baulichen Bestimmungen. Alle baulichen, organisatorischen und vorbeugenden Maßnahmen seien im neuen Brandschutzkonzept zusammengefasst. Das Konzept werde vom Sachverständigen TÜV Rheinland im Rahmen des Aufsichtsverfahrens geprüft. Die Erstbewertung liege vor [EP_RAFR1]. Der Sachverständige regt weitere Optimierungen an, u. a. sollte eine weitere Anpassung an die KTA 2101 [KTA 2101] erfolgen. Außerdem sollen eine Brandschutztür zum Reaktorgebäude sowie Rauchabzüge ertüchtigt werden.

Der Betreiber erläutert, dass das Eindringen von Kerosin von außen in die Experimentierhalle und angrenzende Gebäude durch Schwellen an den Zugängen verhindert werde. Im Rahmen der Untersuchungen zum gezielten Flugzeugabsturz sei auch der Frage nachgegangen worden, ob sich Kerosin in größeren Mengen auf dem Gelände in der Nähe der Gebäude des BER-II ansammeln könne. Dabei seien keine besonderen Gefährdungspotentiale identifiziert worden.

Zudem seien bereits im Zuge der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren [RSK-SÜ-FR] die Möglichkeiten von gasförmigen und flüssigen Einträgen von außen in die Gebäude untersucht worden. Speziell sei auch das Eindringen von Rauchgasen in die Reaktorhalle und die Warte untersucht worden. Die Überwachungseinrichtungen und die Lüftungsanlagen seien geeignet, dies soweit zu begrenzen, dass keine vitalen Sicherheitsfunktionen gefährdet sind⁸.

Zur Frage, inwieweit die Noteinspeisepunkte für Strom- und Wasser gegenüber Kerosinbrand geschützt sind, wird auf die ausreichende räumliche Trennung der beiden Einspeisepunkte für Strom und die diversitären Möglichkeiten der Wassereinspeisung [BER-03] hingewiesen (siehe auch 4.1 dieser Stellungnahme).

Der Betreiber erklärt ferner, dass diversitäre Wasserentnahmemöglichkeiten zusätzlich zur Auslegung zur Verfügung stünden (siehe auch 4.1 dieser Stellungnahme), die auch für die Brandbekämpfung genutzt werden könnten.

Die Betriebsfeuerwehr mit werksfeuerwehähnlichem Charakter ist während der Dienstzeiten einsatzbereit. Nach Dienstschluss steht eine Wache zur Verfügung. Die Betriebsfeuerwehr übernimmt während der Dienstzeit im Schadensfall Erste-Hilfe-Maßnahmen und erste Löschmaßnahmen und leistet technische Hilfe. Sie alarmiert die Berliner Feuerwehr, weist diese ein und unterstützt sie [BER-03]. Nach Eintreffen der Berliner Feuerwehr übernimmt diese die technisch-operative Leitung ihres Einsatzes.

Der Betreiber stellt zudem fest, dass das HZB in engem Kontakt mit der Berliner Feuerwehr stehe. Schulungen oder Unterweisungen würden regelmäßig alle 14 Tage mit der Berliner Feuerwehr durchgeführt.

⁸ Für die brennbaren Gase wurde der Schutzgrad 3 und für toxische Gase der Schutzgrad 2 von der RSK festgestellt.

Die Schulungen erfolgten insbesondere unter dem Aspekt der Vermittlung von spezifischen Orts- und Anlagenkenntnissen sowie von Kenntnissen im Bereich Strahlenschutz. Zusätzlich werden einmal pro Jahr im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Notfallübung besondere Notfallszenarien und die Kommunikation mit der Gemeinsamen Einsatzleitung geübt. Speziell ein großer Kerosinbrand sei bisher nicht Gegenstand einer Übung gewesen. Es wird darauf hingewiesen, dass bei einem Flugzeugabsturz der Flugbetrieb auf den Berliner Flughäfen weitgehend eingestellt würde und Feuerwehrräfte der Flughafenfeuerwehr angefordert werden könnten. Diese Feuerwehr sei die einzige in Berlin, die speziell auf große Kerosinbrände vorbereitet sei. Sie könne innerhalb von ca. 30 Minuten vor Ort sein.

Beeinträchtigung des Umsetzbeckens durch den Flugzeugabsturz

Der Sachverständige TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG kommt in seinem schriftlichen Vermerk zur möglichen Beeinträchtigung des Umsetzbeckens durch Flugzeugabsturz zu dem Ergebnis [BER-08], dass ein direkter Treffer auf das Umsetzbecken nicht möglich sei und deshalb eine Beschädigung, die zu einem Integritätsverlust des Umsetzbeckens führt, nicht zu unterstellen ist. Selbst bei einem angenommenen Ausfall der Nachwärmeabfuhr der abgebrannten Brennelemente ist nach Einschätzung des Sachverständigen vom TÜV Nord erst nach ca. 24 Tagen ein Trockenfallen der Brennelemente zu erwarten. Dies sei ausreichend, um Gegenmaßnahmen zu ergreifen und eine Freisetzung aus dem Umsetzbecken zu vermeiden. Eine Notfallmaßnahme zur Bespeisung des Umsetzbeckens ist im NHB beschrieben.

4.4.3 Bewertung der RSK

Mit dem Gutachten [BER-05] sieht sich die RSK ausreichend über die möglichen Konsequenzen des gezielten Absturzes eines mittelgroßen Verkehrsflugzeuges (Airbus A320) informiert. Die unterstellten Szenarien und die dabei zu erwartenden Auswirkungen sind aus Sicht der RSK nachvollziehbar. Als Folge des Absturzes ist mit gravierenden Schäden am Reaktorgebäude und der technischen Infrastruktur zu rechnen. Bei allen betrachteten worst case Szenarien sind die Karenzzeiten bis zur Kernfreilegung zu kurz, um die Kernschmelze durch präventive Notfallmaßnahmen zu vermeiden. Die mitigativen Notfallmaßnahmen können durch den Brand, die Trümmerbildung und die erhöhte Ortsdosisleistung gravierend behindert werden.

Der Gutachter kommt zu der Aussage, dass die vitalen Sicherheitsfunktionen nicht aufrechterhalten werden können, dass Kernschmelze in einer Luft-Wasserdampf-Atmosphäre eintreten wird und dass der Eingreifrichtwert von 100 mSv Effektivdosis für die Evakuierung der Anwohner gerade noch erreicht werden kann.

Demzufolge werden beide mögliche Kriterien für den Schutzgrad 2 bei einem Flugzeugabsturz nicht erfüllt. Die RSK schließt sich der Ansicht des Gutachters an.

Hinsichtlich der Empfehlung aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren, dass die Brandbekämpfungsmaßnahmen dahingehend überprüft werden sollten, ob sie geeignet sind, Treibstoffbrände

nach einem Flugzeugabsturz derart zu beherrschen, dass die bei einem solchen Szenario relevanten Notfall- und Katastrophenschutzmaßnahmen nicht wesentlich eingeschränkt sind, ist die RSK der Auffassung, dass diese Empfehlung zu Teilen umgesetzt worden ist oder noch wird. Das Brandschutzkonzept wurde überarbeitet und weitere Anpassungen an die KTA 2101 sind geplant. Einzelne Brandschutzmaßnahmen sind ertüchtigt worden. Das mögliche Eindringen von Kerosin und Rauchgasen in die Gebäudes des BER-II wurde betrachtet; die vorhandenen Vorkehrungen (Überwachungseinrichtungen, Lüftungsanlagen, Rauchabzüge, Schwellen, Maßnahmen gegen Lachenbildung nahe der Gebäude) werden als ausreichend angesehen.

Für das Löschen von Kerosinbränden sind bislang keine besonderen Vorkehrungen getroffen worden. Der Verweis auf die Alarmierung der Flughafenfeuerwehr ist aus Sicht der RSK nicht zielführend, da die Zeit bis zur Einsatzbereitschaft nach Aussage des Betreibers etwa 30 Minuten beträgt. Gemäß dem Gutachten der TÜV Nord EnSys und der GRS [BER-05] ist der Kerosinbrand aber bereits nach 30 Minuten beendet. Die RSK empfiehlt daher zu prüfen, ob und unter welchen Bedingungen die Berliner Berufsfeuerwehr in der Lage ist, Kerosinbrände am oder im Reaktorgebäude vor Ablauf von 30 Minuten zu löschen. Sofern dies möglich ist, sollte diese Maßnahme inkl. der vom Betreiber hierfür abzusichernden Voraussetzungen in die Notfallplanung des BER-II einbezogen werden. Die Maßnahme sollte regelmäßig geübt werden /E7/.

E7 Die RSK empfiehlt zu prüfen, ob und unter welchen Bedingungen die Berliner Berufsfeuerwehr in der Lage ist, Kerosinbrände am oder im Reaktorgebäude vor Ablauf von 30 Minuten zu löschen. Sofern dies möglich ist, sollte diese Maßnahme inkl. der vom Betreiber hierfür abzusichernden Voraussetzungen in die Notfallplanung des BER-II einbezogen werden. Die Umsetzung der Maßnahme sollte regelmäßig geübt werden.

Hinsichtlich der Notfall-Einspeisepunkte für die Energie- und Wasserversorgung wird festgestellt, dass durch die jeweilige räumliche Trennung der Einspeisepunkte und die Diversität der Wasserquellen ein gleichzeitiges Versagen nicht zu unterstellen ist.

Bei der Notfallmaßnahme zur Kühlung der Brennelemente im Umsetzbecken nach einem Flugzeugabsturz sieht die RSK keinen weiteren Prüfbedarf.

Im Hinblick auf die insbesondere für das Ereignis Flugzeugabsturz relevante schnelle Reaktion der zuständigen Katastrophenschutzbehörden verweist die RSK auf ihre diesbezügliche positive Einschätzung zur „Reflexphase“ im Abschnitt 4.1.3.

4.5 Vorsorgemaßnahmen

4.5.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

„Die RSK hält eine Umsetzung hinreichend zuverlässiger Maßnahmen zur Verhinderung des Ausfalls der Stromversorgung infolge Überflutung für erforderlich. Unter Berücksichtigung der Umsetzung dieser

Maßnahmen sieht die RSK die vorhandenen Vorsorgemaßnahmen für Überflutungsszenarien als ausreichend robust an und für diesen Teilaspekt den Robustheitslevel 2 als erfüllbar an.“

„Eine Aktualisierung des Brandschutzkonzeptes im Rahmen des Aufsichtsverfahrens sollte nach Meinung der RSK durchgeführt werden.“

„Der Erhalt der Integrität des Reaktor- und Umsetzbeckens wird vom Betreiber und dem Sachverständigen als die wichtigste vitale Sicherheitsfunktion ausgewiesen. Nach Meinung der RSK reicht es nicht aus, deren Gefährdungsmöglichkeiten nur bezüglich der Einwirkungen Flugzeugabsturz und äußere Explosionsdruckwelle zu betrachten sondern es sollten auch anlageninterne Einwirkungen einbezogen werden.“

„Zur Robustheit der Anlage gegenüber anlageninternen Brandszenarien, bei denen die Integrität des Reaktor- und Umsetzbeckens (z. B. Dichtheit der Strahlrohre) betroffen sein könnte, enthalten die Unterlagen keine ausreichenden Informationen zur Beurteilung der LevelEinstufung.

Nach Meinung der RSK reicht die konzeptionelle Begründung (Vorhandensein von mehrfach vorhandenen mechanischen „Barrieren“) in den vorliegenden Überprüfungsberichten alleine nicht aus, um eine hohe Robustheit dieser Vorsorgemaßnahme zu begründen. Die RSK kommt insgesamt zu der Einschätzung, dass eine Einstufung in die Level 1 als erreichbar angesehen wird. Dazu sind zusätzliche Nachweise hinsichtlich des Feuerwiderstands bei raumübergreifenden Bränden erforderlich.“

4.5.2 Umsetzung

Vorsorge gegen Ausfall der Stromversorgung bei Überflutung

Der Betreiber führt aus, dass sich die Batterien und die Wechselrichter, die einen Weiterbetrieb der Primärpumpen des Betriebsbeckens für eine Minute⁹ nach Ausfall der Drehstromversorgung gewährleisten, im Keller des Reaktorgebäudes befinden. Die redundant vorhandenen Batterien sowie die Wechselrichter könnten bei einem über einen längeren Zeitraum andauernden Wasserzutritt aus einer defekten Stadtwasserleitung oder durch Regenwasser beschädigt werden.

Zur Vorsorge gegen Überflutung durch Starkregen seien weitere Regennotabläufe installiert worden (siehe auch 4.2 Sonstige naturbedingte Einwirkungen).

Zur Vorsorge gegen den Ausfall der Batterien und Wechselrichter bei Überflutung aus der Stadtwasserleitung seien Feuchtigkeitsmelder nachgerüstet worden, deren Meldung auf der Warte angezeigt wird. Zusätzlich sei im Flur zum Keller eine Kamera angebracht worden. Die Batterien und die Wechselrichter seien in etwa 20 cm über dem Kellerboden angebracht. Ohne Gegenmaßnahmen würden die Wechselrichter nach etwa 50 Minuten überflutet [BER-11]. Damit stünde ausreichend Zeit zur Verfügung, um Gegenmaßnahmen durchzuführen und den Reaktor vorsorglich abzuschalten.

⁹ Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist nachgewiesen worden, dass nach Reaktorabschaltung auch beim Ausfall des Nachlaufs (60s) der Primärpumpen keine Brennelementschäden eintreten.

Überarbeitung des Brandschutzkonzepts / Vorsorge gegen raumübergreifende Brände

Das Brandschutzkonzept ist vom Betreiber überarbeitet worden und wird im Rahmen des Aufsichtsverfahrens geprüft (siehe auch 4.4 Flugzeugabsturz: Bekämpfung von Kerosinbränden). Bei der Überarbeitung sei auch das Potenzial für raumübergreifende Brände berücksichtigt worden. Der Betreiber erklärt, dass sich das Brandschutzkonzept über alle Redundanzen erstreckt und Übertragungsmöglichkeiten eines Brandes von einer Redundanz in die Nachbarredundanz betrachtet worden seien. Die bauliche Ausführung aller wichtigen Räume entspreche der Feuerschutzklasse F90. Die Reaktorhalle verfüge über eine Sprinkleranlage. Die Notstromdiesel seien räumlich getrennt untergebracht. Der Sachverständige regt eine weitere Anpassung des Brandschutzkonzepts an die KTA 2101 [KTA 2101] an.

Vorsorgemaßnahmen gegen den Integritätsverlust des Reaktor- und Umsetzbeckens bei anlageninternen Einwirkungen / Brände

Bezüglich der Robustheit des Umsetzbeckens bei internen Bränden wird auf die abdeckenden Betrachtungen zu Flugzeugabsturz und Kerosinbrand verwiesen (siehe auch 4.4 Flugzeugabsturz, Beeinträchtigung des Umsetzbeckens durch den Flugzeugabsturz, sowie [BER-08]). Darüber hinaus sei im Rahmen der Auslegung der Absturz eines Transportbehälters für abgebrannte Brennelemente auf das Umsetzbecken betrachtet worden. Dabei kann der Betondeckel des Beckens zerstört werden, das doppelwandige Stahlbecken bliebe jedoch intakt.

Der Betreiber erklärt ferner, dass bei einem Brand in der Experimentierhalle auf Grund der Dimensionierung der Betonwand des Reaktorbeckens nicht mit einem Verlust der Integrität der Betonwand zu rechnen sei und verweist diesbezüglich ebenfalls auf die Untersuchungen zum gezielten Flugzeugabsturz [BER-05] (siehe auch 4.4 Flugzeugabsturz, Eignung von Bekämpfungsmaßnahmen gegen Kerosinbrände im Hinblick auf die Wirksamkeit von Notfall- und Katastrophenschutzmaßnahmen).

Es wird darüber hinaus erläutert, dass die Strahlrohre tiefer im Betriebsbecken lägen als der Kühlkreislauf. Daher sei ein Strahlrohrversagen durch Brand bzgl. Beckenwasserverlust als der ungünstigste Fall anzusehen (Mitte Strahlrohr +1,1 m, Oberkante Kern +1,5 m). Die Strahlrohre aus Aluminium sind so ausgeführt, dass immer zwei passive Barrieren gegen Beckenwasserverlust als Vorsorgemaßnahme vorhanden sind; die 1. Barriere (innere) ist die Wand der Strahlrohre selbst, die 2. Barriere wird durch einen Einsatz im Strahlrohr (so genanntes Fingerhutrohr) gebildet. Die Strahlrohre sind im Beton verankert und mit der Aluminiumauskleidung des Reaktorbeckens verschweißt. Die Schweißverbindung befindet sich auf der inneren Seite der Strahlrohrnische der Beckenwand (Wandstärke beträgt 2,1 m). Das Strahlrohr und die Schweißnaht sind durch die Nische selbst sowie durch die Schwerbetonsteine in und vor der Nische und durch das Fingerhutrohr vor der unmittelbaren Brandeinwirkung geschützt. Die Strahlrohre werden von außen durch das Beckenwasser gekühlt. Die Fingerhutrohre verhindern im Fall einer Undichtigkeit der Strahlrohre die Leckage von Beckenwasser. Erst bei Verlust des Strahlrohreinsatzes und der Abschirmung durch die Schwerbetonsteine seien hohe Temperaturen durch Brandeinwirkung im Inneren des Strahlrohres möglich, das aber weiterhin durch das Beckenwasser gekühlt werde. Insofern sei ein Integritätsverlust der Strahlrohre durch interne Brandeinwirkung nicht zu erwarten.

Der Betreiber erklärt zudem [EP_RAFR2], dass eine hypothetische Wasserstoff-Luft-Reaktion („H₂-Explosion“) der kalten Neutronenquelle bereits 1987 unterstellt worden sei. Die Analyse der Auswirkungen habe gezeigt, dass keine unzulässige Beschädigung der Reaktoranlage zu erwarten sei und deshalb kein Bedarf an weiteren Vorsorgemaßnahmen bestünde.

4.5.3 Bewertung der RSK

Die von der RSK im Zuge der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren [RSK-SÜ-FR] empfohlenen Verbesserungen der Vorsorgemaßnahmen gegen Stromausfall durch Überflutung wurden umgesetzt. Selbst wenn unterstellt wird, dass die Maßnahmen zur Unterbindung des weiteren Wasserzutritts nicht greifen, ist nach Erkennung der beginnenden Überflutung ausreichend Zeit, um den Reaktor vorsorglich abzuschalten. Auch ohne Pumpennachlauf treten keine Brennelementschäden auf. Insofern können alle vitalen Sicherheitsfunktionen aufrechterhalten werden. Die RSK sieht diesbezüglich keinen weiteren Prüfbedarf.

Der Betreiber und der Sachverständige haben die Betrachtungen zur Integrität des Umsetzbeckens bei Flugzeugabsturz mit Kerosinbrand und beim Absturz des Transportbehälters für abgebrannte Brennelemente vorgestellt. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass die Integrität des Umsetzbeckens durch diese Einwirkungen nicht gefährdet sei und dass die Karenzzeiten für die Notbespeisung des Umsetzbeckens groß seien (siehe auch 4.4 Flugzeugabsturz, Beeinträchtigung des Umsetzbeckens durch den Flugzeugabsturz, sowie [BER-08]), so dass die Kühlung der Brennelemente im Umsetzbecken sichergestellt werden könne. Die RSK schließt sich dieser Auffassung an.

Das Brandschutzkonzept ist vom Betreiber überarbeitet worden und wird im Zuge des Aufsichtsverfahrens gutachterlich überprüft. Der Betreiber verweist hinsichtlich der Vorsorge gegen raumübergreifende Brände auf die Ausführung wichtiger Räume gemäß Feuerschutzklasse F90, auf die Sprinkleranlage in der Reaktorhalle und auf die räumliche Trennung der Notstromdiesel. Die RSK-Empfehlung, das Brandschutzkonzept im aufsichtlichen Verfahren zu überprüfen, ist umgesetzt worden.

Die RSK kommt auf der Basis des Berichts des Betreibers zu der Auffassung, dass die zweifachen Barrieren der Strahlrohre ausreichend gegen Brandeinwirkung geschützt sind. Außerdem wurde gezeigt, dass die Explosion des Wasserstoffs der Kalten Neutronenquelle nicht zu unzulässigen Schäden an der Reaktoranlage führt.

Der Absturz schwerer Lasten in das Reaktorbecken wurde bereits bei der Sicherheitsüberprüfung im Jahre 2012 mit dem Ergebnis betrachtet, dass ein Verlust der Integrität des Beckens nicht zu besorgen sei [RSK-SÜ-FR].

Aus Sicht der RSK besteht in Bezug auf Vorsorgemaßnahmen gegen Beckenwasserverlust bei internen Einwirkungen kein weiterer Prüfbedarf.

5 Forschungsreaktor München II (FRM-II)

5.1 Notfallmaßnahmen

5.1.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

Generische Empfehlungen: siehe 4.1.1.

Spezifische Empfehlungen zum FRM-II

„Eine sinngemäße anlagenspezifische Umsetzung der „Rahmenempfehlung für die Planung von Notfallmaßnahmen durch die Betreiber von Kernkraftwerken“ aus dem Jahr 2010 ist nach den Angaben des Betreibers erfolgt, die Umsetzung ist allerdings nicht detailliert nachgewiesen worden. Die RSK sieht es als zielführend an, eine Überprüfung des Notfallschutzkonzeptes entsprechend der generischen Bewertung mit Bezug auf Kap. 5.1 vorzunehmen, um eine aktualisierte und systematische Darstellung und Weiterentwicklung zu gewährleisten.“

„Zur externen Kommunikation stehen im Ereignisfall verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, von Satellitentelefon bis zu Standleitungen zu Polizei und Feuerwehr. Eine Aussage, ob diese Kommunikationseinrichtungen auch bei Ausfall der Stromversorgung funktionieren, ist in den Unterlagen des Betreibers nicht enthalten. Diesbezügliche organisatorische Maßnahmen wie Alarmierungen sind in der Alarmordnung geregelt. Die Bildung eines Krisenstabes ist bislang nicht vorgesehen.“

„Zur Stromversorgung von anlageninternen Notfallmaßnahmen führt der Betreiber aus, dass nur die Beckenwassernoteinspeisung mit externen Pumpen (einschließlich externer Stromversorgung) bei Totalausfall der Spannungsversorgung möglich ist.

Die RSK empfiehlt mit Bezug auf die in Kap. 5.1 vorzusehende Überprüfung des Notfallschutzkonzeptes, die Einspeisung von Kühlwasser in das Reaktorbecken als Notfallmaßnahme durch technische Maßnahmen, die einen Zugang in die Reaktorhalle nicht erfordern, zu ergänzen. Die RSK empfiehlt ferner, eine Untersuchung der Karenzzeiten und der Grenzwerte für das Einleiten von Notfallmaßnahmen im Aufsichtsverfahren. Ferner wird die Bildung einer Notfallorganisation empfohlen mit der Festlegung von Aufgaben und Zuständigkeiten, die im Betriebsreglement festzuhalten ist.“

5.1.2 Umsetzung

Überarbeitung des Notfallschutzkonzeptes in Anlehnung an die Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen und Einrichtung einer Krisenstabsorganisation

sowie

Verankerung der Notfallmaßnahmen als Teil der Wartendokumentation und Übergang vom BHB in das NHB

Der Betreiber berichtet [FRM-01], dass das Notfallschutzkonzept seit der Sicherheitsüberprüfung im Jahre 2012 [RSK-SÜ-FR] überarbeitet worden sei. Dabei seien die Rahmenempfehlungen für Notfallmaßnahmen in KKW [REmp-NFM] sowie die KTA-Regel 1203 „Anforderungen an das Notfallhandbuch“ [KTA 1203] berücksichtigt worden. Das NHB [FRM-02NHB] sei als Teil 3 Kapitel 4 in das Betriebshandbuch (BHB) eingegliedert worden.

Das überarbeitete NHB beschreibt u. a. den Aufbau und die Aufgaben der Notfallschutzorganisation (Krisenstab) sowie die Kriterien für ihre Inkraftsetzung. Darüber hinaus definiert es die technische und räumliche Ausstattung der Notfallorganisation und legt die Regeln für die Zusammenarbeit mit externen Stellen fest.

In Übereinstimmung mit der Alarmordnung des FRM-II [FRM-03] wird die Notfallorganisation vom betrieblichen Einsatzleiter einberufen, „sobald sich abzeichnet, dass es zu einem auslegungüberschreitenden Ereignis (Notfall) kommt und die Kriterien für Voralarm bzw. Katastrophenalarm erreicht sind oder deren Erreichen zu besorgen ist ...“. Die Notfallorganisation bezieht sich ausschließlich auf den FRM-II.

Die anlagentechnischen Notfallmaßnahmen umfassen

- das Ablassen des Schwerwassers aus dem Moderatortank,
- die Abschaltung von Zu- und Abluft im Kontrollbereich,
- die Beckenwassernoteinspeisung und die Kernnotentladung
- und das Zuschalten der 400-V-Notversorgung über den Not-Transformator.

Für jede der genannten anlagentechnischen Notfallmaßnahmen beschreibt das NHB jeweils neben der Zielstellung die Einleitungskriterien, die Wirksamkeitsbedingungen und Karenzzeiten, den Personal- und Zeitbedarf sowie die benötigten Hilfsmittel. Die Durchführung wird in zugeordneten Anlagen erläutert. Ferner werden zu jeder Maßnahme Übungshandlungsanweisungen gegeben.

Der Krisenstab (Notfallorganisation) setzt sich aus dem betrieblichen Einsatzleiter und Vertretern des Fachbereichs Reaktorüberwachung (ggf. unterstützt durch den Strahlenschutzbeauftragten), den Objektsicherungsbeauftragten sowie Vertretern der Fachbereiche Reaktorbetrieb, Bestrahlung und Quellen, Elektro- und Leittechnik sowie Reaktorweiterentwicklung zusammen. Ferner können Vertreter der Feuerwehr der Technischen Universität München (TUM), der Pressestelle der TUM, ggf. vertreten durch den Pressereferenten des FRM-II und - in beratender Funktion - der kerntechnische Sicherheitsbeauftragte dem Krisenstab angehören. Die Mindestbesetzung des Krisenstabs besteht aus dem betrieblichen Einsatzleiter, dem Leiter des Fachbereichs Reaktorüberwachung und dem Leiter des Fachbereichs Reaktorbetrieb.

Die Leitung des Krisenstabs obliegt dem betrieblichen Einsatzleiter. Er trägt die Gesamtverantwortung für die im Zusammenhang mit der auslegungüberschreitenden Situation am Standort durchzuführenden Maßnahmen und für die Zusammenarbeit zwischen der TUM, der Atomrechtlichen Aufsichtsbehörde und

der zuständigen Katastrophenschutzbehörde [FRM-02NHB]. Er ist gegenüber allen Personen im umfriedeten Gelände weisungsbefugt mit Ausnahme gegenüber Mitarbeitern der Atomrechtlichen Aufsichtsbehörde, der Feuerwehr und der Polizei, die ihre Tätigkeit nach Möglichkeit mit ihm abstimmen sollen.

Die Festlegungen zum betrieblichen Einsatzleiter und die Aufgaben, Zuständigkeiten und Weisungsberechtigungen der Krisenstabsmitglieder sind in der Alarmordnung [FRM-03] und im NHB [FRM-02NHB] geregelt. Der höchstrangige betriebliche Einsatzleiter ist der Technische Direktor des FRM-II.

Ein notwendiger Wechsel der Krisenstabsmitglieder zwischen Schaltwarte und Krisenstabsraum ist schnell und einfach möglich. Ausweichräume für den Krisenstab sind ebenfalls festgelegt.

Der Betreiber berichtet, dass gemäß der Richtlinie zum Erhalt der Fachkunde einmal im Jahr ein Blockseminar abgehalten wird, das auch die Durchführung von Notfallschutzübungen beinhaltet. Die zugehörigen Übungen würden theoretisch und praktisch durchgeführt. Übungen mit Beteiligung der Krisenstabsorganisation seien bislang nicht durchgeführt worden. Jährlich würden zwei unangekündigte Feuerwehrrübungen abgehalten und es habe auch Übungen des Katastrophenschutzes unter Annahme eines postulierten Störfalls am FRM-II gegeben.

Der TÜV SÜD hat am 04.02.2015 eine positive Stellungnahme zur Überarbeitung des Notfallschutzkonzepts abgegeben. Darin wird bestätigt, dass das NHB den Vorgaben der KTA 1203 entspricht und den Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallmaßnahmen in Kernkraftwerken ausreichend Rechnung getragen wurde.

Das StMUV¹⁰ hat der Aufnahme des Notfallschutzkonzeptes in das BHB am 12.02.2015 zugestimmt.

Notfallmaßnahmen zur Abdichtung und Bespeisung des Reaktorbeckens

Die gesamte Beckengruppe besteht aus dem Reaktorbecken, dem Absetzbecken und der Primärzelle. Alle wasserführenden Leitungen (z. B. Wasserreinigung und Kühlung) verlaufen über den Beckenrand oder in Rohrdurchführungen der Beckenwand oberhalb der Oberkante der Brennelemente. Das Absetzbecken und das Reaktorbecken können durch ein Tor getrennt werden, sind aber bei Betrieb miteinander verbunden. Die beiden Becken haben ein Gesamtwasservolumen von ca. 700 m³.

Bislang ist im NHB die Notfallmaßnahme „Beckenwassernoteinspeisung /Kernnotentladung“ vorgesehen. Dazu führte der Betreiber aus, dass die Notbespeisung des Reaktorbeckens über Wandhydranten erfolge, die normalbetrieblich aus dem Trinkwassersystem bespeist würden. Ferner könnten die Hydranten auch notstromgesichert aus den Pufferbecken des Feuerlöschsystems mit Wasser versorgt werden. Darüber hinaus gäbe es die Möglichkeit, entweder aus den Pufferbecken oder aus Anlagensicherungsteichen bzw. dem Garchingener Mühlbach mittels mobiler Feuerwehrpumpen Wasser zu entnehmen und damit die

¹⁰ Bayerische Staatsministerium für Umwelt, und Verbraucherschutz (StMUV)

Hydrantenleitung direkt zu versorgen. Um eine Verbindungsleitung zwischen dem Wandhydranten und dem Reaktor- bzw. Absetzbecken zu legen, müsste die Reaktorhalle begangen werden.

Der Betreiber erläuterte ferner, dass, sofern die Trink- oder Brauchwasserversorgung zur Verfügung steht, die Einspeisung in die Pufferbecken des Feuerlöschsystems (2 x 50 m³) ohne elektrische Energieversorgung erfolgen könne. Die Druckerhöhungspumpen im Reaktorgebäude und die Pumpen zur Befüllung der Pufferspeicher aus dem Brunnen seien notstromgesichert. Die Pufferspeicher könnten aber auch mit mobilen Feuerweerpumpen aus verschiedenen Wasserreservoirs befüllt werden, da auch eine externe Zuspisemöglichkeit für die Pufferbecken vorhanden sei.

Die Maßnahme werde von der Werkfeuerwehr durchgeführt und könne auch bei Ausfall der Notstromversorgung umgesetzt werden.

Bei großem Wasserverlust, bei dem der Beckenwasserstand langfristig nicht gehalten werden kann, solle das Brennelement so frühzeitig wie möglich aus der Betriebsposition in das Absetzbecken gebracht werden, jedoch nicht vor Ablauf von 3 Stunden nach Reaktorabschaltung (BHB Teil 4, Kap. 6.7). Für diese Maßnahme wird der Hallenkran benötigt. Sie dauere insgesamt etwa 10 Stunden.

Spezifische Abdichtmaßnahmen seien nicht vorgesehen, könnten aber abhängig vom Leckort durchgeführt werden.

Es würden darüber hinaus Analysen zu den erforderlichen Einspeiseraten und der dafür notwendigen Mindest-Rohrquerschnitte bei den zu unterstellenden Leckstörfallszenarien durchgeführt. Die Beckenwasserreinigung und die Beckenwasserkühlung verfügen über direkte Rohrzugänge in das Becken und könnten grundsätzlich zur Überspeisung von Leckagen genutzt werden, ohne die Reaktorhalle zu betreten. Das Wasserreservoir (Beckenwasserlagertank) befindet sich im unterkellerten Bereich der Neutronenleiterhalle West und sei für Nachspeisungen gut zugänglich. Pumpen stünden zur Verfügung. Sofern die Querschnitte der Rohrleitungen ausreichend groß sind, würden keine Nachrüstmaßnahmen notwendig. Ggf. werde eine zusätzliche Rohrleitung zur Einspeisung von Kühlwasser in das Reaktorbecken aus dem Beckenwasserlagertank fest installiert.

Der Beckenwasserlagertank im Keller sei bei Reaktorbetrieb leer und müsste bei Bedarf von innen oder außen gefüllt werden, um Wasser mit Hilfe der vorhandenen Pumpen in das Reaktorbecken einzuspeisen.

Das Löschwasserauffangbecken (Fassungsvermögen: 300 m³) befindet sich im Keller des Reaktorgebäudes. Das dort gesammelte Lösch- bzw. Leckagewasser könne bei Bedarf entweder direkt oder über den Beckenwasserlagertank in das Reaktorbecken zurückgepumpt werden.

Beide Optionen zur Notbespeisung des Reaktorbeckens aus dem Beckenwasserlagertank bzw. dem Löschwasserauffangbecken sind bislang noch nicht im NHB spezifiziert.

Notfallmaßnahmen zur Wiederherstellung einer Drehstromversorgung

Die Notfallmaßnahme „Zuschalten der 400-V-Notversorgung“ ist nach Angaben des Betreibers vorgesehen, nachdem die Versorgung über den 20-kV-Hauptverteilernezzring, den 20-kV-Notnezzring¹¹ und die beiden Notstromdieselaggregate ausgefallen ist. Dazu werde der Not-Transformator (Einspeisung erfolgt aus einem Drittnetz), der inzwischen auf das Betriebsgelände des FRM-II versetzt und in der Leistung verstärkt worden ist, auf das 400-V-Notstromnetz der beiden Notstromschienen geschaltet [FRM-04]. Die Leitungen vom Not-Transformator zur Schaltanlage sind permanent vorhanden. Die Verbindung wird über einen Schalter in der Schaltanlage im Keller des Zugangsbäudes hergestellt.

Der Betreiber hat beim Umbau des Nottransformators einen Einspeiseschalter als zusätzlichen Einspeisepunkt auf der Niederspannungsseite des Transformators für den Anschluss eines noch zu beschaffenden mobilen Notfall-Notstromaggregates installiert.

Robustheit der Störfallinstrumentierung und Notfallmaßnahmen zur Überwachung der Reaktorparameter und der radiologischen Situation

Der Betreiber erklärt [FRM-12], [FRM-13], dass die Instrumentierung primär der Information über den Zustand der Anlage diene, da für den Erhalt vitaler sicherheitstechnischer Funktionen im Wesentlichen der Füllstand im Becken als Wärmesenke und zur Aktivitätsrückhaltung gehalten werden müsse. Aktive Schalthandlungen aus der Notwarte seien weder erforderlich noch technisch vorgesehen.

Gemäß [FRM-13], [FRM-14] sind die relevanten Einrichtungen der Störfallinstrumentierung für die Umgebungsbedingungen bei den zu betrachtenden Störfällen ausgelegt. D. h. innerhalb des Reaktorhallenbereichs für Umgebungsbedingungen bis zu einer Temperatur von 50°C, bis zu 100% Luftfeuchte und bis zu einer Dosisleistung von 1000 Gy/h bei einer Kernschmelze. Beim radiologischen Auslegungsstörfall betrage die Dosisleistung 100 Gy/h. In Bezug auf äußere Einwirkungen sei die Störfallinstrumentierung für das Bemessungserdbeben und den Flugzeugabsturz ausgelegt worden. Dabei sei die Auslegung gegen Beschleunigungen wegen der baulichen Entkopplung der Reaktorgruppe vom Reaktorgebäude für das Bemessungserdbeben erfolgt. Bei einem Flugzeugabsturz auf das Reaktorgebäude werde nicht unterstellt, dass die Notwarte zerstört sei. Die wichtigsten Parameter des Reaktors (Beckenfüllstand, Beckenwassertemperatur, Notkühlruck, Neutronenfluss) und radiologische Parameter (Ortsdosisleistung Reaktorhalle, Edelgase in der Fortluft) werden sowohl in der Schaltwarte als auch der Notwarte angezeigt. Die im bzw. am Reaktorbecken angeordneten Messungen „Kühlmitteltemperatur Reaktorbecken“, „Niveau Reaktorbecken“ und „Ortsdosisleistung Reaktorhalle“ sind zweikanalig aufgebaut und die Übertragung dieser Signale vom Reaktorgebäude in die Notwarte erfolgt über räumlich getrennte Kabelwege.

¹¹ Der Notnezzring (= Ersatznezzschiene in der Technischen Zentrale) wird im Normalfall aus dem externen Stromnetz versorgt. Ein Blockheizkraftwerk speist synchron in diese Ersatznezzschiene ein. Zusätzlich kann eine so genannte Generatorschiene mit dahinter stehenden zusätzlichen Notstromdieseln auf die Ersatznezzschiene geschaltet werden.

Die Stromversorgung der Störfallinstrumentierung erfolge ohne externe Drehstromversorgung aus Batterien, die zusätzlich durch eine abgesetzte Batterie in der Notwarte ergänzt würden.

Zur Überwachung radiologischer Parameter besitze der FRM-II neben den fest installierten Einrichtungen der Störfallinstrumentierung eine Vielzahl mobiler und batterieversorgter Messgeräte. Zusätzlich stünde dem Strahlenschutz des FRM-II ein Strahlenschutz-Messfahrzeug mit einer umfangreichen Ausstattung für ein radiologisches Messprogramm in der Umgebung der Anlage zur Verfügung. Die Möglichkeit zur Messung der Strahlendosis in der Umgebung sei somit auch bei einem vollständigen Ausfall der festinstallierten Instrumentierung gegeben.

Nach der Bewertung des TÜV Energie und Systeme [FRM-14] werden die an die Störfallinstrumentierung des FRM-II zu stellenden Anforderungen erfüllt. Bezüglich der radiologischen Messungen stellte der TÜV fest, dass der Umfang der vorgesehenen Instrumentierung zur Überwachung bei Störfällen in Bezug auf die Messaufgaben den speziellen Anforderungen des FRM-II und den Forderungen der KTA 1507 [KTA 1507] entspricht.

Notfallmaßnahmen zur Begrenzung der Aktivitätsfreisetzung bei Kernschmelzen

Als radiologischer Auslegungstörfall wurde von Siemens/KWU postuliert, dass ein Äquivalent von 15 der 113 Brennstoffplatten unter Wasser schmilzt [FRM-06]. Die radiologischen Belastungen ergeben sich vornehmlich aus den freigesetzten Edelgasen, während Jod und andere Spaltprodukte in der Wasservorlage zu wesentlichen Teilen zurückgehalten werden. Im genannten Bericht [FRM-06] werden für dieses Auslegungsszenarium Strahlendosen von 1,9 mSv für die Referenzperson Kleinkind und 1,6 mSv für die Referenzperson Erwachsener angegeben. Die Stellungnahme der Strahlenschutzkommission (SSK) zur 3. Teilgenehmigung des FRM-II [FRM-07] bestätigt die Aussagen des zugezogenen Gutachters und kommt beim Schmelzen von 15 der 113 Brennstoffplatten zu einer maximalen Effektivdosis von 1 mSv. Wegen der damals neu eingeführten höheren Dosisfaktoren für Tritium führt die Freisetzung von Tritium bei einem gleichzeitig unterstellten Leck des Moderatortanks nach Auffassung der SSK zu einer zusätzlichen maximalen Effektivdosis von 6 mSv.

Ferner stellt der TÜV Süd in seinem Vermerk [FRM-15] fest, dass die Auswirkungen einer Dampfexplosion bei völliger Schmelze des Brennelementes unter Wasser auf das Innere des Zentralkanals beschränkt blieben und dass der Zentralkanal selbst nicht gefährdet sei. Der Erhalt der Wasserüberdeckung des Kerns sei auch bei einer postulierten Kernschmelze mit Dampfexplosion nicht gefährdet.

Für eine grobe Abschätzung der radiologischen Auswirkungen beim Schmelzen des gesamten Brennelementes geht der Betreiber deshalb von einer ausreichenden Wasserüberdeckung des Kerns aus und skaliert den Wert von 1 mSv (SSK) bzw. 1,9 mSv (Siemens/KWU) aus dem radiologischen Auslegungstörfall auf eine vollständige Kernschmelze (Faktor 113/15) und berücksichtigt zusätzlich konservativ die Effektivdosis von 6 mSv aus der Freisetzung von Tritium. Somit bliebe die Effektivdosis mit etwa 13,5 mSv (bei 1 mSv aus der Schmelze) bzw. 20,3 mSv (bei 1,9 mSv aus der Schmelze) weiterhin

deutlich unter dem Störfallplanungswert von 50 mSv gemäß §50 StrlSchV in Verbindung mit §117 Absatz 16 StrlSchV [FRM-11].

Insofern kommt bei der Begrenzung der radiologischen Auswirkungen eines Kernschmelzunfalls der Notfallmaßnahme zur langfristigen Einspeisung von Wasser in das Reaktorbecken und der Notfallmaßnahme zum Abschalten der Zu- und Abluft im Kontrollbereich bei Versagen des Gebäudeabschlusses der Reaktorhalle die höchste Priorität zu. Beide Maßnahmen sind im NHB spezifiziert.

Berücksichtigung erschwerender Randbedingungen bei der Umsetzung von Notfallmaßnahmen

Die Berücksichtigung erschwerender Randbedingungen (bspw. Trümmer, Rauchgasbildung, erhöhte Ortsdosisleistungen) ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass der FRM-II sehr robust gegenüber äußeren Einwirkungen ist. Beim Absturz eines großen Verkehrsflugzeuges können die vitalen sicherheitstechnischen Funktionen aufrechterhalten werden [RSK-SÜ-FR]; bei einem auslegungsüberschreitenden Erdbeben ist der Verlust von Wasser aus dem Reaktor- und Absetzbecken nicht zu erwarten (siehe Kap. 5.2.2 dieser Stellungnahme); die für die Sicherheitsfunktionen erforderlichen Einrichtungen sind durch auslegungsüberschreitende Hochwasser nicht gefährdet [RSK-SÜ-FR].

Der Betreiber stellt darüber hinaus fest, dass zur Aufrechterhaltung der vitalen Sicherheitsfunktionen des FRM-II keine Stromversorgung notwendig ist. Bei Ausfall der Drehstromversorgung erfolgt RESA und der zentrale Regelstab fällt schwerkraftgetrieben und durch die Abwärtsströmung im Kern unterstützt in das Brennelement ein. Diversitär wird der Kern durch 5 Abschaltstäbe (notwendig für die langfristige Abschaltung 4 von 5) im Moderatortank abgeschaltet. Bei Stromausfall fallen die Abschaltstäbe schwerkraft- und federbeschleunigt ein.

Spezifikationsgerecht wird die Nachwärme für 3 Stunden nach RESA mit Hilfe der batterieversorgten Notkühlpumpen abgeführt. Dabei erfolgt die Kühlung geschlossen im Becken. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist gezeigt worden, dass das Brennelement auch dann nicht beschädigt wird, wenn alle Notkühlpumpen ausfallen [FRM-05]. Bei diesem Szenarium wird der Kern durch unmittelbaren Übergang in den Naturumlauf gekühlt.

Die Notfallmaßnahme zur Bespeisung der Becken (siehe dieses Kapitel, Abschnitt zur Einspeisung in die Becken) ist bei Ausfall der Notstromversorgung allein mit mobilen Einrichtungen der Feuerwehr möglich. Für die Maßnahme muss die Reaktorhalle begangen werden, um eine Schlauchverbindung zwischen dem Wandhydranten und den Becken zu verlegen. Die Wandhydranten werden betrieblich aus dem Trinkwassersystem versorgt, können aber notstromversorgt auch aus den Pufferbecken des Feuerlöschsystems bespeist werden. Alternativ kann die Hydrantenleitung direkt mit mobilen Einrichtungen aus diversitären und räumlich getrennten Wasserquellen versorgt werden. Auch die Pufferbehälter können mit mobiler Technik aus diversitären und räumlich getrennten Wasserquellen nachgefüllt werden. Weitere mögliche Notfallmaßnahmen, die den Zutritt zur Reaktorhalle nicht erfordern, werden analysiert (siehe dieses Kapitel, Abschn. zur Einspeisung in die Becken).

Die Notfallmaßnahme „Zuschalten der 400-V-Notversorgung“ ist ertüchtigt worden. U.a. sei ein Einspeiseschalter für einen mobilen Notfall-Notstromdieselmotor installiert worden (siehe dieses Kapitel, Abschnitt zur Wiederherstellung der Drehstromversorgung). Für die Verbindung des Nottransformators bzw. des mobilen Dieselmotors mit den Notstromschienen müssen keine potenziell gefährdeten Raumbereiche betreten werden. Die Entfernung zwischen den Notstromdieseln des FRM-II und dem Nottransformator beträgt etwa 80 m.

Gemäß NHB [FRM-02NHB] ist für die Notfallmaßnahme „Ablassen des Moderator tanks“ zur Notabschaltung des Reaktors eine Drehstromversorgung nötig, weil der Hallenkran benötigt wird, die Primärzelle begangen werden muss und Ventile elektrisch verfahren werden müssen. Auch für die Kernnotentladung in das Absetzbecken wird der Hallenkran benötigt.

Für die Beseitigung von Trümmern und die Herstellung von Zuwegungen bei der Umsetzung von Notfallmaßnahmen verfügt die Werkfeuerwehr der TUM über Räumgeräte, die zum Teil im Besitz des FRM-II stehen. Auf den Einsatzwagen der Werkfeuerwehr sind mehrere mobile Notstromaggregate mit einer Leistung von 10-20 kW stationiert [FRM-01]. Die Wartung der Geräte wird von der Feuerwehr durchgeführt. Außerdem bestehen Verträge mit dem THW. Darin ist vereinbart, dass das THW bei Bedarf spätestens nach ca. 8 Stunden mit entsprechendem Gerät und Personal auf der Anlage einsatzbereit ist. Durch Übungen ist das THW auf dem Anlagengelände ortskundig. Das Gelände des FRM-II ist für technische Unterstützung von außen gut zugänglich.

Verfügbarkeit der Kommunikationseinrichtungen bei Stromausfall

Die Telefonanlage der TUM verfügt über eine Notstrombatterie (Batteriekapazität reicht für mindestens 4 Stunden aus). Daneben bestehen eine Standleitung und ein Notrufmelder zur Polizei in München. Der FRM-II besitzt ferner einen unabhängigen Telefonanschluss, der nicht an der Telefonanlage der TUM hängt. Außerdem besteht eine Funkverbindung (BOS-Funk, Handfunkgeräte) zur Werkfeuerwehr. Eine zusätzliche Satellitenfunkverbindung ist derzeit außer Betrieb, da diese vom Satellitenbetreiber gekündigt wurde. Sie wurde durch einen diversitären Mobilfunk ersetzt, der verschiedene Mobilfunknetzbetreiber nutzen kann.

Der Betreiber erklärt, dass für die Kommunikationseinrichtungen am FRM-II keine Bevorrechtigung gemäß PTSG¹² vorliegt [EP_RAFR3].

5.1.3 Bewertung der RSK

Der Betreiber des FRM-II hat nach der Sicherheitsüberprüfung 2012 das Notfallschutzkonzept umfangreich überarbeitet und die Empfehlungen der RSK weitgehend umgesetzt.

Die RSK folgt der Auffassung des Gutachters, dass das NHB den Vorgaben der KTA 1203 entspricht und den Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallmaßnahmen in Kernkraftwerken ausreichend

¹² PTSG: Post- und Telekommunikationssicherstellungsgesetz

Rechnung getragen wurde. Ferner sind nach Ansicht der RSK die Notfallmaßnahmen sachgerecht im BHB verankert und der Übergang vom BHB in das NHB klar geregelt.

Nach Darstellung des Betreibers werden keine Notfallschutzübungen durchgeführt, bei denen die gesamte Notfallorganisation einbezogen ist. Entsprechende Übungen sind aus Sicht der RSK aber zur Implementierung und kontinuierlichen Weiterentwicklung eines geeigneten Notfallschutzkonzeptes erforderlich. Die RSK empfiehlt daher dem FRM-II entsprechend der diesbezüglichen Vorgaben der [REmp-NFM], ein Übungskonzept zu implementieren. Bestandteil dieses Konzeptes sollten auch mindestens jährliche anlageninterne Notfallschutzübungen sein, in die die gesamte Notfallorganisation des FRM-II eingebunden ist (anlageninterne Vollübungen). Ebenso sind in mindestens fünfjährigen Abständen die Katastrophenschutzbehörden in die Übungen einzubinden /E8/.

E8 Die RSK empfiehlt dem FRM-II, – in sinngemäßer Umsetzung der Vorgaben der [REmp-NFM] - ein Übungskonzept für Notfallschutzmaßnahmen zu implementieren. Bestandteil dieses Konzeptes sollten mindestens jährliche anlageninterne Notfallschutzübungen sein, in die die gesamte Notfallorganisation des FRM-II eingebunden ist (anlageninterne Vollübungen). Ebenso sind in mindestens fünfjährigen Abständen die Katastrophenschutzbehörden in die Übungen einzubinden.

Im vorliegenden NHB ist die Notfallmaßnahme „Beckenwassernotbespeisung/Kernnotentladung“ spezifiziert. Bei dieser Maßnahme stellt die Feuerwehr eine Schlauchverbindung zwischen den Wandhydranten in der Reaktorhalle und dem betroffenen Becken (Reaktorbecken oder Absetzbecken) her. Eine Stromversorgung ist dafür nicht notwendig, allerdings muss die Reaktorhalle betreten werden. Alternative Notfallmaßnahmen zur Beckenbespeisung, die keinen Zutritt zur Reaktorhalle erfordern, sind in Überlegung /E9/.

E9 Die RSK empfiehlt, eine Notfallmaßnahme zur Bespeisung des Reaktorbeckens und des Absetzbeckens zu definieren, deren Umsetzung weder einen Zugang zur Reaktorhalle noch die Verfügbarkeit der elektrischen Stromversorgung der Anlage erfordert. Die Maßnahme darf keine nachteilige Rückwirkung auf die sonstigen Funktionen der genutzten Systeme haben.

Angesichts der Tatsache, dass der FRM-II für die Aufrechterhaltung der vitalen Sicherheitsfunktionen keine Stromversorgung benötigt und unter Berücksichtigung der redundanten Drehstromversorgung des FRM-II über den 20-kV-Hauptverteilernezzring, den 20-kV-Notnezzring und die beiden Notstromdieselaggregate, sieht die RSK die Notfallmaßnahme „Zuschalten der 400-V-Notversorgung“ mit der Möglichkeit, einen mobilen Notfall-Notstromdieselgenerator über den zusätzlichen Einspeiseschalter anzuschließen, als ausreichend an, sofern der mobile Notfall-Notstromdieselgenerator für die Versorgung der 400-V-Notstromschienen vor den zu unterstellenden äußeren Einwirkungen ausreichend geschützt ist und der Anschluss an die Niederspannungsseite des Nottransformators auch nach den Einwirkungen abgesichert werden kann.

Bezüglich der Verfügbarkeit der Instrumentierung für die Reaktorparameter und die Radiologie bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen verweist der Betreiber auf die störfallfeste Auslegung für das

Bemessungserdbeben und den Flugzeugabsturz sowie auf die Tatsache, dass die radiologischen Parameter diversitär mit batterieversorgten Messgeräten erfasst werden können.

Zur Verfügbarkeit radiologischer Messgrößen sieht die RSK auch unter auslegungsüberschreitenden Bedingungen keinen weiteren Prüfbedarf.

Zur Verfügbarkeit der Störfallinstrumentierung ist die generische Empfehlung aus der Sicherheitsüberprüfung 2012 aus Sicht der RSK jedoch noch nicht vollständig umgesetzt. Eine Analyse der Verfügbarkeit der Störfallinstrumentierung unter auslegungsüberschreitenden Bedingungen ist der RSK nicht vorgelegt worden. Da die wirksame Durchführung von Notfallmaßnahmen von verlässlichen Informationen u. a. zu Beckenwassertemperatur und Beckenfüllstand abhängt, empfiehlt die RSK eine Analyse, welche Auswirkungen auslegungsüberschreitende Ereignisse wie bspw. ein Erdbeben mit einer Intensität von zwei Stufen über dem Bemessungserdbeben, anlageninterne Brände und Explosionen auf die Störfallinstrumentierung haben. Sofern bei den analysierten Einwirkungen die benötigten Informationen nicht für die Durchführung von Notfallmaßnahmen zur Verfügung stehen, sind geeignete Ersatzmaßnahmen zur Messwertbereitstellung vorzusehen /E10/.

E10 Die RSK empfiehlt eine Analyse, welche Auswirkungen auslegungsüberschreitende innere und äußere Ereignisse auf die Störfallinstrumentierung haben können. Sofern bei den analysierten Einwirkungen die benötigten Informationen nicht für die Durchführung von Notfallmaßnahmen zur Verfügung stehen, sind geeignete Ersatzmaßnahmen zur Messwertbereitstellung vorzusehen.

Der FRM-II verfügt über diversitäre und batteriegesicherte Einrichtungen für die Kommunikation im Notfall. Die Verfügbarkeit der Kommunikation über öffentliche Netze sollte durch eine Bevorrechtigung gemäß dem Post- und Telekommunikationssicherstellungsgesetz (PTSG) weiter abgesichert werden /E11/.

E11 Die RSK empfiehlt, für die Kommunikation über öffentliche Netze eine Bevorrechtigung gemäß PTSG zu beantragen.

Im Hinblick auf die Notfallmaßnahmen zur Begrenzung der Aktivitätsfreisetzung bei Kernschmelzen teilt die RSK die Ansicht des Betreibers, dass den Notfallmaßnahmen zur Einspeisung von Wasser in das Reaktorbecken und zum Gebäudeabschluss die höchste Priorität zukommt. Über die Empfehlung zur Qualifizierung der Notbespeisung des Reaktorbeckens hinaus (siehe dieses Kapitel weiter oben, Empfehlung E9) erkennt die RSK diesbezüglich keinen weiteren Handlungsbedarf.

Bei der Berücksichtigung erschwerender Randbedingungen für die Umsetzung von Notfallmaßnahmen als Folge äußerer Einwirkungen sieht die RSK über die Empfehlungen zur Noteinspeisung in das Reaktor- und Absetzbecken, zur Robustheit der Störfallinstrumentierung sowie zur bevorrechtigten Kommunikation gemäß PTSG (siehe dieses Kapitel weiter oben, Empfehlungen E9, E10, E11) und zur Notabschaltung des Reaktors (siehe Kapitel 5.2.3, /E12/) hinaus keinen weiteren Prüfbedarf, vorausgesetzt der mobile Notfall-Notstromdieselgenerator ist vor äußeren Einwirkungen ausreichend geschützt und der Anschluss an die

Niederspannungsseite des Nottransformators kann auch nach den zu unterstellenden Einwirkungen abgesichert werden.

5.2 Erdbeben

5.2.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

„Bezüglich der Auswirkungen von erhöhten Erdbebenwirkungen auf die Anlage stellt der Betreiber fest, dass die Einhaltung der Schutzziele auch bei einem auslegungsüberschreitenden Erdbeben sichergestellt ist: er geht davon aus, dass die Abschaltung auch bei einem auslegungsüberschreitenden Erdbeben funktioniert, und für die Nachwärmeabfuhr die passiven Einrichtungen soweit zur Verfügung stehen, dass die Kühlung des Kerns weiterhin sichergestellt ist. Ein relevanter Beckenwasserverlust sei auch bei einem Erdbeben der Intensität VIII (MSK) nicht zu unterstellen.“

„Die RSK sieht es anhand der Aussagen des Betreibers als möglich an, dass Bewertungskriterien des Levels 1 und ggf. 2 erfüllt werden können. Die mögliche Erfüllung des Levels hängt von der Vorlage zusätzlicher Nachweise und deren Bestätigung ab.“

5.2.2 Umsetzung

Für den Robustheitslevel 2 ist zu zeigen, dass im Falle eines Erdbebens der Intensität $I^{13}+2$ die vitalen Sicherheitsfunktionen sichergestellt sind (dabei können Notfallmaßnahmen berücksichtigt werden) oder dass die radiologischen Auswirkungen unterhalb der Werte sind, die Katastrophenschutzmaßnahmen erfordern [RSK-SÜ-FR].

Für den FRM-II bedeutet dies, dass für ein Erdbeben der Intensität $I+2$ zu zeigen ist, dass der Reaktor abgeschaltet werden kann und dass die ausreichende Kühlung des Brennelementes im Reaktor und der abgebrannten Brennelemente im Absetzbecken sichergestellt ist. Die Kühlung der Brennelemente ist gegeben, wenn eine ausreichende Wasserüberdeckung durch den Erhalt des Beckenwassereinschlusses gegeben ist. Dies erfordert **a)** den Erhalt der Integrität der Beckenstruktur einschließlich der Strahlrohre und der Rohrsammeldurchführungen und **b)** wirksame anlagentechnische Maßnahmen zur Vermeidung des Auslaufens und des Leerhebers der Becken über die in den Becken angeordneten systemtechnischen Einrichtungen.

Das StMUV beauftragte den TÜV SÜD mit Analysen zur möglichen Erfüllung des Robustheitslevels 2 des FRM-II bei auslegungsüberschreitendem Erdbeben [FRM-01]. Die Stangenberg und Partner Ingenieur-GmbH (SPI) wurde per Unterauftrag vom TÜV Süd in die Analysen einbezogen.

¹³ I = Intensität des Bemessungserdbebens für den FRM-II: VI ½ (MSK),

Zu a)

Die Sachverständigen zeigen zunächst in ihrer Studie [FRM-08], [FRM-09], [FRM-10], dass bei den vorliegenden Baugrundverhältnissen im Falle eines Erdbebens der Intensität I+2 keine Bodenverflüssigung zu besorgen und die Standsicherheit des Gebäudes nicht gefährdet ist.

Ausgehend von den ermittelten Bodenkennwerten und unter Berücksichtigung der Bauwerk-Boden-Wechselwirkung wurden statische und dynamische Analysen zu den Beanspruchungen der Betonstrukturen durchgeführt. Außerdem wurden die Etagenantwortspektren für die Einbauorte der systemtechnischen Komponenten mit Barrierefunktion gegen Wasserverlust aus dem Becken ermittelt und darauf aufsetzend die resultierenden Spannungen in diesen Komponenten berechnet [FRM-10].

Zu b)

Zur Vermeidung des Auslaufens des Beckenwassers werden Rohrleitungen entweder über den Beckenrand geführt oder verlaufen in Rohrdurchführungen in der Beckenwand oberhalb der Oberkante der Brennelemente. Ferner verfügen die betreffenden systemtechnischen Einrichtungen über eingebaute Siphonbrecher, die im Anforderungsfall die Strömung in der betreffenden Rohrleitung unterbrechen.

Das Moderator-Zwischenkühlsystem ist darüber hinaus mit sogenannten Flugzeugabsturzklappen (FZA-Armaturen) ausgerüstet, die bei einem Absinken des Beckenwasserspiegels unter einen festgelegten Mindestwert automatisch schließen und so den weiteren Wasseraustritt aus den Reaktorbecken unterbrechen [FRM-10], falls es in Folge einer Einwirkung (bspw. eines Flugzeugabsturzes) zu einer Strömungsverbindung zwischen Reaktorbecken und Moderatortank kommt und sich gleichzeitig das Moderatorsystem über eine weitere Leckage in die Kellerräume entleeren würde.

Auf der Grundlage von **a)** und **b)** kommen die Sachverständigen zu der Auffassung, dass die Integrität der Betonstrukturen der Beckengruppe auch bei einem Erdbeben der Intensität I+2 erhalten bleibt, dass die Komponenten mit Barrierefunktion gegen Wasserverlust aus dem Becken, einschließlich der Strahlrohre, intakt bleiben und dass die Vorrichtungen gegen Auslaufen und Leerhebern wirksam sind [FRM-09].

In ihrer Nachricht vom 28.11.2016 [FRM-20] teilt das StMUV mit, dass es auf der Grundlage der gutachtlichen Stellungnahmen des TÜV SÜD und der SPI den von der RSK geforderten Nachweis für die Erfüllung des Levels 2 in Bezug auf die Integrität der Beckengruppe (Primärzelle, Reaktorbecken und Absetzbecken) bei einem auslegungüberschreitenden Erdbeben bestätigt.

Bei Stromausfall in Folge eines Erdbebens klinken die Magnethalterungen des zentralen Regelstabs und der Abschaltstäbe aus und die Stäbe fallen ein (Details siehe 5.1.2 unter: Berücksichtigung erschwerender Randbedingungen bei der Umsetzung von Notfallmaßnahmen). Der Regelstab kann den Kern allein langfristig unterkritisch halten; diversitär sind dafür 4 der 5 Abschaltstäbe im Moderatortank notwendig. Die Magnethalterungen und die Stäbe seien für das Bemessungserdbeben der Intensität $I = VI \frac{1}{2}$ ausgelegt.

Der Vertreter des StMUV erklärt, dass vom Gutachter nicht geprüft worden sei, ob die Abschaltfähigkeit bei einem auslegungüberschreitenden Erdbeben erhalten bleibt.

Sollte auf Grund der auslegungüberschreitenden Erdbebeneinwirkung weder der Regelstab noch eine ausreichende Anzahl von Abschaltstäben einfallen, bliebe der Kern zunächst kritisch, sofern nicht durch andere Schäden ein Reaktivitätsverlust eintritt. Sollte bei dem Ereignis bspw. eine Strömungsverbindung zwischen Moderatortank und Reaktorbecken entstehen, vermischen sich Schwer- und Leichtwasser und der Reaktor wird unterkritisch.

Langzeitunterkritikalität kann grundsätzlich durch die Notfallmaßnahme „Moderatorablass“ sichergestellt werden. Der Ablass des Moderators dauert etwa 8 Stunden und setzt die Verfügbarkeit des Krans einschließlich einer ausreichenden Drehstromversorgung für den Betrieb des Krans voraus.

Eine Notfallmaßnahme zur Borierung des Beckenwassers alternativ zum Ablassen des Moderatortanks ist bislang nicht vorgesehen.

5.2.3 Bewertung der RSK

Die RSK schließt sich der Auffassung des StMUV an, wonach mit den Ergebnissen der vom TÜV Süd und SPI durchgeführten Analysen der Nachweis geführt wurde, dass bei einem auslegungüberschreitenden Erdbeben der Intensität I+2 keine nicht-überspeisbaren Leckagen am Reaktor- und am Absetzbecken zu besorgen sind und dass der FRM-II diesbezüglich den Robustheitslevel 2 erfüllt.

Ein äquivalenter Nachweis für den Erhalt der Abschaltfähigkeit des Kerns liegt der RSK nicht vor. Nach Ansicht der RSK ist nicht auszuschließen, dass bei einem Erdbeben der Intensität I+2 die Herbeiführung bzw. Aufrechterhaltung der langfristigen Unterkritikalität (Zustand kalt, Xenon frei) versagt (gleichzeitiges Blockieren des Regelstabs und von mehr als einem Abschaltstab). Je nach Verfügbarkeit der primären Kernkühlung, der Notkühlung und der Kühlung durch Naturumlauf sind Szenarien nicht ausgeschlossen, bei denen der Kern kritisch bleibt oder mehrfach rekritisch wird oder bei denen der Kern vollständig unter Wasser schmilzt (ausführlichere Betrachtungen sind im Protokoll der 5. Sitzung der Arbeitsgruppe zu finden [EP_RAFR5]). Bei Szenarien mit vollständiger oder partieller Kernschmelze ist wahrscheinlich, dass der Kern dadurch unterkritisch wird. Der TÜV Süd stellt in seinem Vermerk [FRM-15] fest, dass der Erhalt der Wasserüberdeckung des Kerns auch bei einer postulierten Kernschmelze mit Dampfexplosion nicht gefährdet sei. Bei der vollständigen Schmelze des Brennelementes unter Wasser wird nach grober Abschätzung (siehe Kap. 5.1.2 unter: Notfallmaßnahmen zur Begrenzung der Aktivitätsfreisetzung bei Kernschmelze) der Störfallplanungswert von 50 mSv gemäß §50 StrlSchV in Verbindung mit §117 Absatz 16 StrlSchV eingehalten.

Die Notfallmaßnahme „Moderatorablass“ bei Versagen der Reaktorabschaltung aber noch intaktem Kern erfordert den Hallenkran und dauert ca. 8 Stunden. Daher steht keine Notfallmaßnahme zur Abschaltung des Reaktorkerns zur Verfügung, die keine umfangreicheren Maßnahmen erfordert. Eine solche Notfallmaßnahme sollte entwickelt werden /E12/.

E12 Die RSK empfiehlt, eine weitere Notfallmaßnahme zur Reaktorabschaltung (neben dem Ablass des Moderatortanks) zu entwickeln und einzuführen, um Kritikalität oder

unkontrollierte Rekritikalität nach dem gleichzeitigen mechanischen Blockieren des Regelstabs und von mehr als einem Abschaltstab möglichst frühzeitig zu verhindern.

5.3 Vorsorgemaßnahmen

5.3.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

- „VM zur Verhinderung raumübergreifender Brände...

Hinsichtlich der Robustheit der Anlage gegenüber anlageninternen Brandszenarien, bei denen die Integrität des Reaktor- und Umsetzbeckens (z. B. Dichtheit der Strahlrohre) betroffen sein könnte, sind in den Unterlagen keine Angaben enthalten. Diese Brände könnten Rückwirkungen auf die baulichen Einrichtungen sowie die Barrieren der Strahlrohreinheiten haben.“

- „VM zur Verhinderung des Integritätsverlustes von Reaktor- und BE-Lagerbecken

Auch wenn in den Unterlagen des Betreibers ausgewiesen ist, dass beim Transport von schweren Lasten im Beckenbereich die Anlage vorsorglich abgeschaltet wird, reichen die vorgelegten Unterlagen insgesamt nicht aus, um eine Level-Einstufung vornehmen zu können.“

„Zu Auswirkungen aus dem Versagen von Vorsorgemaßnahmen gegen anlageninterne Explosionen durch das im Moderatorsystem bei Betrieb gebildete Radiolysegas, durch das in der Kalten Neutronenquelle vorhandene D₂ oder aus dem heißen Graphit-Kern (ca. 2.600 K) der Heißen Neutronenquelle sind in den Unterlagen des Betreibers keine Angaben enthalten. Eine Bewertung bedarf der Vorlage zusätzlicher Informationen.“

5.3.2 Umsetzung

Mögliche Auswirkungen anlageninterner Brände auf die Integrität des Reaktor- und Absetzbeckens und der Strahlrohre

Der Betreiber und der Sachverständige vom TÜV Süd stellen dar [FRM-16], dass raumübergreifende Brände mit der Folge einer Gefährdung der Integrität der Betonstrukturen der Becken nicht zu besorgen seien, da die Betonstrukturen nicht brennbar sind und eine schlechte Wärmeleitung besitzen.

Die Strahlrohreinheiten im Reaktorbecken sind mit Wasser überdeckt, die Strahlrohr-Abschirmstopfen aus Stahl mit Schwerbeton gefüllt und die Strahlrohrabschlussplatten in der Experimentierhalle aus radiologischen Gründen vollständig mit Abschirmburgen aus Stahl/Beton in Nischen verbaut, die die Brandeinwirkung auf das Strahlrohr weitgehend mindern. Auf der Grundlage dieser Plausibilitätsbetrachtungen sehen der Betreiber und der Sachverständige keine Gefährdung der Beckenwasserfüllstände durch den Verlust der Strahlrohrintegrität bei einem Brand. Dennoch sei eine

Nachverfolgung möglicher Brandlasten in der Experimentierhalle in Form von Listen vorgesehen. Im bei Betrieb unzugänglichen Neutronenleitertunnel des Strahlrohres SR1 gäbe es keinerlei brennbares Material [FRM-01].

Ferner wird auf die Sprinkleranlage in der Experimentierhalle hingewiesen. Zudem sei die Experimentierhalle über die LKW-Schleuse für einen Feuerwehreinsatz gut zugänglich.

Vorsorgemaßnahmen gegen Lastabsturz in das Reaktorbecken

Die Handhabung von Lasten in der Reaktorhalle des FRM-II ist im BHB [FRM-17] geregelt. Daraus ergibt sich folgender Sachverhalt.

Der Hallenkran verfügt über einen Haupthub mit einer Tragfähigkeit von 20 t und einen Hilfshub mit einer Tragfähigkeit von 3,2 t. Der Kran und die Lastkette sind nach KTA 3902 [KTA 3902] ausgelegt. Haupt- und Hilfshub können für die Handhabung von Lasten im Bereich des Reaktorbeckens und im Reaktorbecken eingesetzt werden. Dabei gelten folgende Einschränkungen:

- Während des Reaktorbetriebs dürfen im Bereich des Reaktorbeckens nur Lasten bis maximal 80 kg bewegt werden. Die Handhabung größerer Lasten bei Betrieb bedarf der Zustimmung durch die Aufsichtsbehörde.
- Bei Verwendung von Anschlagmitteln und Anschlagpunkten, die nach KTA 3902 ausgelegt sind, bestehen für den Transport von Lasten außerhalb des Reaktorbeckens und außerhalb des Bereichs der Bodenkanäle mit Leitungen für die Kalte und die Heiße Neutronenquelle keine weiteren Einschränkungen.
- Bei der Handhabung von Lasten bis 80 kg innerhalb des Reaktorbeckens müssen der Reaktor abgeschaltet und die Nachwärme abgeführt sein (d. h. es ist nicht mehr erforderlich, den Kern aktiv nachzukühlen). Außerdem muss entweder das Deuterium aus der Kalten Quelle ausgelagert sein oder Beschädigungen der Kalten Quelle müssen durch besondere Maßnahmen ausgeschlossen sein.
- Sofern die Lasten im Becken 80 kg überschreiten, müssen zuvor das Brennelement aus dem Zentralkanal ausgebaut und das Deuterium der Kalten Quelle ausgelagert worden sein.

Die Maßnahmen zur Lastbegrenzung stützen sich mit Ausnahme des Brennelementtransports allein auf administrative Regelungen ab.

Bei einem Brennelement-Transport sind Hub- und Fahrbewegungen nur mit Schleichgeschwindigkeit möglich. Eine Positionierhilfe für den BE-Transport ist installiert. Die Positionierhilfe lässt nur Bewegungen innerhalb des vorgegebenen Fahrbereichs zu.

Nach den Ausführungen des Betreibers [EP_RAFR3] ist der Transportbehälter für abgebrannte Brennelemente (18 t) die schwerste Last, die mit dem Kran über dem Becken gehandhabt wird. Der Behälter

wird ausschließlich an eine dafür vorgesehene Beladeposition im Absetzbecken gefahren und nicht im oder über dem Reaktorbecken bewegt.

Der Boden des Absetzbeckens hat insgesamt eine Dicke von 130 cm. Im Bereich des Abstellplatzes für den Transportbehälter CASTOR MTR2 ist der Boden zusätzlich durch eine Stahlplatte geschützt. Zum Absturz des Transportbehälters (CASTOR MTR2, ca. 18 t) im Bereich des Abstellplatzes liegt ein Gutachten des TÜV SÜD [FRM-18] vor. Nach Auffassung des Sachverständigen belegen die Untersuchungen, dass bei einer Wasserüberdeckung des Beckenbodens von 4,2 m nicht mit Schäden an der Bodenkonstruktion zu rechnen ist, die zum Wasserverlust aus dem Absetzbecken führen.

Zusätzlich wurde vom Betreiber ein Lastabsturz auf die abgebrannten Brennelemente im Lagergestell untersucht [EP_RAFR4]. Dabei sei unterstellt worden, dass alle Brennelemente im Absetzbecken beschädigt werden und das gesamte flüchtige radioaktive Inventar mobilisiert wird. Bei konservativer Berechnung ergäbe sich eine Freisetzung von ca. $2 \cdot 10^{16}$ Bq in die Raumluft der Reaktorhalle. Der Wert liegt unterhalb des Auslegungswerts ($2,7 \cdot 10^{16}$ Bq). Der Auslegungswert ergibt sich aus der Annahme, dass 15 der 113 Brennelementplatten des aktiven Brennelements am Zyklusende unter Wasser schmelzen (siehe auch 5.1.2 unter Notfallmaßnahmen zur Begrenzung der Aktivitätsfreisetzung bei Kernschmelze).

Der Betreiber hält es auf Grund des konstruktiven Schutzes nicht für plausibel, dass der Absturz einer Last bis 80 kg zur Beschädigung des Brennelements führt. Er bemerkt zudem, dass ein unterstellter Absturz einer „schmalen“, schweren Last im Bereich zwischen Beckenwand und Moderator tank zur Beschädigung des Kompensatorrohres (aus Aluminium) eines Strahlrohres führen könnte. Allerdings sei es nicht vorstellbar, dass die außen am Beckenpolygon liegende 2. Barriere (Strahlrohrabschlussplatte mit Strahlrohrfenster) beeinträchtigt würde. Ein Beckenwasserverlust sei deshalb nicht zu unterstellen.

Der Vertreter des TÜV Süd ist der Auffassung, dass lediglich sehr schwere Lasten ggf. in der Lage wären, die Rohre im Becken oder die Naturumlaufklappen so stark zu beschädigen, dass der Naturumlauf blockiert wird. Diesbezüglich verweist der TÜV Süd im Sinne abdeckender Betrachtungen [FRM-15] darauf, dass im Rahmen der 3. Teilgenehmigung Analysen zu einem auslegungsüberschreitenden Ereignis mit Ausfall der Kernkühlung, Kernschmelze und Dampffexplosion durchgeführt worden sind. Diese Analysen hätten gezeigt, dass die Auswirkungen der Dampffexplosion die Integrität des Zentralkanals nicht gefährdeten. Auswirkungen auf die Kalte und Heiße Neutronenquelle und nachfolgende D₂-Explosionen, die zum Verlust der Beckenintegrität führen könnten, seien deshalb auszuschließen. Der Erhalt der Wasserüberdeckung des Kerns bzw. die Rückhaltung des radioaktiven Inventars blieben damit auch bei einer postulierten Kernschmelze sichergestellt. Dieses Szenarium ist nach Ansicht des TÜV auch für das Ereignis „Ausfall Naturumlauf“ abdeckend.

Bezüglich der radiologischen Auswirkungen ist auf die Abschätzungen des Betreibers zum vollständigen Schmelzen des Brennelementes unter Wasser zu verweisen (siehe auch 5.1.2 unter Notfallmaßnahmen zur Begrenzung der Aktivitätsfreisetzung bei Kernschmelze). Danach ergibt sich eine maximale effektive Dosis von etwa 20,3 mSv. Dies liegt unterhalb des Störfallplanungswertes der Strahlenschutzverordnung. Der Eingreifrichtwert für den Aufenthalt in Gebäuden würde allerdings überschritten.

Analysen zur Beeinträchtigung der Reaktorabschaltung durch Lastabsturz sind der RSK nicht vorgelegt worden. Hierzu erklärt der Betreiber [EP_RAFR5], dass nach seiner Meinung eine Beschädigung der Abschaltstäbe im Moderatortank durch eine abstürzende Last nur möglich sei, wenn auch die Stützen der Abschaltstäbe am Moderatortank selbst beschädigt würden und demzufolge der Moderatortank undicht wird. Dadurch vermische sich das D₂O im Moderatortank mit dem Beckenwasser und der Reaktor würde auf Grund des Mangels an thermischen Neutronen unterkritisch.

Vorsorgemaßnahmen gegen anlageninterne Explosionen

Der Betreiber verweist auf die Stellungnahmen des TÜV SÜD, in denen die Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung interner Explosionen sicherheitstechnisch als ausreichend bewertet worden seien [FRM-16], [FRM-19]. Diese Bewertungen würden durch die Ergebnisse aus der Inbetriebsetzung und die Betriebserfahrung bestätigt. In diesen Stellungnahmen wurden als mögliche Ursachen für die Bildung von molekularem Deuterium Radiolysegas in den D₂O-führenden Systemen, das D₂-Inventar der Kalten Neutronenquelle (KQ) und die Erzeugung von D₂ am heißen Graphit der Heißen Neutronenquelle (HQ) bei Kontakt mit Moderatorwasser betrachtet.

Zur Vermeidung der Bildung explosionsfähiger Gemische und von Zündquellen sei folgende Vorsorge wirksam [EP_RAFR3]:

1. Erdung der Komponenten und explosionsgeschützte Ausführung elektrischer Betriebsmittel,
2. Absicherung aller Systeme, die D₂ führen (können), durch Schutzgasräume mit Absaugeinrichtungen,
3. Rekombination von D₂-O₂-Gemischen,
4. permanente Konzentrationsüberwachung mit Reaktorabschaltung bei Grenzwertüberschreitung und nachfolgendem Gasaustausch.

Zudem seien mögliche Leckagen des Moderatorsystems in Folge des Tritiumgehalts empfindlich und schnell detektierbar.

Die KQ besteht aus zwei ineinander liegenden Behältern [FRM-15]. Der innere Behälter ist mit D₂ gefüllt (ca. 12 bis 15 Liter). Der Zwischenraum ist vakuumisoliert. Das D₂ der KQ wird durch den Vakuumraum, das Schwerwasser, das Schutzgas des Moderatortanks und das Beckenwasser vom Luftsauerstoff getrennt.

Das heiße Graphit der HQ wird durch zwei passive Barrieren vom D₂O getrennt. Insofern schließt der TÜV SÜD den Kontakt von heißem Graphit und D₂O aus [FRM-16]. Zudem werde die Bildung zündfähiger Gemische mit dem Schutzgassystem verhindert.

Im Zuge der Robustheitsbetrachtungen sind Untersuchungen zu den resultierenden Drücken und zu den Auswirkungen auf die Becken und die Einbauten bei der Explosion von D₂ aus den verschiedenen Quellen durchgeführt worden [FRM-16], [FRM-19]. Im Ergebnis wird festgestellt, dass der Erhalt der Wasserüberdeckung bei allen zu betrachtenden Fällen sichergestellt ist.

5.3.3 Bewertung der RSK

Die Darstellungen des Betreibers und des Sachverständigen, wonach ein Beckenwasserverlust bei anlageninternen Bränden wegen des baulichen Schutzes der Strahlrohre, der Reduktion der Brandlasten und der möglichen Brandbekämpfungsmaßnahmen nicht zu besorgen sei, ist aus Sicht der RSK nachvollziehbar. Weiterer Prüfbedarf wird nicht gesehen.

In Bezug auf den Lastabsturz des Transportbehälters für abgebrannte Brennelemente auf den Abstellplatz im Absetzbecken bzw. auf die abgebrannten Brennelemente im Absetzbecken sieht die RSK die Analysen des TÜV Süd und des Betreibers als ausreichend an.

Wegen des administrativen Charakters der Vorsorgemaßnahmen zur Lastbegrenzung im Bereich des Reaktorbeckens ist nach Ansicht der RSK nicht auszuschließen, dass auch Lasten über 80 kg über dem Reaktorbecken bei Betrieb oder bei Nachzerfallswärmeabfuhr durch Naturumlauf gehandhabt werden. Insofern kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass das Brennelement selbst beschädigt oder dass die Kühlung beeinträchtigt wird. Der Nachweis, dass der Absturz von Lasten bis 80 kg nicht zur Beschädigung des Brennelementes oder zur Beeinträchtigung der Kühlung führt, wurde der RSK nicht vorgelegt. Die RSK schließt sich aber der Auffassung des TÜV Süd an, dass Schäden am Brennelement oder Beeinträchtigungen der Kühlung in Folge eines Lastabsturzes durch das postulierte Ereignis Kernschmelze mit Dampfexplosion abgedeckt ist, das im Rahmen der 3. Teilgenehmigung des FRM-II analysiert worden ist.

Weiterer Prüfbedarf wird nicht gesehen.

Der Nachweis, dass die Reaktorabschaltung durch den Lastabsturz nicht beeinträchtigt wird, wurde der RSK nicht vorgelegt. Würden durch einen Lastabsturz bei laufender Anlage der Zentralkanal und gleichzeitig zwei oder mehr Abschaltstäbe beschädigt, so dass der zentrale Regelstab nicht mehr einfallen kann und die Anzahl der verbleibenden Abschaltstäbe nicht mehr ausreicht, um den Kern abzuschalten und dauerhaft unterkritisch zu halten, ist als Notfallmaßnahme der Ablass des Moderator tanks vorgesehen. Diese Maßnahme dauert etwa 8 Stunden und erfordert die Verfügbarkeit des Hallenkrans und der Anschlagmittel, deren Versagen für den Lastabsturz ursächlich sein könnte. Mit der Einführung einer zusätzlichen Notfallmaßnahme zur Reaktorabschaltung in das Reaktorbecken (siehe /E12/) ist nach Auffassung der RSK auch dem unterstellten Abschaltversagen bei Lastabsturz ausreichend Rechnung getragen.

Zur Gefährdung der Integrität der Becken durch Explosion von D_2 aus der Radiolyse im Moderator tank bzw. aus dem Versagen der Kalten und Heißen Neutronenquelle sieht die RSK über die vorgestellten Analysen hinaus keinen weiteren Prüfbedarf.

6 Forschungsreaktor Mainz (FR-Mz)

6.1 Notfallmaßnahmen

6.1.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

Generische Empfehlungen: siehe 4.1.1.

Spezifische Empfehlungen zum FR-Mz

„Im Bericht des Betreibers wird auf die Durchführbarkeit, Vollständigkeit und Wirksamkeit der aufgeführten Notfallmaßnahmen auch unter den Randbedingungen äußerer Einwirkungen eingegangen. Die Aussagen beschränken sich im Wesentlichen aber auf lokale Strahlenschutzaspekte.“

„Die RSK sieht es unter dem Gesichtspunkt einer Risikominimierung als erforderlich an, dass im Rahmen des atomrechtlichen Aufsichtsverfahrens eine Überprüfung des Notfallschutzkonzepts entsprechend der generischen Bewertung mit Bezug zu Kap. 5.1 vorgenommen wird.“

6.1.2 Umsetzung

Überarbeitung des Notfallschutzkonzepts in Anlehnung an die Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen und Einrichtung einer Krisenstabsorganisation

Nach Information der Behörde (MWKEL¹⁴) [Mz-01] werden auch beim abdeckenden Notstandsszenario “Flugzeugabsturz mit anschließendem Kerosinbrand“ die Eingreifrichtwerte für den Katastrophenschutz in der Nähe kerntechnischer Anlagen [Mz-02] deutlich unterschritten. Zudem blieben wegen der inhärenten Sicherheit des FR-Mz die vitalen Sicherheitsfunktionen auch bei lang andauerndem Notstromfall, SBO und vollständigem Ausfall des Kühlwassers erhalten. Am FR-Mz sei deshalb bereits früher anstelle der üblichen Planung für Notfall- und Katastrophenschutzmaßnahmen ein spezifisches Krisenmanagement eingeführt worden. Die Aufgaben des Notfallmanagements werden am FR-Mz durch das Krisenmanagement wahrgenommen.

Im Nachgang zur Sicherheitsüberprüfung im Jahre 2012 sei das Krisenmanagement für den FR-Mz mehrfach (2013 und 2015) überarbeitet worden.

Im Zuge der Überarbeitung des Krisenmanagements wurden zwei neue Planstellen geschaffen und besetzt: eine Stelle zur Verstärkung des Strahlenschutzes sowie je eine halbe Stelle im kerntechnischen Sicherheitsbereich (KSB) und im Objektschutzbereich (OSB) [Mz-07].

Die Überarbeitung auf den Stand 2015 [Mz-05], [Mz-06] sei erfolgt, um die Verzahnung der beiden Krisenstäbe (intern und extern) zu verbessern, der neuen Personalsituation im Reaktorbereich Rechnung zu tragen und die Einsatzleitung des internen Krisenstabs auf Fachebene zu besetzen. Die letzten Entwürfe der

¹⁴ Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung, Rheinland-Pfalz

überarbeiteten Alarmordnung [Mz-05] und des Krisenmanagementhandbuchs [Mz-06] befänden sich in der Prüfung durch die Aufsichtsbehörde.

Der Entwurf des Krisenmanagementhandbuchs aus dem Jahr 2015 [Mz-06] regelt u. a. die Krisenstabsorganisation, die Aufgaben des internen und des externen Krisenstabs, die interne und externe Alarmierung und Kommunikation, die Lageanalyse und Lagedarstellung, sowie die notwendigen Qualifikationen, Schulungen und Übungen. Das Krisenmanagementhandbuch aus dem Jahre 2013 [Mz-03] enthält zudem Vorgaben für die technische und räumliche Ausstattung der Krisenstabsorganisation.

Das Krisenmanagement deckt gemäß [Mz-06] die Fälle (1) Erdbeben und ähnliche Naturkatastrophen, (2) Flugzeugabsturz auf den FR-Mz und (3) Sabotage, Anschläge, Bombendrohungen ab. Alle sonstigen Gefahrensituationen, die sich örtlich auf den FR-Mz beschränken, werden durch das Betriebshandbuch Teil 1, Kap. 7, „Alarmordnung TRIGA Mainz“ [Mz-05] erfasst. Dazu gehören u. a. der interne Brand, erhöhte Strahlungspegel und Aktivität sowie technische Störfälle (bspw. reduzierter Wasserstand im Reaktortank).

Die Organisation des Krisenmanagements setzt sich dem Entwurf des Krisenmanagementhandbuchs [Mz-03], [Mz-06] zufolge aus dem internen Krisenstab des FR-Mz und dem externen Krisenstab der Johannes-Gutenberg-Universität zusammen.

Die städtische Feuerwehr befindet sich in nur 1,3 km Entfernung vom Campus der Universität und besucht regelmäßig Kurse am FR-Mz. Insofern verfügt sie über eine gute Ortskenntnis am FR-Mz.

Nach dem neuen Konzept ist auch geplant, regelmäßig Übungen durchzuführen. Jährlich sollen Schulungen und Tests der telefonischen Alarmierungskette für die am FR-Mz tätigen Mitarbeiter im Rahmen der Sicherheitsunterweisungen durchgeführt werden. Hierfür ist der Kerntechnische Sicherheitsbeauftragte verantwortlich. Alle drei Jahre sollen in Abstimmung mit der atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde praktische Übungen unter Einbeziehung von Feuerwehr und Rettungskräften abgehalten werden [Mz-06].

In ihrem Bericht [Mz-01] kommt die Aufsichtsbehörde zu dem Ergebnis, dass bei der Überarbeitung des Krisenmanagementkonzepts für den FR-Mz den Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen [REmp-NFM] angesichts der Tatsache, dass die potenziellen Unfallfolgen im Vergleich zu einem Leistungsreaktor gering seien, angemessen Rechnung getragen worden sei. Sie kommt ferner zu dem Schluss, dass das Krisenmanagement geeignet sei, die Auswirkungen auf die Umgebung nach einem Flugzeugabsturz auf den Forschungsreaktor zu verringern. Demzufolge sei das Krisenmanagement auch geeignet, Auswirkungen unterhalb derer bei einem Flugzeugabsturz zu begegnen.

Verankerung der Notfallmaßnahmen als Teil der Wartendokumentation und Übergang vom BHB in das NHB

Wegen der inhärenten Sicherheitseigenschaften des FR-Mz sind Notfallmaßnahmen zur Erhaltung vitaler sicherheitstechnischer Funktionen nach Auffassung des Betreibers nicht erforderlich. Der Erhalt der vitalen

Sicherheitsfunktionen erfordere weder aktive, stromversorgte technische Systeme, noch Wasser, noch den Einsatz von Personal.

Demzufolge sei es auch nicht notwendig, Notfallmaßnahmen zu definieren, Karenzzeiten für das Einleiten von Notfallmaßnahmen bzw. von Notstandsmaßnahmen festzulegen und Grenzwerte für das Auslösen von Notfallmaßnahmen vorzugeben.

Der Notfallschutz für den FR-Mz sei mit der Alarmordnung [Mz-05] und dem Krisenmanagementhandbuch [Mz-06] angemessen im Betriebsreglement verankert. Die Kriterien für die Aktivierung der Alarmordnung bzw. des Krisenmanagements seien spezifiziert.

Krisenmanagement:

- (1) Erdbeben und ähnliche Naturkatastrophen,
- (2) Flugzeugabsturz,
- (3) Sabotage, Anschläge, Bombendrohungen.

Alarmordnung:

- (1) Brand,
- (2) erhöhte Strahlungspegel und Aktivität,
- (3) Einbruch- und Sabotagealarm,
- (4) technische Störfälle.

Bei einem Brand seien die zu ergreifenden Maßnahmen in der Brandschutzordnung geregelt. Die Brandschutzordnung sei ebenfalls überarbeitet worden.

Notfallmaßnahmen zur Abdichtung und Bespeisung des Reaktortanks

Der Betreiber stellt fest, dass nach Abschaltung des Reaktors eine Wasserkühlung der Brennelemente nicht erforderlich sei. Bei Abfall des Wasserstandes in den Kernbereich werde der Reaktor unterkritisch. Als diversitäre Kühlung sei die Kühlung an Luft zu betrachten. Gemäß dem Sicherheitsbericht¹⁵ ergebe sich, ausgehend von der Volllleistung mit 100 kW bei einem schlagartigen Kühlwasserverlust eine maximale Brennstofftemperatur von ca. 250 °C. Bei zusätzlich unterstelltem Wegfall der Luftkonvektion erhöhe sich der Wert auf maximal 300 °C. Dies liegt weit unterhalb der Schmelzpunkte der verwendeten Hüllrohrmaterialien Aluminium und Edelstahl (Aluminium 660 °C, Edelstahl 1500 °C). Demzufolge könne die Nachwärme allein durch Luftkühlung abgeführt werden.

Unabhängig davon gebe es Möglichkeiten, Wasser bspw. mit Maßnahmen der Feuerwehr in den Reaktortank einzuspeisen. Dazu müssten ggf. gefährdete Raumbereiche betreten werden. Maßnahmen zur Abdichtung des Reaktortanks sind der RSK-Arbeitsgruppe nicht vorgestellt worden.

¹⁵ aus [Mz-04]: Institut für Anorganische Chemie und Kernchemie der Johannes GutenbergUniversität Mainz, Sicherheitsbericht TRIGA Mark II Kernreaktor mit Pulseinrichtung, Anhang I, März 1962

Notfallmaßnahmen zur Wiederherstellung einer Drehstromversorgung

Da eine Stromversorgung weder für die sichere Abschaltung noch für die Notkühlung erforderlich ist, sind keine Notfallmaßnahmen zur Wiederherstellung der Drehstromversorgung geplant.

Der Betreiber erklärt, dass Notfall-Notstromdieselegeneratoren bei Eintritt der Krisenfälle (Naturkatastrophen, Flugzeugabsturz, Sabotage/Anschläge) jedoch für die elektrische Versorgung der Reaktorinstrumentierung und der Strahlenschutzmesstechnik benötigt werden könnten. Solche Generatoren stünden beim Technischen Hilfswerk und der Feuerwehr zur Verfügung. Vertragliche Vereinbarungen zur Bereitstellung dieser Geräte bestünden nicht.

Robustheit der Störfallinstrumentierung und Notfallmaßnahmen zur Überwachung der Reaktorparameter und der radiologischen Situation

Systematische Analysen zur Robustheit der Störfallinstrumentierung und Notfallmaßnahmen zur Überwachung der Reaktorparameter und der radiologischen Situation sind der RSK-Arbeitsgruppe nicht vorgestellt worden. Allerdings wurde darauf hingewiesen, dass mobile Notstromgeneratoren für die Versorgung der Instrumentierung bereitgestellt werden könnten (siehe voriger Absatz). Zudem hat der Sachverständige bestätigt, dass die Auswirkungen von Explosionen des Wasserstoffs und Deuteriums in der ultrakalten Neutronenquelle auf die inneren Einrichtungen der Quelle beschränkt blieben (siehe Kap. 6.6 Vorsorgemaßnahmen). Der Ergebnisbericht der Behörde [Mz-01] geht auf die Robustheit der Instrumentierung und der Strahlenschutzmesstechnik nicht ein.

Notfallmaßnahmen zur Begrenzung der Aktivitätsfreisetzung bei Kernschmelzen

Eine Kernschmelze ist am FR-Mz auch bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen nicht zu unterstellen, da die Brennelemente ohne Wasserüberdeckung an Luft ausreichend gekühlt werden können. Auch bei einem Flugzeugabsturz mit Kerosinbrand tritt keine Kernschmelze ein.

Berücksichtigung erschwerender Randbedingungen bei der Umsetzung von Notfallmaßnahmen

Der Betreiber hält fest, dass zur Überführung des Reaktors in einen sicheren Zustand keine elektrische Energieversorgung und kein Wasser notwendig seien. Für die Umsetzung der Maßnahmen im Zuge des Krisenmanagements könnten Notfall- Notstromdieselaggregate und Räumgerät u. a. für die elektrische Versorgung der Instrumentierung und der Strahlenschutzmesstechnik bzw. die Personenrettung benötigt werden. In der Nähe des Campus' befänden sich Organisationen wie das THW in Mainz und die Feuerwehr, über die derartiges Gerät zeitnah beschafft werden könne. Vertragliche Vereinbarungen zur Bereitstellung solcher Geräte seien nicht abgeschlossen worden.

Das Gelände des Campus der Johannes Gutenberg-Universität Mainz werde von drei Straßen begrenzt, von denen es je eine bzw. zwei Zufahrten für Einsatzkräfte gäbe. Das Gelände des KCH, auf dem sich der FR-Mz befindet, werde von vier Straßen umschlossen und könne über jede dieser Straßen von Einsatzkräften angefahren werden. Damit sei die Zufahrt für Rettungs- und Einsatzfahrzeuge über mehrere voneinander unabhängige Zuwegungen möglich. Das Versperren einer Zufahrt zum Campus oder zum FR-Mz durch Trümmerlasten führe demnach nicht zur Be- oder Verhinderung der Unterstützung von außen beim Krisenmanagement [Mz-01].

Für die Kommunikation im Krisenfall stünden diverse Möglichkeiten zur Verfügung. Über die hausinterne Gegensprechanlage könnten Ausrufe und Ansagen (z. B. Evakuierungsausruf) vorgenommen werden. Außerdem stünden der Reaktorbetriebsmannschaft und dem Strahlenschutzpersonal hauseigene mobile Telefone zur Verfügung. Mobilfunk-Empfang sei überall in der Anlage möglich; Duplexer-Stationen seien ausreichend in der Anlage installiert. Eine Bevorrechtigung gemäß Post- und Telekommunikations-sicherstellungsgesetz (PTSG) liegt nicht vor. Zusätzlich stünde bei der Betriebsleitung ein Notfalltelefon mit Leitungsüberwachung durch die Deutsche Telekom, welches auch bei Stromausfall benutzt werden kann. Das Telefon sei ausfallsicher und werde regelmäßig auf Funktionsfähigkeit geprüft. Auf der Warte sind zusätzlich Walky-Talkies vorhanden. Über Notruf- und Brandmelder werden die Polizei und die Feuerwehr alarmiert.

6.1.3 Bewertung der RSK

Der FR-Mz verfügt nicht über ein Notfallhandbuch. Dies wird mit den im Vergleich zu Leistungsreaktoren deutlich geringeren potenziellen Auswirkungen bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen begründet. Die Maßnahmen zur Gefahrenabwehr bei auslegungsüberschreitenden Einwirkungen werden durch das Krisenmanagementhandbuch und die Alarmordnung geregelt. Die Kriterien für die Aktivierung des Krisenmanagementhandbuchs und der Alarmordnung sind klar spezifiziert.

Im Nachgang zur Sicherheitsüberprüfung durch die RSK im Jahre 2012 ist das Krisenmanagement überarbeitet worden. Die RSK würdigt, dass das Krisenmanagement durch zwei neue Personalstellen verstärkt worden ist.

Die zuständige Aufsichtsbehörde kommt zu dem Schluss [Mz-01], dass die Rahmenempfehlungen [REmp-NFM] bei der Überarbeitung angemessen berücksichtigt worden seien und dass das Krisenmanagement geeignet sei, die Auswirkungen auslegungsüberschreitender Einwirkungen auf die Umgebung zu vermindern. Die RSK schließt sich dieser Auffassung mit Einschränkungen an. Zu den Einschränkungen werden die nachfolgenden Empfehlungen formuliert.

Die erste Empfehlung bezieht sich auf Möglichkeiten zur Abdichtung und Notbespeisung des Reaktortanks. Aufgrund der massiven Bauweise des Reaktorbeckens unterstellt die RSK keine größeren Leckagen. Gleichwohl sind bei fehlender oder unzureichender Wasserüberdeckung des Kerns im Reaktortank hohe Ortsdosisleistungen in der Reaktor- und Experimentierhalle zu erwarten, die etwaige Maßnahmen in diesem Bereich erschweren. Die RSK sieht daher eine Maßnahme zur Notbespeisung des Reaktortanks als

empfehlenswert an, bei der die Reaktorhalle nicht begangen werden muss. Eine entsprechende Maßnahme sollte in das Betriebsreglement implementiert werden /E13/.

Die zweite Empfehlung zielt auf die Absicherung der Kommunikation im Krisenfall ab. Gemäß Aussage des Betreibers verfügt der Forschungsreaktor über diverse Einrichtungen für die Kommunikation im Notfall. Eine Bevorrechtigung gemäß dem Post- und Telekommunikations-Sicherstellungsgesetz (PTSG) besteht jedoch nicht. Die Verfügbarkeit der Kommunikation über öffentliche Netze sollte durch eine Bevorrechtigung gemäß PTSG weiter abgesichert werden /E14/.

Im Hinblick auf die am Forschungsreaktor Mainz bisher vorgesehenen Übungen hat die RSK folgende Anmerkungen. Nach Darstellung des Betreibers sollen jährlich Schulungen und Tests der telefonischen Alarmierungskette für die am FR-Mz tätigen Mitarbeiter im Rahmen der Sicherheitsunterweisungen durchgeführt werden. Alle drei Jahre beabsichtigt man in Abstimmung mit der atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde praktische Übungen unter Einbeziehung von Feuerwehr und Rettungskräften. Diese Ansätze sind aus Sicht der RSK zu begrüßen, insbesondere die geplante regelmäßige dreijährliche Einbindung externer Stellen wird positiv gesehen. Allerdings sollten - in sinngemäßer Umsetzung der diesbezüglichen Vorgaben der Rahmenempfehlungen für den Notfallschutz [REmp-NFM] – auch anlageninterne Notfallschutzübungen erfolgen, in die die gesamte Krisenorganisation des FR-Mz eingebunden ist (anlageninterne Vollübungen). Dies sollte im Übungskonzept verankert werden /E15/.

E13 Die RSK empfiehlt, eine Notfallmaßnahme zur Notbespeisung des Reaktortanks zu entwickeln, bei der es nicht erforderlich ist, die Reaktorhalle zu begehen. Die Maßnahme sollte im Betriebsreglement festgehalten und geübt werden.

E14 Die RSK empfiehlt, für die Kommunikation über öffentliche Netze eine Bevorrechtigung gemäß PTSG zu beantragen.

E15 Die RSK empfiehlt dem FR-Mz - in sinngemäßer Umsetzung der diesbezüglichen Vorgaben der Rahmenempfehlung für den Notfallschutz [REmp-NFM] – ein Übungskonzept zu implementieren, das auch anlageninterne Notfallschutzübungen vorsieht, in die die gesamte Notfallorganisation des FR-Mz eingebunden ist.

6.2 Erdbeben

6.2.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

„Nach Ansicht der RSK sind die zitierten Unterlagen zur Standortgefährdung durch Erdbeben nicht aktuell und die Aussage, dass es neuere Erkenntnisse dazu nicht gebe, nicht nachvollziehbar. Da der Betreiber aber maximale Schäden infolge erhöhter Erdbebenwirkungen in seine Betrachtungen mit einbezogen hat, kann eine Level-Einstufung erfolgen.“

Die RSK sieht es anhand der Aussagen des Betreibers als möglich an, dass die Bewertungskriterien des Levels 1 oder 2 (die radiologischen Auswirkungen in der Umgebung der Anlage bleiben unterhalb der Werte, die eine Evakuierung der Bevölkerung bzw. keine Katastrophenschutzmaßnahmen erfordern) erfüllt werden können. Die zitierten Unterlagen lassen aber nicht erkennen, ob die Aussagen des Betreibers zu den maximalen radiologischen Auswirkungen im atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsverfahren geprüft und bestätigt sind. Insofern hängt die mögliche Erfüllung des Levels von der Bestätigung der Aussage des Betreibers ab.“

6.2.2 Umsetzung

Die Aufsichts- und Genehmigungsbehörde informiert [Mz-01], dass die der RSK 2012 [RSK-SÜ-FR] vorgelegte Darstellung zur Standortgefährdung durch Erdbeben nach wie vor gültig sei. Mit Bezug auf die Erdbebenzonenkarte der KTA 2201.1 [KTA 2201] wurde festgestellt, dass am Standort ein Erdbeben der Intensität VII (MSK-Skala) erwartet werden könne. Dies sei zwischenzeitlich vom Landesamt für Geologie und Bergbau bestätigt worden.

Aus dem Bericht der Behörde [Mz-01] geht hervor, dass der Betreiber und der nach § 20 AtG zugezogene Sachverständige TÜV Rheinland keine detaillierten seismischen Analysen durchgeführt, sondern alternative Grenzszenarien betrachtet haben.

In einem der beiden Szenarien wurde unterstellt, dass als Folge des Erdbebens alle Brennelemente beschädigt werden, die Reaktorhalle aber intakt bleibt. Damit blieben die Auswirkungen im Wesentlichen auf die Reaktorhalle begrenzt. Auch wenn in diesem Szenarium zusätzlich angenommen wird, dass der Reaktortank undicht wird und die Brennelemente trockenfallen, also nicht nur die Spaltgase in die Reaktorhalle gelangen, bestätigt die Aufsichtsbehörde auf Grund der vorgelegten Untersuchungen, dass in diesem Falle die Störfallgrenzwerte nach §50 StrlSchV in Verbindung mit §117 Absatz 16 StrlSchV als Bewertungsmaßstab erheblich unterschritten werden [Mz-01].

Im zweiten Szenarium wurde zusätzlich unterstellt, dass auch die Reaktorhalle beschädigt wird und radioaktive Stoffe luftgetragen in die Umgebung gelangen. Die radiologischen Auswirkungen dieses Szenariums werden nach Ansicht der Behörde durch die Freisetzungen beim postulierten Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs auf den FR-Mz mit Zerstörung des Gebäudes ohne Treibstoffbrand abgedeckt [Mz-01]. In seiner Berechnung kommt der Sachverständige TÜV Rheinland zu dem Ergebnis, dass für dieses Szenario (Flugzeugabsturz ohne Kerosinbrand) die Eingreifrichtwerte gemäß „Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastropheneinsatzleitung bei kerntechnischen Notfällen“ [Mz-02] zu weniger als 1 % ausgeschöpft werden.

Die Behörde sieht damit die Einstufung in den Robustheitslevel 2 als bestätigt an [Mz-01].

6.2.3 Bewertung der RSK

Bezüglich der Robustheitsbewertung des FR-Mz bei auslegungsüberschreitendem Erdbeben folgt die RSK weitgehend der zuständigen Aufsichtsbehörde und sieht den Robustheitslevel 2 als erfüllt an.

Bei den Analysen war unterstellt worden, dass der Reaktorkern durch den Wasserverlust aus dem Reaktortank bzw. durch die Abschaltvorrichtungen unterkritisch wird. Nach Ansicht der RSK ist zu bedenken, dass bei einem Erdbeben, einer Explosionsdruckwelle oder anders verursachten Erschütterungen mechanische Verformungen an Einrichtungen im Reaktorbecken, inklusive an den Steuerstäben und den Steuerstabführungen, auftreten könnten, die dazu führen, dass die Abschaltung versagt. Sofern in einem solchen Szenarium der Reaktortank noch intakt ist, bleibt der Kern kritisch. Der Betreiber hat erwähnt, dass die Möglichkeit besteht, die Regelstäbe durch Handmaßnahme in den Kern einzubringen. Davon ausgehend empfiehlt die RSK, diese Maßnahme als Notfallmaßnahme im Betriebsreglement zu verankern /E16/.

E16 Die RSK empfiehlt, die bereits vorhandene Möglichkeit zur Reaktorabschaltung durch Handmaßnahme als Notfallmaßnahme zu übernehmen und im Betriebsreglement festzuhalten.

6.3 Sonstige naturbedingte Einwirkungen

6.3.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

„Die RSK geht davon aus, dass die Aussagen des Betreibers zu den Auslegungsgrundlagen im atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsverfahren geprüft und bestätigt sind. Es ist für die RSK nicht erkennbar, dass diese dem aktuellen Stand entsprechen. In Abhängigkeit von ihrem jeweiligen Risikopotenzial sollten die sonstigen naturbedingten Einwirkungen im Hinblick auf ihre Aktualität im Rahmen des Aufsichtsverfahrens überprüft werden.“

6.3.2 Umsetzung

Die Behörde informiert, dass die Auslegungsgrundlagen zu den naturbedingten Einwirkungen auf den FR-Mz durch Hochwasser, Sturm, Schneelasten, hohe und tiefe Temperaturen, Starkregen, Blitzschlag und Hangrutsch vom Betreiber aktuell zusammengestellt und teils von unabhängigen Gutachtern geprüft worden seien.

Die Behörde bestätigt in ihrem Ergebnisbericht [Mz-01], dass bei den unterstellten Ereignissen vitale Sicherheitsfunktionen nicht gefährdet seien. Dementsprechend sieht die Behörde jeweils den Robustheitslevel 3 als erfüllt an.

6.3.3 Bewertung der RSK

Die Empfehlung der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung des FR-Mz im Jahre 2012 ist abgearbeitet.

6.4 Schutz gegen Explosion

6.4.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

„Im Bericht des Betreibers /7¹⁶/ werden die standortspezifischen Möglichkeiten für Explosionsdruckwellen aufgezeigt. Der Betreiber kommt zu der Feststellung, dass aufgrund der geringen Mengen, den räumlichen Gegebenheiten und den Entfernungen zur Reaktorhalle Auswirkungen auf die Reaktorhalle oder gar das Reaktorbecken nicht zu erwarten sind.“

„Die zitierten Unterlagen lassen aber nicht erkennen, ob die Aussagen des Betreibers im atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsverfahren geprüft und bestätigt sind. Insofern hängt die mögliche Erfüllung des Schutzgrades von der Bestätigung der Aussage des Betreibers ab.“

6.4.2 Umsetzung

Betreiber und Behörde berichteten, dass nach Veröffentlichung der RSK-Stellungnahme zur Robustheit deutscher Forschungsreaktoren [RSK-SÜ-FR] mögliche Explosionsquellen nochmals systematisch analysiert worden seien [EP_RA4FR4].

Eine Gasleitung, die unweit des FR-Mz verlief, sei inzwischen stillgelegt und teilweise zurückgebaut worden. Eine Wiederinbetriebnahme der Gasleitung sei damit ausgeschlossen. Die Standorte von Flüssiggas- und Treibstoffbehältern befänden sich in einem Abstand von mindestens 350 m vom FR-Mz. Die Zufahrtsstraße für die Betankung dieser Behälter sei ebenfalls 350 m entfernt.

Der Notstromdiesel und der zugehörige Brennstofftank befänden sich in einer Entfernung von 15 m vom Reaktorgebäude und seien durch den dazwischen stehenden Kühlturm räumlich vom Reaktorgebäude getrennt.

Zudem hat der Sachverständige bestätigt, dass die Auswirkungen von Explosionen des Wasserstoffs und Deuteriums in der ultrakalten Neutronenquelle auf die inneren Einrichtungen der Quelle beschränkt blieben (siehe Kap. 6.6 Vorsorgemaßnahmen).

Auf der Grundlage dieser Gegebenheiten bestätigt die Behörde den Schutzgrad 3 [Mz-01].

¹⁶ Stellungnahme der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz zum RSK-Fragenkatalog für den Forschungsreaktor TRIGA Mainz vom Oktober 2011

6.4.3 Bewertung der RSK

Die Unterlagen des Betreibers zur Gefährdung durch Explosion sind inzwischen aktualisiert und von der Aufsichtsbehörde geprüft worden. Die Behörde sieht den Schutzgrad 3 als erfüllt an.

Die RSK sieht keinen weiteren Prüfbedarf.

6.5 Flugzeugabsturz

6.5.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

„Die RSK sieht es anhand der Aussagen des Betreibers als möglich an, dass Bewertungskriterien des Schutzgrads 1 oder 2 (die radiologischen Auswirkungen in der Umgebung der Anlage bleiben auch bei maximalen Lastannahmen unterhalb der Werte, die eine Evakuierung der Bevölkerung bzw. sonstige Katastrophenschutzmaßnahmen erfordern) erfüllt werden können, wobei aber die Auswirkungen von Treibstoffbränden zu berücksichtigen sind. Die zitierten Unterlagen lassen aber nicht erkennen, ob die Aussagen des Betreibers im atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsverfahren geprüft und bestätigt sind. Insofern hängt die mögliche Erfüllung des Schutzgrades von der Bestätigung der Aussage des Betreibers ab.“

6.5.2 Umsetzung

Behörde und Betreiber erklären, dass die der RSK 2012 vorgelegte Stellungnahme auf Analogiebetrachtungen zum Absturz eines großen Verkehrsflugzeugs auf den Forschungsreaktor TRIGA in Wien basierte.

Zwischenzeitlich habe der Betreiber das aktuelle, spezifische Nuklidinventar des Kerns des FR-Mz berechnet und diese Ergebnisse dem mit der Überprüfung von der Behörde beauftragten Sachverständigen TÜV Rheinland zur Verfügung gestellt. Der Gutachter habe die Berechnungen des Betreibers bestätigt und als Grundlage für die radiologischen Analysen herangezogen [Mz-01], [Mz-04].

Der Gutachter habe zwei Szenarien zum Flugzeugabsturz (FLAB) mit und ohne Kerosinbrand untersucht [Mz-04]. Für die radiologische Bewertung sei in beiden Szenarien konservativ angenommen worden, dass alle Brennelemente im Reaktorbecken zerstört werden.

Für beide Szenarien hat der Gutachter die Freisetzungsraten für die radiologisch relevanten Nuklide und die sich ergebenden Störfalldosen bei einer Freisetzungszeit von 1 Stunde ermittelt.

Im Falle des Flugzeugabsturzes ohne Kerosinbrand schöpfen die berechneten Strahlendosen die Eingreifrichtwerte für den Katastrophenschutz gemäß „Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastropheneinsatzleitung bei kerntechnischen Notfällen“ [Mz-02] zu weniger als 1 % aus. Beim

Flugzeugabsturz mit Kerosinbrand werden die Eingreifrichtwerte zu maximal 28 % ausgeschöpft (der Wert von 28 % wird in Bezug auf den Eingreifrichtwert für die langfristige Umsiedlung (100 mSv) erreicht) [Mz-01]. In beiden Fällen sind keine Evakuierung der Bevölkerung oder sonstige Katastrophenschutzmaßnahmen erforderlich.

Die Behörde sieht daher den Schutzgrad 2 als erfüllt an [Mz-01].

6.5.3 Bewertung der RSK

Nach der Sicherheitsüberprüfung des FR-Mz im Jahre 2012 sind die Analysen zum Flugzeugabsturz vom Betreiber und vom durch die Behörde hinzugezogenen Sachverständigen TÜV Rheinland aktualisiert worden. In allen untersuchten Szenarien werden die Eingreifrichtwerte für den Katastrophenschutz nicht erreicht. Die Analysen sind im atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsverfahren geprüft und bestätigt worden.

Die RSK sieht keinen weiteren Prüfbedarf.

6.6 Vorsorgemaßnahmen

6.6.1 Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung deutscher Forschungsreaktoren im Jahre 2012

„Auf das Vorhandensein zweifacher Barrieren an den Strahlrohren wird im Zusammenhang mit Explosionsmöglichkeiten beim Betrieb der „Ultrakalten Neutronenquelle“ durch Wasserstoff/Deuterium hingewiesen.“

„Die denkbaren Auswirkungen eines Versagens der oben genannten Barrieren werden allerdings abdeckend durch die Betrachtungen zum Erdbeben und Flugzeugabsturz erfasst.“

„Die zu den Themen Erdbeben und Flugzeugabsturz zitierten Unterlagen lassen aber nicht erkennen, ob die Aussagen des Betreibers im atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsverfahren geprüft und bestätigt sind. Insofern hängt die mögliche Erfüllung des Levels von der Bestätigung der Aussage des Betreibers ab.“

„Im FR Mainz beträgt die maximale Überschussreaktivität der Reaktorbeschildung gemäß /8/¹⁷ 3 \$. Die plötzliche Zufuhr von 4 \$ Reaktivität sei gemäß /8/ theoretisch möglich, hierfür seien jedoch eine Reihe von (vorsätzlichen) Fehlhandlungen erforderlich. Für diesen Fall müsste nach Ansicht der RSK vor dem Hintergrund von Pulsversuchen von General Atomic mit Brennelementschäden gerechnet werden.“

¹⁷ Sicherheitsbericht TRIGA Mark II Kernreaktor mit Pulseinrichtung der Johannes-Gutenberg-Universität, März 1962

Gemäß Darstellung der zuständigen Aufsichtsbehörde /9/¹⁸ führt der Betreiber eine aktuelle Überprüfung durch, ob Aussagen zur max. möglichen Reaktivitätszufuhr, zu erforderlichen Voraussetzungen sowie zu möglichen Folgen weiterhin Gültigkeit haben.

Über diese Bewertung hinaus empfiehlt die RSK, im Rahmen des Aufsichtsverfahrens alle relevanten Vorsorgemaßnahmen (siehe Kap. 4.3) einer systematischen Betrachtung und Bewertung zu unterziehen und dabei auch die begrenzte Zuverlässigkeit von administrativen Maßnahmen zu berücksichtigen.“

6.6.2 Umsetzung

Vorsorge gegen Beckenwasserverlust: Integrität der Strahlrohre

Bei der Sicherheitsüberprüfung im Jahre 2012 hatte die RSK festgestellt, dass der Verlust der Strahlrohrintegrität durch die Ereignisse Erdbeben und Flugzeugabsturz abgedeckt ist. Die Analysen zu den Auswirkungen eines auslegungsüberschreitenden Erdbebens und eines Flugzeugabsturzes sind inzwischen aktualisiert und im Aufsichtsverfahren geprüft worden (siehe Kapitel 6.2 und 6.5 dieser Stellungnahme).

Die Behörde erklärt, dass sie ihre Bewertung der Robustheit der zweifachen Strahlrohrbarrieren, bzw. der Robustheit der vitalen sicherheitstechnischen Funktionen bei Verlust dieser Barrieren nicht allein auf abdeckende Betrachtungen zu Erdbeben und Flugzeugabsturz abstütze, sondern auch die Auswirkungen anlageninterner Explosionen auf den Reaktor, inklusive der Strahlrohre, gutachterlich habe prüfen lassen [Mz-01].

Zur Erzeugung von ultrakalten Neutronen an den Strahlrohren C und D werden in der Ultrakalten Neutronenquelle (UCN-Quelle) ca. 8 mol Deuterium und 20 mol Wasserstoff benötigt. Die Deuterium bzw. Wasserstoff führenden Systeme seien nach dem Zwei-Barrieren-Prinzip ausgeführt, um den Kontakt mit Luftsauerstoff auszuschließen. Der Zwischenraum sei entweder mit Schutzgas (Stickstoff) gefüllt oder evakuiert. Außerhalb der Experimentierzeiten seien die brennbaren Gase in einem sicheren Druckbehälter eingeschlossen. Sonstige brennbare Gase würden in der Reaktorhalle nicht eingesetzt.

Der nach § 20 AtG zugezogene Sachverständige (TÜV Rheinland) habe die unter auslegungsüberschreitenden Bedingungen maximal auftretenden Störfalldrücke in der ultrakalten Neutronenquelle analysiert und komme zu dem Ergebnis, dass die Störfallauswirkungen auf das Innere dieser Einrichtung begrenzt blieben. Eine Beschädigung der Brennelemente, der Reaktorabschaltung, des Reaktortanks oder der Strahlrohre sei nicht zu besorgen. Damit sind aus Sicht der Behörde die Bewertungskriterien des Schutzgrades 3 erfüllt [Mz-01].

¹⁸ Schreiben des Ministeriums für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung (MWKEL) vom 17.04.2012 an das BMU und die RSK/ESK-Geschäftsstelle zum Entwurf der RSK Sicherheitsüberprüfung (SÜ) für Forschungsreaktoren vom 26.03.2012

Vorsorge gegen unzulässige Reaktivitätszufuhr

Der Betreiber führte hierzu aus [EP_RAFR4], dass beim Pulsbetrieb kurzzeitig eine Reaktivität von 2 \$ eingetragen werde. Dieser Wert sei genehmigt und die dazu notwendige Pulseinrichtung werde wiederkehrend geprüft. Die Pulsdauer werde durch die inhärente Rückkopplung über den Moderatortemperaturkoeffizienten im Brennstab auf etwa 25 ms (Halbwertsbreite) begrenzt. Zwei Sekunden nach der Pulsauslösung werde der Kern über die Regelstäbe abgeschaltet, bevor der Brennstoff abkühlt.

Nur durch einen massiven Verstoß gegen das Betriebshandbuch sei es möglich, eine höhere Reaktivitätszufuhr als 2 \$ zu erreichen. Dazu wäre ein Umbau des Kerns erforderlich, der reaktorphysikalischen Sachverstand voraussetzen, mehrere Personen beanspruchen, Hilfsmittel erfordern und mehrere Stunden in Anspruch nehmen würde. Unbemerkt sei dieser Umbau während der Dienstzeit nicht zu bewerkstelligen. Außerhalb der Dienstzeit müssten für eine solche Umladung mehrere Sicherungsbarrieren überwunden werden, wodurch jedoch Alarmer an die Rufbereitschaft und die Polizei ausgelöst würden.

Reguläre Kernumladungen sind sehr selten und würden nach dem Vier-Augen-Prinzip überwacht und im Logbuch festgehalten. Demzufolge ist auch die Wahrscheinlichkeit für versehentliche Fehlbeladungen sehr gering. Die Wahrscheinlichkeit, dass durch eine versehentliche Fehlbeladung beim Pulsbetrieb ein Reaktivitätseintrag von über 3,3 \$ entstehen könnte, sei nochmals weitaus geringer.

Die Behörde ist deshalb der Auffassung, dass eine unzulässige Reaktivitätszufuhr von 4 \$ nur durch Sabotage bei der Kernumladung zu erreichen sei und lediglich eine „theoretische“ Möglichkeit darstelle. Selbst wenn dennoch unterstellt werde, dass bei einer Reaktivitätszufuhr von 4 \$ alle Brennelemente mit Aluminiumhüllrohren beschädigt werden und das gesamte Edelgasinventar entweicht, seien außerhalb des Reaktorgebäudes keine radiologisch relevanten Expositionen des Personals oder der Bevölkerung zu erwarten [Mz-01].

Insofern sieht die Behörde für diese Vorsorgemaßnahme den Robustheitslevel 1 als erfüllt an.

Systematische Analyse und Bewertung von Vorsorgemaßnahmen

Behörde und Betreiber verweisen auf die Tatsache, dass für die Erhaltung vitaler Sicherheitsfunktionen weder Strom- noch Wasserversorgung benötigt werden. Die Vorsorgemaßnahmen gegen Integritätsverlust der Strahlrohre im Hinblick auf anlageninterne Explosionen und die Vorsorgemaßnahmen gegen unzulässige Reaktivitätszufuhr seien analysiert und geprüft worden.

Eine darüber hinaus gehende systematische Robustheitsanalyse aller Vorsorgemaßnahmen ist der Arbeitsgruppe der RSK nicht präsentiert worden.

6.6.3 Bewertung der RSK

Die Auswirkungen des Verlusts der Strahlrohrintegrität sind durch die Auswirkungen eines auslegungsüberschreitenden Erdbebens oder eines Flugzeugabsturzes abgedeckt. Die Analysen zu Erdbeben und Flugzeugabsturz sind aktualisiert und im Aufsichtsverfahren geprüft worden (siehe Kapitel 6.2 und 6.5 dieser Stellungnahme).

Darüber hinaus ist vom Sachverständigen bestätigt worden, dass bei Explosion des Wasserstoffs und Deuteriums in der UCN-Quelle keine sicherheitstechnischen Auswirkungen auf den FR-Mz zu unterstellen sind. Diese Aussage wurde von der Behörde geprüft und bestätigt [Mz-01]. Die Behörde sieht im Hinblick auf brennbare Gase in der Reaktoranlage den Schutzgrad 3 als erfüllt an.

Die RSK sieht keinen weiteren Prüfbedarf.

Die Angaben des Betreibers zur Vorsorge gegen unzulässige Reaktivitätszufuhr sind aktualisiert und im Aufsichtsverfahren geprüft worden. Selbst bei Versagen der Vorsorgemaßnahme ergeben sich außerhalb der Reaktorhalle keine radiologischen Auswirkungen, die die Evakuierung der Bevölkerung erfordern. Die RSK sieht diesbezüglich keinen weiteren Untersuchungsbedarf.

Die RSK hatte 2012 [RSK-SÜ-FR] empfohlen, eine systematische Analyse der Robustheit aller relevanten Vorsorgemaßnahmen vorzunehmen und dabei die begrenzte Zuverlässigkeit administrativer Maßnahmen zu berücksichtigen. Dazu hatte sie in ihrer Stellungnahme [RSK-SÜ-FR] eine Liste relevanter Vorsorgemaßnahmen vorgegeben. Der RSK-Arbeitsgruppe ist keine systematische Analyse der Robustheit der für den FR-Mz einschlägigen Vorsorgemaßnahmen vorgestellt worden. Beispielsweise sind keine Analysen der Robustheit von Vorsorgemaßnahmen gegen raumübergreifende Brände oder gegen den Absturz schwerer Lasten in das Reaktorbecken vorgelegt worden.

Der Betreiber und die Aufsichtsbehörde haben jedoch nachvollziehbar dargelegt, dass die Folgen eines postulierten Versagens von Vorsorgemaßnahmen durch die Auswirkungen eines Flugzeugabsturzes abgedeckt sind. Für den Flugzeugabsturz ist inzwischen vom Gutachter bestätigt worden, dass die Eingreifrichtwerte für den Katastrophenschutz nicht erreicht werden. Daher sieht die RSK im Sinne einer Robustheitsanalyse zu den Vorsorgemaßnahmen keinen weiteren Prüfbedarf.

7 Empfehlungen

Die Überprüfung der Umsetzung der Empfehlungen der RSK aus der Sicherheitsüberprüfung der Forschungsreaktoren [RSK-SÜ-FR] hat gezeigt, dass die Empfehlungen aus dem Jahre 2012 durch die Betreiber der Forschungsreaktoren und die jeweils zuständigen Aufsichtsbehörden bereits weitgehend umgesetzt worden sind.

Die RSK würdigt insbesondere die Überarbeitung des Notfallschutzkonzepts an allen drei Anlagen, die Neubewertung der Robustheit der Reaktoren bei auslegungsüberschreitenden Erdbeben, die Analysen zu den Auswirkungen eines Flugzeugabsturzes sowie die Überprüfung der Robustheit von Vorsorgemaßnahmen gegen den Verlust vitaler sicherheitstechnischer Funktionen. Darüber hinaus wird positiv festgestellt, dass am BER-II und am FRM-II sicherheitstechnische Maßnahmen zur Erhöhung der Robustheit der Drehstromversorgung umgesetzt wurden und dass am FRM-II weitere Nachrüstungen zur Verbesserung der Notbespeisung des Reaktorbeckens in Vorbereitung sind. Ebenso wird positiv hervorgehoben, dass das Krisenmanagement am FR-Mz durch Personalaufstockung gestärkt worden ist.

Die RSK möchte sich ausdrücklich bei den Betreibern und den zuständigen Aufsichtsbehörden für die umfassende und konstruktive Unterstützung bei der aktuellen Überprüfung der Umsetzung der Empfehlungen aus dem Jahre 2012 bedanken.

Mit den neuen Empfehlungen aus der aktuellen Überprüfung gibt die RSK Anregungen zur weiteren Verbesserung der bereits erreichten hohen Robustheit der drei Forschungsreaktoren.

Nachfolgend werden diese Empfehlungen anlagen- und themenspezifisch zusammengefasst.

Forschungsreaktor Berlin II (BER-II)

Notfallmaßnahmen

- E1 Die RSK empfiehlt, dass in der Notfallschutzorganisation des BER-II die Hierarchie der Weisungsbefugnisse klar erkennbar sein sollte. Insbesondere sollte der Leiter Reaktor bei allen Belangen der Reaktorsicherheit in Notfallsituationen auch weisungsbefugt gegenüber dem Objektschutz- und Strahlenschutzbeauftragten sein. Weisungen des „Einsatzleiters HZB“ dürfen die atomrechtliche Verantwortung des Leiters Reaktor nicht überregeln.** 15
- E2 In Bezug auf die Umsetzung von Notfallmaßnahmen empfiehlt die RSK bei den Ausführungen im NHB zwischen dem Einsatz der Betriebsfeuerwehr und der Berliner Feuerwehr zu differenzieren. Das NHB sollte bei der Ressourcenbenennung und der Beschreibung der Notfallmaßnahmen den Umständen Rechnung tragen, dass die Betriebsfeuerwehr nur innerhalb der normalen Dienstzeit verfügbar ist und dass die Berliner Feuerwehr nicht den Weisungen des Betreibers unterliegt.** 15
- E3 Die RSK empfiehlt zu prüfen, inwieweit eindeutige Kriterien zur Auslösung des Störfall-/Unfall-Messprogramms bei Ereignissen mit Freisetzung in das Betriebsreglement aufgenommen werden können.** 16
- E4 Die RSK empfiehlt, eine vertragliche Regelung zur Bereitstellung eines mobilen Notstromdieselgenerators zu schließen, der auch den Betrieb der Lüftungsanlage und der Abluftfilterung der Reaktorhalle erlaubt. Die notwendigen Kabelverbindungen sollten ausreichend geschützt auf der Anlage verfügbar sein. Die Randbedingungen (z. B. benötigte Leistung) und Schalthandlungen (z. B. zur Vermeidung automatischer Verbraucherzuschaltungen) zum Anschluss des mobilen Notstromdieselgenerators sollten im NHB klar ausgewiesen sein.** 16
- E5 Auf Grund der Förderleistung des KTJ-Systems ist davon auszugehen, dass die Maßnahme alleine nicht ausreicht, um ein großes Leck des Reaktorbeckens zu kompensieren. Die zusätzlich vorhandenen Einspeisemöglichkeiten sind geeignet, größere Leckagen zu überspeisen, erfordern aber den Zutritt zur Reaktorhalle. Ebenso müssen im Inneren der Gebäude noch vorhandene elektrische Verbraucher und mobile Einrichtungen durch temporäre Kabelverbindungen an die externen Noteinspeisestellen der Drehstromversorgung angeschlossen werden. Die RSK empfiehlt zu überprüfen, inwieweit durch festverlegte Rohrleitungen bzw. Kabel vermieden werden kann, dass gefährdete Raumbereiche im Notfall betreten werden müssen.** 17
- E6 Die RSK empfiehlt, die Vorgabe, wonach vom Personal des BER-II nur noch einzelne Wasserstoffflaschen bei der Befüllung des Pufferbehälters für die kalte Neutronenquelle benutzt werden dürfen, im Betriebsreglement zu verankern. Darüber hinaus empfiehlt die RSK, den Nachweis zu führen, dass die Explosion der gesamten Wasserstoffmenge einer Wasserstoffflasche, des Pufferbehälters und der Anschlussleitung nicht zur Beeinträchtigung von vitalen Sicherheitsfunktionen des BER-II führt.** 19

Flugzeugabsturz

E7 Die RSK empfiehlt zu prüfen, ob und unter welchen Bedingungen die Berliner Berufsfeuerwehr in der Lage ist, Kerosinbrände am oder im Reaktorgebäude vor Ablauf von 30 Minuten zu löschen. Sofern dies möglich ist, sollte diese Maßnahme inkl. der vom Betreiber hierfür abzusichernden Voraussetzungen in die Notfallplanung des BER-II einbezogen werden. Die Umsetzung der Maßnahme sollte regelmäßig geübt werden.

23

Forschungsreaktor München II (FRM-II)

Notfallmaßnahmen

- E8 Die RSK empfiehlt dem FRM-II, – in sinngemäßer Umsetzung der Vorgaben der [REmp-NFM] - ein Übungskonzept für Notfallschutzmaßnahmen zu implementieren. Bestandteil dieses Konzeptes sollten mindestens jährliche anlageninterne Notfallschutzübungen sein, in die die gesamte Notfallorganisation des FRM-II eingebunden ist (anlageninterne Vollübungen). Ebenso sind in mindestens fünfjährigen Abständen die Katastrophenschutzbehörden in die Übungen einzubinden.** 35
- E9 Die RSK empfiehlt, eine Notfallmaßnahme zur Bespeisung des Reaktorbeckens und des Absetzbeckens zu definieren, deren Umsetzung weder einen Zugang zur Reaktorhalle noch die Verfügbarkeit der elektrischen Stromversorgung der Anlage erfordert. Die Maßnahme darf keine nachteilige Rückwirkung auf die sonstigen Funktionen der genutzten Systeme haben.** 35
- E10 Die RSK empfiehlt eine Analyse, welche Auswirkungen auslegungsüberschreitende innere und äußere Ereignisse auf die Störfallinstrumentierung haben können. Sofern bei den analysierten Einwirkungen die benötigten Informationen nicht für die Durchführung von Notfallmaßnahmen zur Verfügung stehen, sind geeignete Ersatzmaßnahmen zur Messwertbereitstellung vorzusehen.** 36
- E11 Die RSK empfiehlt, für die Kommunikation über öffentliche Netze eine Bevorrechtigung gemäß PTSG zu beantragen.** 36
- ### Erdbeben
- E12 Die RSK empfiehlt, eine weitere Notfallmaßnahme zur Reaktorabschaltung (neben dem Ablass des Moderator tanks) zu entwickeln und einzuführen, um Kritikalität oder unkontrollierte Rekritikalität nach dem gleichzeitigen mechanischen Blockieren des Regelstabs und von mehr als einem Abschaltstab möglichst frühzeitig zu verhindern.** 39

Forschungsreaktor Mainz (FR-Mz)

Notfallmaßnahmen

- E13 Die RSK empfiehlt, eine Notfallmaßnahme zur Notbespeisung des Reaktortanks zu entwickeln, bei der es nicht erforderlich ist, die Reaktorhalle zu begehen. Die Maßnahme sollte im Betriebsreglement festgehalten und geübt werden. 50**
- E14 Die RSK empfiehlt, für die Kommunikation über öffentliche Netze eine Bevorrechtigung gemäß PTSG zu beantragen. 50**
- E15 Die RSK empfiehlt dem FR-Mz - in sinngemäßer Umsetzung der diesbezüglichen Vorgaben der Rahmenempfehlung für den Notfallschutz [REmp-NFM] – ein Übungskonzept zu implementieren, das auch anlageninterne Notfallschutzübungen vorsieht, in die die gesamte Notfallorganisation des FR-Mz eingebunden ist. 50**

Erdbeben

- E16 Die RSK empfiehlt, die bereits vorhandene Möglichkeit zur Reaktorabschaltung durch Handmaßnahme als Notfallmaßnahme zu übernehmen und im Betriebsreglement festzuhalten. 52**

8 Referenzen

- [RSK-SÜ-FR] Stellungnahme der RSK „Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Forschungsreaktoren unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan)“
Anlage 1 zum Ergebnisprotokoll der 447. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 03.05.2012
- [RSK472_4.1] Prof. Dr. Weiß, Beratungskonzept zur Umsetzung der Erkenntnisse aus der Robustheitsanalyse für Forschungsreaktoren
- [RSK-SÜ] RSK-Stellungnahme „Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan)“
437. RSK-Sitzung vom 11. - 14. Mai 2011
- [REmp-NFM] „Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken“, Empfehlung der Strahlenschutzkommission und der Reaktor-Sicherheitskommission,
verabschiedet in der 242. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 01./02. Juli 2010, gebilligt in der 244. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 03. November 2010, verabschiedet in der 429. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission am 14. Oktober 2010.
Ergänzung verabschiedet in der 468. Sitzung der RSK am 04. September 2014 und in der 271. Sitzung der SSK am 21. Oktober 2014
- [REmp-Kat] „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“, Empfehlung der Strahlenschutzkommission,
verabschiedet in der 277. Sitzung der SSK am 19./20. Februar 2015
- [REI] BMUB, Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen
- [EP_RAFR1] RSK-Ad-hoc-Arbeitsgruppe ROBUSTHEITSANALYSE
FORSCHUNGSREAKTOREN (AG RAFR) Ergebnisprotokoll der 1. Sitzung am 31.03.2015
- [EP_RAFR2] RSK-Ad-hoc-Arbeitsgruppe ROBUSTHEITSANALYSE
FORSCHUNGSREAKTOREN (AG RAFR) Ergebnisprotokoll der 2. Sitzung am 02.07.2015
- [EP_RAFR3] RSK-Ad-hoc-Arbeitsgruppe ROBUSTHEITSANALYSE
FORSCHUNGSREAKTOREN (AG RAFR) Ergebnisprotokoll der 3. Sitzung am 30.09.2015

-
- [EP_RAFR4] RSK-Ad-hoc-Arbeitsgruppe ROBUSTHEITSANALYSE
FORSCHUNGSREAKTOREN (AG RAFR) Ergebnisprotokoll der 4. Sitzung am
21.01.2015
- [EP_RAFR5] RSK-Ad-hoc-Arbeitsgruppe ROBUSTHEITSANALYSE
FORSCHUNGSREAKTOREN (AG RAFR) Ergebnisprotokoll der 5. Sitzung am
26.09.2015
- [KTA 1203] Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 1203 „Anforderungen an das
Notfallhandbuch“, Fassung 2009-11
- [KTA 1507] Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 1507 „Überwachung der Ableitungen
radioaktiver Stoffe bei Forschungsreaktoren“, Fassung 2012-11
- [KTA 2101] Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 2101.1 „Brandschutz in Kernkraftwerken
Teil 1: Grundsätze des Brandschutzes“, Fassung 2015-11
Teil 2: Baugrund, Fassung 2012-11
Teil 3: Bauliche Anlagen, Fassung 2013-11
- [KTA 2201] Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 2201.1 „Auslegung von Kernkraftwerken
gegen seismische Einwirkungen“,
Teil 1: Grundsätze, Fassung 2011-11
Teil 2: Baugrund, Fassung 2012-11
Teil 3: Bauliche Anlagen, Fassung 2013-11
- [KTA 3902] Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 3902 „Auslegung von Hebezeugen in
Kernkraftwerken“, Fassung 2012-11

BER-II

- [BER-01] Helmholtz Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Herbert Krohn, „Der
Forschungsreaktor BER II“, Foliensatz
- [BER-02] HZB Helmholtz Zentrum, Dr. B. Schröder-Smeibidl, „Notfallmaßnahmen am HZB“,
31.03.2015, Sitzung der ad-hoc Arbeitsgruppe der RSK, Foliensatz
- [BER-03] HZB Helmholtz Zentrum, Dr. B. Schröder-Smeibidl, „Sitzung der ad-hoc Arbeitsgruppe
der RSK - 2.07.2015“, Stand März 2015, Foliensatz

-
- [BER-04] TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG, Dipl.-Ing. G. Gerding und Dr.-Ing. O. Braaß, VS-nfD, „Forschungsreaktor BER II in Berlin Wannsee - Ergebnisse des Gutachtens zu den Auswirkungen des Absturzes eines Verkehrsflugzeuges (Airbus A320) entsprechend dem Schutzgrad 2 der RSK-SÜ“, 1. Sitzung der RSK AG RAFR am 31.03.2015 in Berlin, Foliensatz
- [BER-05] TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG, VS-nfD „Forschungsreaktor BER II in Berlin Wannsee, Gutachten zu den Auswirkungen des Absturzes eines Verkehrsflugzeuges (Airbus A320) entsprechend dem Schutzgrad 2 der RSK-SÜ“, erstellt im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin unter Mitwirkung der Gesellschaft für Anlagen- u. Reaktorsicherheit GmbH (GRS) und der Stangenberg und Partner Ingenieur-GmbH, Januar 2015
- [BER-06] TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG, Kurzfassung „Forschungsreaktor BER II in Berlin Wannsee, Gutachten zu den Auswirkungen des Absturzes eines Verkehrsflugzeuges (Airbus A320) entsprechend dem Schutzgrad 2 der RSK-SÜ“, erstellt im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin unter Mitwirkung der Gesellschaft für Anlagen- u. Reaktorsicherheit GmbH (GRS) und der Stangenberg und Partner Ingenieur-GmbH, Januar 2015
- [BER-07NHB] BER II, Notfallhandbuch (NHB), Stand 01.03.2015
- [BER-08] TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG, „Zum Gutachten der TÜV NORD ENSys GmbH & Co. KG zu den Auswirkungen des Absturzes eines Verkehrsflugzeuges (Airbus A320) entsprechend dem Schutzgrad 2 der RSK-SÜ vom September 2004 - Betrachtung des Umsetzbeckens des BER II“, ETB-Dr. Bß, 26.06.2015
- [BER-09] A. Axmann / C. O. Fischer, „PL Ausbau BER II“, Notiz KNQ EVA, 18.08.1987
- [BER-10] TÜV Rheinland Industrie Service, „Sonderüberprüfung „STRESSTEST“ für den Forschungsreaktor BER II des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie GmbH – Stellungnahme zu Fragen der Robustheit der Anlage in Anlehnung an die Sicherheitsüberprüfung für Leistungsreaktoren erstellt im Auftrag der Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Berlin“, Berlin, Oktober 2011
- [BER-11] Helmholtzzentrum Berlin, Zentralabteilung Reaktor, Technische Mitteilung Nr. 11.015, „Bruch Trinkwasserleitung im Reaktorbereich“, 30.06.2011
- [BER-12] Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, „Kurzbeschreibung des BER II“, Oktober 2011

FRM-II

- [FRM-01] FRM II Forschungs-Neutronenquelle Heinz Mayer-Leibnitz, Technische Universität München (TUM), „Kurzvorstellung des FRM II und Stand der Umsetzung der RSK-Empfehlungen“, Foliensatz
- [FRM-02NHB] Hochflussneutronenquelle München (FRM II), BETRIEBSHANDBUCH (BHB), Teil: 3, Kap. 4, Titel: Notfallmaßnahmen, 24.02.2015
- [FRM-03] Hochflussneutronenquelle München (FRM II), BETRIEBSHANDBUCH (BHB), Teil: 1, Kap.: 6, Titel: Alarmordnung, 16.12.2013
- [FRM-04] Siemens/TUM, FRM II „Übersicht-Schaltplan 20-kV- und 400-V-Systeme“, Zeichnungs-Nr: ZZD544-YU-B-001
- [FRM-05] Betrachtungen zu den Folgen eines postulierten Ausfalls des Notkühlsystems bei freiem Auslaufen der Primärpumpen; Siemens Arbeitsbericht: 2B 0320.0002, 1994
- [FRM-06] Strahlenexposition in der Umgebung des FRM-II nach einem postulierten Schmelzen von 15 BE-Platten (Radiologischer Auslegungsstörfall); Siemens Arbeitsbericht: B0520.007, 1994
- [FRM-07] SSK-Empfehlung zur 3. Teilgenehmigung des Forschungsreaktors München II (FRM-II), 175. Sitzung der SSK, Dezember 2001
- [FRM-08] TÜV SÜD Industrie Service GmbH, „FRM II, Erdbeben Auswertung Robustheitslevel“, RSK, Sitzung mit Anhörung am 30.09.2015, Foliensatz
- [FRM-09] TÜV SÜD Industrie Service GmbH, „Hochflussneutronenquelle München (FRM II), Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ), 3. Sitzung der ad-hoc-Arbeitsgruppe am 30.09.2015 bei der GRS in Garching“
Robustheitsanalyse, Kurzzusammenfassung der Ausführungen des Sachverständigen zum Thema „Erfüllung des Level 2 bei der Einwirkung eines Erdbebens der Intensität I+2“
- [FRM-10] SPI, „Hochflussneutronenquelle München FRM II, Bericht zum Stand der Umsetzung der RSK-Empfehlungen, zur Robustheit des FRM II, Bautechnische Stellungnahme zur Erfüllung des Levels 2 bei der Erdbebenauslegung“, 3. Sitzung der ad-hoc-Arbeitsgruppe „Robustheitsanalyse Forschungsreaktoren (RAFR)“ der RSK □ 30.09.2015, GRS Garching, Foliensatz
- [FRM-11] Kastenmüller, „AW:RSK AG Forschungsreaktoren“, E-Mail vom 26.09.2016

-
- [FRM-12] Kastenmüller, „Stellungnahme zur Robustheit deutscher Forschungsreaktoren“, E-Mail vom 18. und 20.11.2016
- [FRM-13] TÜV Energie und Systeme, Auszug aus dem Gutachten zur 2. TG (Oktober 1997) „FRM-II Errichtung Systeme - 13.2 Störfallinstrumentierung“, Stand 02.10.97
- [FRM-14] TÜV Energie und Systeme, Auszug aus dem Gutachten zur 2. TG (Oktober 1997) „FRM-II Errichtung Systeme - 18.3 Strahlungs- und Aktivitätsüberwachung für Stör- und Unfälle“, Stand 02.10.97
- [FRM-15] TÜV SÜD Industrie Service GmbH, „Hochflussneutronenquelle München (FRM II), Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ), 3. Sitzung der ad-hoc-Arbeitsgruppe am 30.09.2015 bei der GRS in Garching“
Robustheitsanalyse, Zusammenfassung zu den Themen
„Postuliertes Versagen der Kalten (KQ) und der Heißen Neutronenquelle (HQ) mit anschließender D₂-Explosion“ und
„Ausfall Naturumlauf infolge eines postulierten Absturzes einer schweren Last in das Reaktorbecken auf die Primärkühlmittelleitung unterhalb des Ansaugsiebes“
- [FRM-16] TÜV SÜD Industrie Service GmbH, „Stand der Umsetzung der RSK-Empfehlungen zur Robustheit des FRM II“, 3. Sitzung der Ad hoc-Arbeitsgruppe der RSK, 30.09.2015, Foliensatz
- [FRM-17] Hochflussneutronenquelle München (FRM II), Auszug aus dem BETRIEBSHANDBUCH (BHB), Stand 16.11.2015
- [FRM-18] TÜV SÜD IS, „Hochflussneutronenquelle München (FRM-II), Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ), 3. Sitzung der RSK-ad-hoc-Arbeitsgruppe „Robustheitsanalyse Forschungsreaktoren“ am 30.09.2015 bei der GRS in Garching“
Robustheitsanalyse - Zusammenfassung zum Thema „Bewertung der Folgen eines postulierten Absturzes schwerer Lasten in das Absetzbecken“,
München, den 12.02.2016
- [FRM-19] TÜV SÜD Industrie Service GmbH, „Hochflussneutronenquelle München (FRM II), Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ), 3. Sitzung der ad-hoc-Arbeitsgruppe am 30.09.2015 bei der GRS in Garching“
Robustheitsanalyse, Kurzzusammenfassung der Ausführungen des Sachverständigen zum Thema „Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung interner Explosionen“
- [FRM-20] R. Mallick, STMUV, „RSK-SÜ: Integrität des Reaktor- und Absetzbeckens bei Erdbeben Level 2 beim FRM II“, E-Mail vom 28.11.2016

FR-Mz

- [Mz-01] Schreiben des Ministeriums für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland Pfalz (MWKEL) vom 07.01.2016, Az: 84 321-00003/2011-002, Dok-Nr. 2016/001814, Referat: 8606
einschließlich der Anlage:
Ergebnisbericht der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde, Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz (MWKEL)
Überprüfung der Betreiberangaben zur „Anlagenspezifischen Sicherheitsüberprüfung der Reaktorsicherheitskommission (RSK-SÜ) deutscher Forschungsreaktoren unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-1 (Japan) - hier: Forschungsreaktor TRIGA an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (TRIGA Mainz)“
- [Mz-02] Bericht der Strahlenschutzkommission, „Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastropheneinsatzleitung bei kerntechnischen Notfällen“, Heft 37 (2010)
- [Mz-03] Krisenmanagement für den Forschungsreaktor Mainz, Vorlage der Johannes Gutenberg-Universität Mainz vom 16.04.2013
- [Mz-04] TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, „Stellungnahme zu den radiologischen Auswirkungen eines Flugzeugabsturzes auf den Forschungsreaktor TRIGA Mainz“, TÜV-Aktenzeichen: T17.27.1.4, 30.11.2012
- [Mz-05] TRIGA Mainz, BETRIEBSHANDBUCH (BHB), Teil 1, Kapitel 7 „Alarmordnung TRIGA Mainz“ SSp, Stand 23.11.2015
- [Mz-06] Johannes Gutenberg-Universität Mainz (JGU) D 55099 Mainz, „Krisenmanagement-Handbuch für den Forschungsreaktor TRIGA Mainz, Stand November 2015, Teil I, TRIGA-spezifische Komponenten und Handlungsanweisungen“
- [Mz-07] JGU, Fachbereich 09, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, „Vorstellung des Forschungsreaktor TRIGA Mainz (FR Mz)“, Folienvortrag

9 Anlagen

Anlage 1: Kurzbeschreibung des Forschungsreaktors Berlin II (BER-II)

Beim BER-II (Berliner Experimentier-Reaktor II) handelt es sich um einen drucklosen Leichtwasserreaktor in einem offenen Reaktorbecken (pool-type reactor) mit einer thermischen Leistung von 10 MW [BER-05]. Er dient ausschließlich zur Erzeugung von Neutronenstrahlung für die Forschung (thermische Neutronendichte bis $2 \cdot 10^{14}$ Neutronen/(cm²*s)).

In den Jahren 1997 – 2000 erfolgte die Umstellung von HEU (High-Enriched-Uranium) auf LEU (Low-Enriched-Uranium). Ende 2019 soll der Reaktor endgültig abgeschaltet werden.

Das Reaktorgebäude besteht im Wesentlichen aus der Experimentierhalle und der Reaktorhalle, die in Stahlskelettbauweise ausgeführt sind.

Das mit ca. 200 m³ Wasser gefüllte Reaktorbecken besteht aus dem Betriebs- und dem Absatzbecken. Der äußere Grundriss der Reaktorbeckenanlage ist oval. Die Becken sind miteinander verbunden und können durch ein von oben einsetzbares Tor voneinander getrennt werden.

Der Reaktorkern besteht aus 24 Brennelementen (322 g U₂₃₅ je BE) und 6 Kontroll-Brennelementen des MTR-Typs sowie 6 Gabelabsorbern (Hafnium) als Regel- und Abschaltstäbe. Der Reaktorkern hängt an einem Kerntagegerüst in einer Tiefe von 8 m unterhalb des Wasserspiegels. Jedes Kontroll-/Brennelement ist aus 17 bzw. 23 dünnen Platten zusammengesetzt, welche den von Aluminium umschlossenen U₃Si₂-Al-Dispersionsbrennstoff enthalten.

Auf Kernhöhe wird das Betriebsbecken von neun horizontal angeordneten Strahlrohren durchdrungen, die zur Weiterleitung der entstehenden Neutronen dienen. Eines der Strahlrohre enthält eine experimentelle Einrichtung zur Produktion von kalten Neutronen (Kalte Neutronenquelle (KNQ)). In der Betriebsposition ist der Kern von Berylliumblöcken als Reflektor umgeben. Der Kern kann im abgeschalteten Zustand aus der Betriebsposition in das Absatzbecken überführt werden.

Das Wasser im Reaktorbecken erwärmt sich im Betrieb auf eine Temperatur von rund 40°C. Die Wärmeabfuhr erfolgt beim BER-II durch drei hintereinander geschaltete Wasserkreisläufe (Primärkühl-, Zwischenkühl- und Kühlturmkreislauf), die über Wärmetauscher miteinander verbunden sind, über Kühltürme an die Atmosphäre. Der Primärkühlkreislauf liegt vollständig im Reaktorbecken. Drei Primärpumpen, deren Antriebe aus je einer batteriegepufferten unterbrechungsfreien Stromversorgung gespeist werden, erzeugen den Primärkühlmitteldurchsatz durch den Kern von oben nach unten. Der Durchsatz von zwei Pumpen ist dabei ausreichend für Volllastbetrieb.

Teile des vollentsalzten Wassers des Reaktorbeckens werden zur Reinigung kontinuierlich durch zwei Reinigungssysteme abgepumpt.

Das Reaktorschutzsystem (ISKAMATIK) umfasst die diversitäre Messwerterfassung von Leistung, Temperatur und Wasserstand und steuert neben den Steuerstäben den jeweils redundanten Lüftungs- und Beckenabschluss (einfach redundant) an. Eine redundante Notstromversorgung ist vorhanden. Die Lüftungsanlagen und alle aktiven sicherheitstechnischen Einrichtungen sind redundanzweise notstromgesichert.

Die Strahlrohre, die das Reaktorbecken durchdringen, sind so ausgeführt, dass immer zwei passive Barrieren gegen Beckenwasserverlust als Vorsorgemaßnahme vorhanden sind; die 1. Barriere ist die Wand der Strahlrohre selbst, die 2. Barriere wird durch einen Einsatz im Strahlrohr (z. B. Experimentiereinsatz mit Neutronenfenster) gebildet.

Alle hydraulischen Verbindungen zum Becken sind ebenfalls durch zwei Barrieren gesichert, wobei sich eine der Barrieren jeweils im Bereich der Beckenwand befindet.

Die Strahlrohre sind tiefer im Becken angelegt als der Kühlkreislauf. Daher ist ein Strahlrohrversagen bzgl. Beckenwasserverlust als der ungünstigste Fall anzusehen.

Bei einer Reaktorschnellabschaltung (RESA) fallen die Steuerstäbe durch Schwerkraft innerhalb von ca. 400 ms ein. Von den sechs Stäben reicht ein Stab aus, um den Kern bis zum Xenon-Abbau unterkritisch zu halten.

Die spezifikationsgerechte Nachwärmeabfuhr nach einer Reaktorschnellabschaltung erfolgt eine Minute lang über den batteriegepufferten Pumpenbetrieb (mind. eine von drei Primärpumpen, Batteriebetrieb min. zehn Minuten) und anschließend durch Naturkonvektion. Hierzu sind zwei Naturumlaufklappen installiert, die sich bei Ausfall der Zwangskühlung selbsttätig öffnen. Das Beckenwasser dient dabei als Wärmesenke. Gesonderte Nachkühlpumpen sind nicht vorhanden. Beim mit Wasser bedeckten Kern sind nach einer Minute keine weiteren aktiven Maßnahmen notwendig. Auch beim Ausfall der aktiven Nachkühlung treten keine Schäden an den Brennelementen auf. Wichtigstes Schutzziel ist daher, den Kern mit genügend Wasser bedeckt zu halten.

Der Auslegung wurde der Störfall „Kühlkanalblockade“ zugrunde gelegt. Dabei wird unterstellt, dass ein oder mehrere Kühlkanäle durch Fremdmaterial blockiert werden, wodurch die Strömung unterbrochen wird. In der Folge kommt es zur Wasserverdampfung in dem betroffenen Kanal und zur Überhitzung der anliegenden Brennstoffplatten bis zum Schmelzen bei ca. 660°C. Unterstellt wird das Schmelzen des gesamten Brennelements. Durch den Void-Effekt kommt es zu einem plötzlichen Leistungseinbruch und in Folge dessen zur RESA mit anschließendem Lüftungsabschluss. In dem Szenario ist davon auszugehen, dass die Edelgase in die Umgebung, d. h. zunächst in die Reaktorhalle gelangen, während die Spaltprodukte (abgesehen von den Edelgasen) durch das Beckenwasser größtenteils zurückgehalten werden. In der Reaktorhalle herrscht Unterdruck. Beim Auslegungsstörfall wird die Abluft über die zweifach redundante Lüftungsanlage und Filtereinrichtungen, einschließlich Jod-Filter, nach außen geführt.

Bei Normalbetrieb wird die Reaktorhallen-Abluft zur Unterdruckhaltung ungefiltert nach außen abgegeben. Eine Beckenabsaugung saugt die Hallenluft über dem Becken ab und führt sie zur Vermeidung erhöhter Aerosolkonzentrationen über Partikelfilter.

Zur Zwischenlagerung von bis zu 80 abgebrannten Brennelementen dient das unterirdische Umsetzbecken. Es ist doppelschalig aus austenitischem Stahl ausgeführt und in eine Vertiefung im Boden der Experimentierhalle eingelassen. Das Umsetzbecken ist durch einen abnehmbaren Betondeckel gegen die Experimentierhalle abgeschlossen.

Quellen

- [BER-01] Helmholtz Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Herbert Krohn, „Der Forschungsreaktor BER II“, Foliensatz
- [BER-05] TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG, VS-nfD „Forschungsreaktor BER II in Berlin Wannsee, Gutachten zu den Auswirkungen des Absturzes eines Verkehrsflugzeuges (Airbus A320) entsprechend dem Schutzgrad 2 der RSK-SÜ“, erstellt im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin unter Mitwirkung der Gesellschaft für Anlagen- u. Reaktorsicherheit GmbH (GRS) und der Stangenberg und Partner Ingenieur-GmbH, Januar 2015
- [BER-12] Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, „Kurzbeschreibung des BER II“, Oktober 2011

Anlage 2: Kurzbeschreibung des Forschungsreaktors München II (FRM-II)

Der FRM-II nahm zum 29. April 2005 seinen Nutzerbetrieb auf. Er ist eine Zentrale Wissenschaftliche Einrichtung der Technischen Universität München (TUM) und befindet sich auf deren Campus in Garching. Das Areal ist durch einen massiven Zaun vom Rest des Campus' sicherungstechnisch getrennt. Zum FRM-II gehören das Reaktorgebäude, bestehend aus Reaktorhalle und Experimentierhalle, die Neutronenleiterhallen Ost und West sowie Nebengebäude. Alle aktivitätsführenden Systeme befinden sich im Kontrollbereich. Der Kontrollbereich erstreckt sich über die Reaktorhalle, die Experimentierhalle, den Kellerbereich des Reaktorgebäudes sowie über einige Räume im Kellerbereich unterhalb der Neutronenleiterhalle West. Im Reaktorgebäude sind die sicherheitstechnisch wichtigen maschinen-, elektro- und lüftungstechnischen Einrichtungen untergebracht.

Der Forschungsreaktor München II (FRM-II) ist ein druckloser Reaktor in einem offenen Reaktorbecken (pool type reactor) und dient als Neutronenquelle für wissenschaftliche Untersuchungen. Der ungestörte thermische Neutronenfluss beträgt 8×10^{14} Neutronen/(cm²s) bei einer thermischen Leistung von 20 MW.

Reaktorbecken, Absetzbecken und die Primärzelle bilden die Beckengruppe. Die beiden Becken können durch ein Tor getrennt werden, sind jedoch bei Leistungsbetrieb aufgrund des dann gezogenen Trenntors verbunden. In der Primärzelle befinden sich u. a. die Hauptkühlmittelpumpen und Wärmetauscher. Alle wasserführenden Leitungen (z. B. Wasserreinigung, Kühlung) verlaufen über den Beckenrand in das Becken, das über ein Wasservolumen von etwa 700 m³ verfügt.

Das Brennelement (BE) (hohlzylinderförmig, Höhe 133 cm, Außendurchmesser 24 cm, 113 evolventenförmig gekrümmte Brennstoffplatten mit zwei radialen Zonen unterschiedlicher Urandichte, Anreicherungsgrad bis zu 93 % U₂₃₅ mit insgesamt ca. 8 kg Uran) ist in einem senkrechten Zentralkanal angeordnet, der den Primärkühlkreis mit leichtem Wasser vom umgebenden Moderator tank mit schwerem Wasser trennt. Im Moderator tank sind sekundäre Neutronenquellen untergebracht: Kalte Quelle (KQ, D₂-gefüllt, 25 K), Heiße Quelle (HQ, Graphitkern, ca. 2200 K), Konverteranlage zur Erzeugung schneller Neutronen. In den Moderator tank ragen horizontal 10 Strahlrohre, zwei schräge Strahlrohre und einige Bestrahlungseinrichtungen von oben hinein.

Die Strahlrohre durchdringen die Beckenwand (ca. 1,5 m dicke Betonwand), verlaufen durch einen Ringspalt mit leichtem Beckenwasser und führen dann in den Moderator tank. Sie verfügen über zwei Barrieren (Strahlrohrnase mit Kompensatorrohr und Strahlrohrabschlussplatte mit Neutronendoppelfenster) gegen Moderator- bzw. Beckenwasserverlust. Die Strahlrohre sind auch während der Messungen durch die Neutronendoppelfenster (Teil der 2. Barriere) verschlossen. Die Strahlrohrabschlussplatten mit den Neutronendoppelfenstern befinden sich in mit Schwerbetonsteinen geschützten Nischen.

In der Mitte des Zentralkanals wird der Regelstab vertikal verfahren. Er ist über eine Magnetkupplung mit dem Antrieb verbunden. Bei einer Reaktorschnellabschaltung fällt der Regelstab sowohl durch die Schwerkraft als auch durch die Strömung des Kühlwassers (von oben nach unten) ein. Diversitär sind fünf Abschaltstäbe magnetisch gekuppelt außerhalb des Brennelementes im Moderator tank angebracht. Zur

langfristigen Abschaltung reichen vier der fünf Abschaltstäbe aus. Bei Stromausfall klinken die Magnethalterungen aus und die Abschaltstäbe fallen schwerkraft- und federkraftbeschleunigt ein.

Die Kettenreaktion im FRM-II findet nur dann statt, wenn sich im Inneren des Brennelements leichtes Wasser und außen im Moderatortank schweres Wasser befindet. Fehlt eine der beiden Komponenten oder mischt sich leichtes mit schwerem Wasser, so endet die Kettenreaktion.

Als Sicherheitsleittechnik ist das digitale dreisträngige TXS-System installiert. Durch die Verarbeitung unterschiedlicher Messgrößen in zwei Teilsystemen ist dieses System diversitär ausgelegt.

Das Kühlsystem besteht aus drei Kühlkreisläufen (primär, sekundär und tertiär). Der Primärkühlkreislauf verfügt über vier Pumpen, je zwei parallel in einem Strang. Bei Leistungsbetrieb durchströmt das Kühlwasser das Brennelement von oben nach unten mit einem Massenstrom von ca. 300 kg/s. Die Eintrittstemperatur des Kühlwassers in den Kern entspricht in etwa der Beckenwassertemperatur von 35 °C, die Austrittstemperatur liegt bei ca. 50 °C.

Die Pumpen sowie zwei Wärmetauscher, die die Wärme vom Primär- auf den Sekundärkreislauf (zweisträngig) übertragen befinden sich in der Primärzelle. Über zwei weitere Wärmetauscher wird die Abwärme vom Sekundärkreis an den Tertiärkreislauf mit vier kleinen Kühltürmen als Wärmesenke abgegeben. Primärwasser wird kontinuierlich entnommen, mit Filtern und Ionenaustauschern gereinigt und zurückgeführt. Eine separate Beckenkühlung führt die Wärme aus dem Beckenwasser ab, eine ebenfalls separate Kühlung führt die Wärme aus dem Moderatortank über den Sekundärkreislauf ab. Nach Reaktorabschaltung wird das BE in der aktiven Nachkühlphase mit Hilfe der Notkühlpumpen gekühlt, wobei das Beckenwasser als Wärmesenke dient.

Nach Abschaltung des Kerns ist auslegungsgemäß ein Pumpenbetrieb zur Nachwärmeabfuhr für ca. 3 h vorgesehen. Danach kann der Kern im Naturumlauf gekühlt werden. Nach Abstellen der Pumpen öffnen die zuvor durch den Innendruck im Primärkreis geschlossenen Naturumlaufklappen. Im Naturumlauf kehrt sich die Strömungsrichtung um und das Kühlwasser durchströmt das Brennelement von unten nach oben. Bei RESA starten automatisch drei Notkühlpumpen, wovon eine zur Wärmeabfuhr ausreicht. Am Ende eines Zyklus' wird RESA ausgelöst. In diesem Fall laufen Primärpumpen und Notkühlpumpen gemeinsam. Die Notkühlpumpen werden über Batterien versorgt und stehen so auch bei Komplettausfall der Wechselstromversorgung zur Verfügung. Bei Ausfall jedweder Stromversorgung, d. h. auch der Batteriesysteme, beginnt unmittelbar der Naturumlauf. Die Analyse dieses Szenariums hat gezeigt, dass das BE auch bei unmittelbarem Übergang zum Naturumlauf nicht beschädigt wird.

Der Campus verfügt über eine 20 kV-Mittelspannungsversorgung über Normalnetz (Ringnetz) und einen getrennt verlegten 20 kV Ersatznetzanschluss (Notnetzring über Heizkraftwerk mit eigenem Notstromdiesel). Die Umschaltung auf den Notnetzring erfolgt manuell. Die Notstromversorgung ist 2-strängig aufgebaut und kann zusätzlich zu den o. g. Versorgungsmöglichkeiten über zwei stationäre Notstromdiesel (je 800 kVA Bemessungsleistung, 575 kW Generatorklemmleistung) versorgt werden. Über Kuppelschalter kann ein Notstromdiesel auch auf die Nachbarschiene umgeschaltet werden. Zusätzlich gibt es eine weitere Versorgung (400 V) der Notstromschienen über einen Not-Transformator, der zwischenzeitlich auf das

Reaktorgelände verlegt worden ist und dessen Anschlüsse bis in die Schaltanlage geführt sind. Zudem wurde eine Anschlussmöglichkeit für einen mobilen Notfall-Notstromdiesel geschaffen.

Bei Ausfall der Drehstromversorgung stehen Batterien zur Verfügung. Dazu sind zwei von drei Batteriebanken jeweils einer Schiene fest zugeordnet. Die dritte Batteriebank kann wahlweise auf eine der beiden Schienen geschaltet werden.

Quellen

- [FRM-01] FRM II Forschungs-Neutronenquelle Heinz Mayer-Leibnitz, Technische Universität München (TUM), „Kurzvorstellung des FRM II und Stand der Umsetzung der RSK-Empfehlungen“, Foliensatz
- [Broschüre] Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz FRM II, TUM, „Forschung mit Neutronen Methoden entwickeln, Natur befragen, Antworten bekommen“, Broschüre Stand Juni 2009

Anlage 3: Kurzbeschreibung des Forschungsreaktors Mainz (FR-Mz)

Der Forschungsreaktor Mainz (FR-Mz) ist ein Leichtwasserreaktor in einem offenen Reaktorbecken (Schwimmbadreaktor) mit einem „Lebenszeitkern“. Der TRIGA¹⁹ Reaktor wird von der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (JGU) betrieben und wird für Forschung, Ausbildung und Isotopenproduktion eingesetzt. Der Reaktor hat im Dauerbetrieb eine Leistung von 100 kW_{th}, die im Pulsbetrieb kurzfristig (mittlere Pulsdauer 25 ms) auf 250 MW_{th} erhöht werden kann.

Der Kern, umgeben von einem Graphitreflektor, befindet sich in einem Aluminiumtank mit einem Wasservolumen von ca. 18 m³. Die Füllstandshöhe im Tank beträgt etwa 6,2 m über dem Tankboden. Die Oberkante des Kerns ist mit 4,8 m Wasser überdeckt. Der Reaktor verfügt über vier horizontale Strahlrohre (A bis D) und die thermische Säule für spezielle „großvolumige“ Experimente. Die thermische Säule wird durch ein fahrbares Beton-Strahlenschutztor abgeschirmt. Ferner gibt es ein zentrales, vertikales Bestrahlungsrohr. Dort liegt der höchste Neutronenfluss vor. Über drei Rohrpostanlagen können Proben in den Reaktorkern eingebracht und entnommen werden, ohne den Reaktorbetrieb zu unterbrechen.

Im Oberteil des Graphitreflektors befindet sich das Bestrahlungskarussell für bis zu 80 Bestrahlungsproben in 40 Positionen.

Die zylinderförmigen Brennelemente (BE) (Brennstäbe) sind seit Betriebsbeginn im Jahre 1965 im Einsatz. Der Abbrand beträgt etwa 4 g pro Jahr und insgesamt über den bisherigen Betriebszeitraum (50 Jahre) ca. 200 g. Alle 4 bis 5 Jahre wird ein neues BE (Brennstoff-Moderator-Element, siehe unten) zusätzlich in den Kern eingesetzt. Die BE bestehen aus 91 Gew. % Zirkonium, 1 Gew. % Wasserstoff und 8 Gew. % Uran. Derzeit sind 76 BE im Kern (~ 2,7 kg U-235). Sieben unbestrahlte Brennelemente sind vorrätig.

Die BE besitzen teils Aluminium-, teils Edstahlhüllrohre. Der Brennstoff besteht aus auf 20% angereichertem Uran (LEU) in einer Zirkoniumhydrid-Matrix. Zirkoniumhydrid ist relativ stabil gegen Oxidation, da sich an seiner Oberfläche eine dünne Oxidschicht bildet, die auch eine effektive Diffusionsbarriere gegen die Freisetzung von Spaltprodukten darstellt. Bei Temperaturen oberhalb von 600 °C kommt es zunehmend zu einer thermischen Zersetzung des Zirkoniumhydrids. Der dabei entstehende Wasserstoff wird bis zu Temperaturen von 900 °C bis 1000 °C ebenfalls von der äußeren Oxidschicht zurückgehalten, danach aber zunehmend freigesetzt. Die Brennelementtemperatur beträgt im Dauerbetrieb (100 kW) ca. 90 °C.

Die Zirkoniumhydrid-Matrix des Brennelementes bewirkt, dass die Moderation der Neutronen am Wasserstoff bei einer Temperaturerhöhung abnimmt. Dies führt zu einem negativen Moderator - Temperaturkoeffizienten im BE und darüber zu einer inhärenten Leistungsabsenkung. Dieser Effekt wird bei Temperaturen von etwa 200°C wirksam. Bei niedrigeren Temperaturen werden die Neutronen in der Brennstoffmatrix bis auf etwa 130 meV abgebremst. Die weitere Moderation erfolgt durch das Beckenwasser. Bei Verlust des Wassers (z. B. Leckage) wird der Kern unterkritisch.

¹⁹ TRIGA steht für Training, Research, Isotope Production, General Atomic, wobei General Atomic der Hersteller des TRIGA ist.

Aktiv wird die Leistung des Kerns durch drei Regelstäbe kontrolliert (Pulsstab, Trimmstab, Steuerstab). Über den Pulsstab kann eine Reaktivität bis ungefähr 2 \$ eingebracht werden. Zur Abschaltung sind entweder der Trimmstab oder der Puls- und Steuerstab notwendig. Bei Stromausfall klinken die Magnethalterungen aus und alle Stäbe fallen schwerkraftgetrieben in den Kern ein. Als Neutronenabsorber dient Borcarbid. Die Nachzerfallsleistung liegt bei etwa 80 W pro Brennstab unmittelbar nach Abschaltung.

Gemäß dem Sicherheitsbericht ergibt sich, ausgehend von Dauerbetrieb mit der Volleleistung von 100 kW bei einem schlagartigen Kühlwasserverlust eine maximale Brennstofftemperatur von ca. 250 °C. Bei zusätzlich unterstelltem Wegfall der Luftkonvektion erhöht sich der Wert auf maximal 300 °C. Dies liegt weit unterhalb der Schmelzpunkte der Hüllrohrmaterialien (Aluminium 660 °C, Edelstahl 1500 °C). Demzufolge kann die Nachwärme allein durch Luftkühlung abgeführt werden. Der FR-Mz benötigt also weder eine aktive betriebliche Nachkühlung noch Notnachkühlsysteme.

Der Pulsbetrieb wird gestartet, nachdem die Leistung mit Trimm- und Steuerstab auf ca. 50 W eingestellt worden ist. Die Ansteuerung des Pulsstabs erfolgt über ein Steuerventil und Druckluft (5 bar). Die Neutronen-Pulsstärke wird über den oberen Endanschlag des Stoßdämpfers eingestellt. Bei Stromverlust schließt das Steuerventil die Druckluft und der Pulsstab fällt durch sein Gewicht in den Kern zurück. Die Vorrichtung zur Ansteuerung des Pulsstabes befindet sich oberhalb des Wasserspiegels im Tank.

Die Pulsdauer (Halbwertsbreite ca. 25 ms) wird durch die physikalischen Eigenschaften des Kerns bestimmt und nicht durch technische Einrichtungen. Nachdem der Puls ausgelöst worden ist, erfolgt innerhalb einiger ms die inhärente Rückkopplung und Leistungsabsenkung aufgrund der Temperaturerhöhung des Moderators im Brennstoff. Nach ca. 2 s fallen alle drei Regelstäbe ein. Sollte der Pulsstab aufgrund eines mechanischen Defekts in der oberen Endlage verbleiben, genügt der Trimmstab allein zur Abschaltung. Bei einem Puls erwärmt sich der Kern auf ca. 300°C. Nach dem Puls kühlt sich der Kern nach ca. 30 s auf ≤ 100 °C ab. Sollte die Abschaltung über alle drei Stäbe versagen, würde sich der Kern auf eine Temperatur unterhalb von 200°C und ein Leistungsniveau einpendeln, das der abführbaren Leistung entspricht.

Da eine Stromversorgung weder für die sichere Abschaltung noch für die Notkühlung erforderlich ist, verfügt die Anlage lediglich über eine einfache Netzverbindung. Zusätzlich ist eine Notstromversorgung vorhanden, die aus der batteriegepufferten USV (Unterbrechungsfreie Spannungs-Versorgung) und einem Notstromdiesel besteht. Die Auslegung der USV gewährleistet eine Versorgung der sicherheitstechnisch wichtigen Verbraucher für mindestens eine Stunde. Die Reichweite der USV wird in regelmäßig stattfindenden Prüfungen ermittelt. Die Kapazität der USV reicht für eine Versorgung von knapp 2 Stunden aus. Der Notstromdiesel wird regelmäßig wiederkehrend monatlich intern und alle zwei Jahre mit Beteiligung des Gutachters geprüft. Der vorhandene Dieselvorrat ermöglicht einen 40-stündigen Betrieb.

Bei Netzausfall wird RESA ausgelöst und die Versorgung über die USV erfolgt so lange, bis der Notstromdiesel nach 15-20 s die Versorgung übernimmt. In dieser Zeit sind die Kühlpumpen abgeschaltet. Die USV versorgt die Instrumentierung, die Strahlenschutzüberwachung und die Ablufteinrichtungen. Nach Start des Dieseldieselgenerators übernimmt dieser die Versorgung der über die USV gesicherten und weiterer Systeme wie bspw. der Abluftüberwachung, der Zuluft, der Abwasseranlage, der Brandmeldeanlage und der Kühlpumpen.

In den Reaktortank ragen zwei Stützen für Vorlauf und Rücklauf des Primärkreises. Das Beckenwasser wird im Primärkreis mit den Kühlpumpen umgewälzt. Über den Ansaugstutzen wird das Wasser aus dem Reaktortank gesaugt und über eine Rohrleitung durch einen Bodenkanal in den Maschinenraum geführt, wo es über den Wärmetauscher zum Sekundärkreislauf gekühlt und danach wieder in den Reaktor zurückgeführt wird. Aus dem geschlossenen Sekundärkreislauf erfolgt die Wärmeabfuhr über den Kühlturm im Außengelände, der zusätzlich zur Luftkühlung bei Bedarf eine Berieselungsanlage zuschalten kann. Primär-, Sekundär- und Reinigungskreis sind in den aktiven Komponenten redundant ausgeführt, d. h. sie verfügen über jeweils zwei Pumpen, wovon jeweils eine in Betrieb ist. Wöchentlich wird zwischen den redundanten Pumpen umgeschaltet.

Mit Hilfe des Reinigungskreislaufs werden ca. 4 m³/h Wasser an der Tankoberfläche abgeschöpft, über einen Feinfilter (Ionenaustauscher) gereinigt und wieder zurückgeführt. Der Ionenaustauscher wird alle zwei Jahre erneuert. Der Abschaltgrenzwert der Leitfähigkeit von 2 µS/cm wurde bisher weit unterschritten (im Mittel 0.05 µS/cm).

Das Bestrahlungskarussell und die Rohrpostanlagen werden zur Neutronenaktivierungsanalyse genutzt; u. a. für die Spurenelement-Bestimmung beispielsweise in archäologischen Proben und für die Weiterentwicklung von Solarzellen. Außerdem wird die Anlage zur Isotopenproduktion für verschiedenste Anwendungsgebiete eingesetzt. Darüber hinaus wird die Quelle für „ultra-kalte Neutronen“ ($v_N < 10$ m/s) in der Grundlagenforschung eingesetzt. Ein weiteres Forschungsgebiet betrifft die hochpräzise Massenbestimmung und die Laserspektroskopie an Spaltprodukten. Neben der Ausbildung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses wird der TRIGA Mainz zum Kompetenzerhalt in den Bereichen Kern- und Radiochemie, Reaktorphysik und Strahlenschutz genutzt. Hierzu werden zahlreiche Kurse angeboten. So werden z. B. alle praktischen ABC-Schutzausbildungen für die rheinland-pfälzischen Feuerwehren am FR-Mz durchgeführt.

Quellen

[Mz-07] JGU, Fachbereich 09, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, „Vorstellung des Forschungsreaktor TRIGA Mainz (FR Mz)“, Folienvortrag