

Weiterleitungsnachricht zu Ereignissen in ausländischen Kernkraftwerken (WLN 2012/02)

Auswirkungen des Tohoku-Erdbebens an den japanischen Kernkraftwerksstandorten Fukushima Dai-ichi (I) und Dai-ni (II) am 11.03.2011 und des Niigataken Chuetsu-Oki-Erdbebens am japanischen Kernkraftwerksstandort Kashiwazaki-Kariwa am 16.07.2007

1 Sachverhalt

Nachfolgend werden die Ereignisse aufgrund des Tohoku-Erdbebens vom 11.03.2011 an den japanischen Kernkraftwerksstandorten Fukushima Dai-ichi (I) und Dai-ni (II) sowie die Ereignisse aufgrund des Niigataken Chuetsu-Oki-Erdbebens vom 16.07.2007 am japanischen Kernkraftwerksstandort Kashiwazaki-Kariwa dargestellt. Zum Unfallhergang der Ereignisse in Fukushima Dai-ichi und Dai-ni und wichtigen beitragenden Faktoren liegt zum heutigen Zeitpunkt noch keine abschließende Analyse vor. Der Umfang dieser Weiterleitungsnachricht beschränkt sich daher auf einzelne Themenfelder, zu denen aufgrund der jetzt vorliegenden Erkenntnisse neue Empfehlungen für deutsche Kernkraftwerke ausgesprochen werden können. Nach Vorliegen weiterer Erkenntnisse wird diese Weiterleitungsnachricht ggf. ergänzt. Dies gilt insbesondere für die ausgesprochenen Empfehlungen.

1.1 Auswirkungen des Tohoku-Erdbebens an den japanischen Kernkraftwerksstandorten Fukushima Dai-ichi (I) und Dai-ni (II) am 11.03.2011

Im Folgenden werden wesentliche Aspekte des Unfallablaufs dargestellt, eine ausführlichere Darstellung mit Stand Juni 2011 findet sich in /5/. Am 11. März 2011, um 14:46 Uhr Ortszeit (5:46 Uhr UTC), wurden die japanischen Kernkraftwerksstandorte Fukushima Dai-ichi und Fukushima Dai-ni sowie weitere ebenfalls betroffene Kernkraftwerksstandorte, von denen derzeit allerdings keine weiteren Erkenntnisse vorliegen und welche daher hier nicht berücksichtigt werden, durch ein Erdbeben mit einer im Landesinneren (Präfektur Miyagi) maximal gemessenen Intensität $I_{EMS}^1 \approx XI$ ($I_{JMA}^2 \approx 7$) erschüttert. Im Gebiet von Fukushima wurde die

¹European Macroseismic Scale; Europäische Makroseismische Skala

² Japanese Meteorological Agency

Intensität $I_{JMA} \approx 6^+$ gemessen. Das Epizentrum des Erdbebens der Momentenmagnitude $M_W = 9,0$ vor der Ostküste der japanischen Hauptinsel Honshu lag in ca. 120 km Entfernung vor der Küste in einer Tiefe von etwa 30 km. Das Hauptbeben dauerte etwa 150 Sekunden.

Die größte in Freifeldmessungen gemessene Bodenbeschleunigung von $29,3 \text{ m/s}^2$ (3D-Resultierende; Horizontalkomponente: $27,0 \text{ m/s}^2$, Vertikalkomponente: $18,8 \text{ m/s}^2$) trat aufgrund der Abstrahlungscharakteristik des Erdbebenherdes im Landesinneren von Japan, in der Präfektur Miyagi, auf. Durch dieses Erdbeben wurde auch ein Tsunami ausgelöst, der neben den unmittelbaren Erdbebeneinwirkungen erheblich zur Schadensbilanz des Gesamt ereignisses in den betroffenen Regionen beitrug (15592 Tote und 5070 Vermisste; Stand: 19.07.2011, Quelle: National Police Agency of Japan).

Fukushima Dai-ichi (Fukushima I):

Am Kraftwerksstandort Fukushima Dai-ichi, an der Ostküste Japans in der Präfektur Fukushima ca. 250 km nördlich von Tokio, befinden sich sechs Kraftwerksblöcke mit Siedewasserreaktoren, die zum Ereigniszeitpunkt in unterschiedlichen Betriebsphasen waren. Die Blöcke 1, 2 und 3 befanden sich im Leistungsbetrieb, die Blöcke 4, 5 und 6 in Revision. In Block 4 war der Reaktorkern vollständig in das Brennelementlagerbecken entladen. In den Blöcken 5 und 6 waren die Reaktordruckbehälter beladen. Die Leistungen der Reaktoren am Standort liegen zwischen 460 MW_{el} und 1100 MW_{el} , die insgesamt installierte Leistung beträgt 4696 MW_e /1/. Die Hersteller sind General Electric, Toshiba und Hitachi, Betreiber der Anlage ist die Firma Tokyo Electric Power Company (TEPCO).

Für den Standort Fukushima Dai-ichi liegen Beschleunigungsmessungen vor /17/. Hierbei handelt es sich um Beschleunigungen an der Fundamentplatte der Reaktorgebäude. Aufgrund der Filterung über die Boden-Bauwerk-Wechselwirkung ist kein direkter Vergleich zu oben angeführten Freifeldmesswerten möglich. Am Standort Fukushima Dai-ichi wurden Maximalwerte von $5,5 \text{ m/s}^2$ (Horizontalbeschleunigung in Block 2) gemessen. Damit wurde der von der Atomaufsichtsbehörde NISA in /15/ angegebene Auslegungswert (DBGM³) von $4,4 \text{ m/s}^2$ überschritten. In einem zum Ereignis erstellten Bericht der IAEA /14/ wird für die ursprüngliche Auslegung ein weit niedrigerer Wert angegeben, wobei offen bleibt, inwieweit bereits begonnene Erdbebennachrüstungen zum Ereigniszeitpunkt abgeschlossen waren.

³ Design Basis Earthquake Ground Motion

Aufgrund des Erdbebens fiel bei allen Blöcken die externe Stromversorgung aus. Es kam zur Reaktorschnellabschaltung der drei im Leistungsbetrieb befindlichen Blöcke. Bis zum Eintreffen des Tsunami war in allen Blöcken die Nachkühlung der Reaktorkerne und Brennelementlagerbecken durch die Stromversorgung über Notstromdiesel gewährleistet. Anhand der vorliegenden Informationen /4/ ergeben sich keine Hinweise auf eine signifikante Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit des Sicherheitssystems, die direkt durch das Erdbeben verursacht worden wäre.

Die Hauptwelle des Tsunami erreichte den Standort des Kernkraftwerks Fukushima Dai-ichi um 15:41 Uhr Ortszeit, also 55 Minuten nach dem Erdbeben. Dort betrug die Wellenhöhe ca. 14 m /3/. Aufgrund der Überflutung des Anlagengeländes durch den auslegungsüberschreitenden Tsunami (Auslegung gegen Tsunami bis zu einer Höhe von 5,7 m /2/) versagten die Notstrom- und Nebenkühlwasserversorgungen am Standort Fukushima Dai-ichi nahezu vollständig. Durch die Überflutung fielen auch Teile der Batterien aus. Andere Batterien wurden im Verlauf des Ereignisses entladen. In den Blöcken 1 bis 3 kam es zu unterschiedlichen Zeitpunkten zum Versagen aller Not- und Nachkühlsysteme. Auch die getroffenen Notfallmaßnahmen waren nicht ausreichend, um Schäden an den Reaktorkernen zu verhindern.

Die japanische Atomaufsichtsbehörde NISA und der Betreiber TEPCO haben vorläufige Analysen zum Zustand der Reaktorkerne (Stand: Juni 2011) in den Blöcken 1 bis 3 anhand von rechnerischen Simulationen des Unfallablaufs durchgeführt. Nach diesen Analyseergebnissen /4/ sind in den Blöcken 1 bis 3 zumindest Teile der Reaktorkerne geschmolzen, eine Beschädigung der Reaktordruckbehälter wird ebenfalls nicht ausgeschlossen.

In den Blöcken 1 bis 3 kam es infolge der Kernschäden und der Wasserstoffentstehung zu einem auslegungsüberschreitenden Druckanstieg im Containment. Anhand der vorliegenden Informationen vermutet die NISA, dass die Containments der Blöcke 1 bis 3 beschädigt wurden. Es wurde Wasserstoff in die Reaktorgebäude freigesetzt. An den drei Blöcken wurden mehrfach Druckentlastungsvorgänge des Containments in die Umgebung (Venting) eingeleitet. Das Öffnen der entsprechenden Ventile bereitete auf Grund der ausgefallenen Spannungsversorgung und des Verlustes der Druckluftversorgung erhebliche Probleme. Die Druckentlastung erfolgte in allen Fällen ungefiltert. An den Blöcken 1, 3 und 4 kam es zu Wasserstoffexplosionen im oberen Bereich der Reaktorgebäude. Als Ursache für die Explosion in Block 4 wird der Eintrag von Wasserstoff aus Block 3 über den gemeinsamen Fortluftanschluss am Kamin für die beiden Blöcke angenommen.

Die Kühlung der Brennelementlagerbecken der Blöcke 1 bis 4 fiel nach dem Versagen der Notstromdiesel aus. Zu den Brennelementen in den Lagerbecken der Blöcke 1 bis 4 liegen keine gesicherten Erkenntnisse vor. Dort war der Wasserstand zwischenzeitlich abgefallen. Eine Nuklidanalyse des Brennelementlagerbecken-Wassers von Block 4 deutet darauf hin, dass die Brennelemente im Lagerbecken von Block 4 weitestgehend unbeschädigt sind.

Die Brennelementlagerbecken der Blöcke 2 und 3 weisen nach einer Analyse des Brennelementlagerbecken-Wassers eine erhöhte Aktivitätskonzentration auf. Ob dies eine Folge möglicher Brennelementschäden in den Lagerbecken oder des Eintrags von radioaktiven Stoffen aus den beschädigten Kernen der Blöcke 1 bis 3 ist, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht geklärt werden. Die Brennelemente im Lagerbecken von Block 1 weisen kaum Nachzerfallsleistung auf, da die letzte Einlagerung von Brennelementen zum Eintritt des Erdbebens fast ein Jahr zurück liegt.

Ein Notstromdiesel von Block 6, der luftgekühlt war und sich an einer erhöhten Position auf dem Anlagengelände befand, blieb funktionsbereit und sicherte die Kühlung der Brennelementlagerbecken und der Brennelemente in den Reaktoren der Blöcke 5 und 6. Zurzeit wird nicht von einer Beschädigung der Brennelemente in diesen beiden Blöcken ausgegangen.

Zur Bespeisung der Reaktoren und Brennelementlagerbecken wurden wenige Stunden bzw. Tage nach dem Ereigniseintritt provisorische Einspeisemöglichkeiten mit Meerwasser und mit Frischwasser von außen geschaffen. Auch über direkte Einspeisungen in das Containment wurde berichtet. Durch die erfolgte Bespeisung mit nicht kontaminiertem Wasser entstanden pro Tag und Block mehrere hundert Kubikmeter hochkontaminierten Wassers innerhalb und außerhalb des Containments in den beschädigten Gebäuden. Leckwasser aus den Containments sowie z. B. aus den Brennelementlagerbecken überlaufendes Wasser konnte sich in den Gebäuden in tiefer liegenden Stockwerken und außerhalb der Gebäude in Gräben und Schächten ansammeln. Des Weiteren kam es über Undichtigkeiten im Bereich der Kühlwassereinläufe mehrfach zu Einträgen von hochkontaminiertem Kühlwasser in den Pazifik.

Fukushima Dai-ni (Fukushima II):

Am Kraftwerksstandort Fukushima Dai-ni, der ca. 10 km südlich vom Standort Fukushima Dai-ichi liegt, befinden sich vier Blöcke mit Siedewasserreaktoren, die zum Ereigniszeitpunkt alle im Leistungsbetrieb waren. Die Blöcke besitzen Leistungen von jeweils 1100 MW_{el}, die

insgesamt installierte Leistung beträgt 4400 MW_e/1/. Die Hersteller sind Toshiba und Hitachi, Betreiber der Anlage ist die Firma TEPCO.

Für den Standort Fukushima Dai-ni liegen Beschleunigungsmessungen an der Fundamentplatte der Reaktorgebäude vor /17/. Es wurden Maximalwerte von knapp 3,1 m/s² (Vertikalbeschleunigung in Block 1) gemessen (Auslegung 5,1 m/s² /3/).

Aufgrund des Erdbebens fiel bei allen Blöcken die externe Stromversorgung bis auf eine der vier Netzanbindungen (Tomioka Line 1) aus. Mit dieser Netzanbindung war eine Stromversorgung aller vier Blöcke möglich. Es kam zur Reaktorschnellabschaltung der vier Blöcke. Bis zum Eintreffen des Tsunami waren in allen Blöcken die Stromversorgung sowie die Nachkühlung der Reaktorkerne und Brennelementlagerbecken gewährleistet. Anhand der vorliegenden Informationen ergeben sich keine Hinweise auf signifikante Schäden am Sicherheitssystem, die direkt durch das Erdbeben verursacht wurden.

Die Flutwellen des Tsunami erreichten den Standort des Kernkraftwerks Fukushima Dai-ni ca. eine Stunde nach dem Erdbeben. Dort betrug die Wellenhöhe bis zu 10 m und hat die Auslegungshöhe von 5,2 m erheblich überschritten /3/. Aufgrund der Überflutungen des Anlagengeländes durch den Tsunami fielen 9 der 12 mit Meerwasser gekühlten Notstromdieselgeneratoren aus. Zwei Notstromdieselgeneratoren des Blocks 3 und ein Notstromdieselgenerator in Block 4 waren jedoch weiterhin funktionsfähig. Es kam durch die Flutwelle auch zum Ausfall von sieben der acht Nebenkühlwassersysteme (jeder Block verfügt über zwei Nebenkühlwassersysteme). Die Nebenkühlwasserversorgung erfolgte damit nur noch im Block 3 über das einzige verfügbare Nebenkühlwassersystem. Der Block 3 erreichte am 12.03.2011 mit der noch verfügbaren Nachkühlkette den kalten, unterkritischen Zustand.

In den Blöcken 1, 2 und 4 fiel die Nebenkühlwasserversorgung durch Einwirkung des Tsunami auf die Einlaufbauwerke und Pumpenhäuser vollständig aus. Damit war die Nachwärmeabfuhr aus den Kondensationskammern zunächst nicht mehr möglich. Die Wassertemperatur in den Kondensationskammern stieg an und eine Druckentlastung des Containments wurde laut TEPCO vorbereitet, allerdings nicht durchgeführt. Nachdem die Motoren für die Nebenkühlwasserpumpen repariert worden waren, konnten die Nachkühlketten der Blöcke in Betrieb genommen werden. Die Blöcke 1 und 2 erreichten am 14.03.2011 den Zustand unterkritisch-kalt, der Block 4 am 15.03.2011.

1.2 Auswirkungen des Niigataken Chuetsu-Oki-Erdbebens am japanischen Kernkraftwerksstandort Kashiwazaki-Kariwa am 16.07.2007

Am 16. Juli 2007, um 10:13 Uhr Ortszeit, wurde der japanische Kernkraftwerksstandort Kashiwazaki-Kariwa durch ein Erdbeben mit einer für den Standort bestimmten Intensität $I_{EMS} \approx VIII-IX$ ($I_{JMA} = 6+$) erschüttert. Am Kraftwerksstandort befinden sich sieben Blöcke mit Siedewasserreaktoren, die zum Ereigniszeitpunkt in unterschiedlichen Betriebsphasen waren: Drei Blöcke befanden sich in Revision (1, 5 und 6), ein Block im Anfahrbetrieb (2) und drei Blöcke im Leistungsbetrieb (3, 4 und 7). Die Blöcke besitzen Leistungen zwischen 1100 und 1356 MW_{el}. Die Hersteller sind Toshiba, Hitachi und General Electric.

Das Hypozentrum des Erdbebens der Momentenmagnitude $M_W = 6,6$ lag in 16 km Entfernung vom Standort auf einer Verwerfung ca. 17 km unter dem Meeresgrund. Das Hauptbeben dauerte etwa 10 Sekunden.

Die Beschleunigungswerte für eine automatische Reaktorschnellabschaltung ($1,2 \text{ m/s}^2$ für die horizontale und $1,0 \text{ m/s}^2$ für die vertikale Beschleunigung) wurden überschritten. Die drei Blöcke im Leistungsbetrieb und der Block im Anfahrbetrieb wurden daraufhin automatisch abgeschaltet. Die aufgezeichneten Beschleunigungen überschritten die Auslegungswerte (max. ca. $2,7 \text{ m/s}^2$ für die Horizontalbeschleunigung) um das 1,1- bis 3,6-fache. Die Einzelheiten finden sich in /6/.

Die Stromversorgung der Blöcke von außen blieb während und nach dem Erdbeben erhalten. Durch das Erdbeben wurden mehrere Einrichtungen beschädigt und es wurden Auslegungsschwächen deutlich. Die wesentlichen Schäden, aufgedeckte Schwachstellen und notwendige Ertüchtigungsmaßnahmen, werden nachfolgend aufgeführt und sind ausführlich in /6/ und weiteren dort genannten Quellen beschrieben.

Infolge des Erdbebens brachen erdverlegte Feuerlöschleitungen, da diese nicht erdbebensicher ausgelegt waren /7/. Das aus einer gebrochenen Feuerlöschleitung austretende Wasser bahnte sich einen Weg durchs Erdreich und gelangte über eine Gebäudedurchführung in ein Betriebsgebäude. Dort sammelte es sich auf der untersten Ebene (ca. 2000 m³). Sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen wurden durch den Wassereintrag nicht beeinträchtigt. Aufgrund der Schäden an den Feuerlöschleitungen war die Löschwasserversorgung stark eingeschränkt.

Ein Eigenbedarfstransformator geriet durch Ölaustritt und einen Kurzschluss mit Funkenbildung, verursacht durch das unterschiedliche Setzverhalten des Transformators und der Unterstützung der Ableitungen, in Brand.

Da die Werksfeuerwehr wie vorgesehen nachts und an Feiertagen nicht vor Ort war, wurde der Brandschutz durch die öffentliche Feuerwehr wahrgenommen. Bei einem Erdbeben war vorgesehen, die Werksfeuerwehr (falls vor Ort) nach Bedarf zu alarmieren. Im Gegensatz zur Werksfeuerwehr war das Schichtpersonal für eine angemessene Erstreaktion auf einen Brand unzureichend ausgebildet /8/.

Die örtliche Feuerwehr konnte zunächst nicht alarmiert werden, weil die Telefonleitung dort hin besetzt war. Aufgrund chaotischer Verkehrsverhältnisse verzögerte sich ihr Eintreffen nochmals. Das kraftwerkseigene Löschnetz war wegen des Druckverlustes, herrührend aus dem oben beschriebenen Schaden im Löschwassernetz, nicht verfügbar. Chemische Löschmittel waren im Kraftwerk nicht vorhanden.

An weiteren Transformatoren trat Öl aus, das sich zunächst in den Auffangwannen sammelte, bei drei Transformatoren dann aber über erdbebenbedingte Risse in den Ölauffangwannen ins Erdreich gelangte.

In allen sieben Blöcken schwappte Beckenwasser über den Rand des Brennelementlagerbeckens, in drei Blöcken wurde anwesendes Personal dadurch leicht kontaminiert. Im Block 6 gelangten 1,6 m³ des übergelaufenen Wassers (Wert aus /9/) über eine undichte Kabelabdichtung aus dem Kontrollbereich hinaus in radiologisch nicht überwachte Bereiche, von wo aus es ins Meer gepumpt wurde.

In der Lagereinrichtung für feste Abfälle stürzten mehrere hundert Fässer mit kontaminierten Betriebsabfällen ab oder fielen um. Zum Teil trat Flüssigkeit aus den Fässern aus (insgesamt ca. 16 Liter), in der keine Aktivität gemessen wurde. In der Raumluft des Lagers wurden Spuren von Radioaktivität gemessen, ohne die Quellen lokalisieren zu können.

In den Blöcken 4 und 7 stürzte je eine Arbeitsbühne ins Brennelementbecken auf abgebrannte Brennelemente. Es wurden keine Brennelemente beschädigt. Lampenbefestigungen und ein BelüftungsfILTER lösten sich in den Blöcken 6 und 7 aus der Decke des Wartens. Eine Person wurde dadurch leicht verletzt. In der Nähe der Warte von Block 2 fiel ein betrieblicher Elektronikschrank um. Die betroffenen Komponenten waren nicht oder unzureichend befestigt.

Beim Brückenlaufkran im Reaktorgebäude von Block 6 wurden drei von vier Kardan-Antriebswellen beschädigt. Vergleichbare Einrichtungen in drei anderen Blöcken blieben intakt. Durch das Erdbeben wurden die Schienen des Portalkrans, der zur Aufrechterhaltung der Funktion des Einlaufbauwerks benötigt wird, erheblich beschädigt. Aufgrund dessen war der Portalkran ausgefallen.

Verankerungen betrieblicher Komponenten in allen Blöcken waren locker oder zerstört. Einige Anker in den Blöcken 5, 6 und 7 wiesen Korrosion auf. Möglicherweise ist dies auf leichte Anrisse aus vorausgegangenen hohen betrieblichen Belastungen zurückzuführen, die als Vorschädigungen anzusehen sind /7/.

In Block 3 öffnete eine Überdruckentlastungsklappe zwischen Reaktorgebäude und Maschinenhaus fehlerhaft, so dass die Unterdruckhaltung im Reaktorgebäude beeinträchtigt war. In den Maschinenhäusern der Blöcke 2 und 3 wurde je eine Überdruckentlastungsklappe im Rahmen verschoben, wodurch deren Funktion nicht mehr gegeben war.

Nach dem Erdbeben wurde der Reaktor 5 entladen. Dabei fand man ein Brennelement in einer 25 mm erhöhten Position. Im Nachhinein konnte nicht mehr geklärt werden, ob das Brennelement vor dem Erdbeben korrekt eingesetzt war.

Im Maschinenhaus von Block 4 wurde ein Gummikompensator am Kondensator undicht. Meerwasser floss von dort in die unteren Stockwerke. In zwei Blöcken fielen die Pumpen für die Siebreinigung im Einlaufbauwerk aus.

Die Feuerschutztür im Zugang zum Notfallraum („Emergency Operation Room“) für den Krisenstab konnte zunächst nicht geöffnet werden, weil diese im Rahmen verklemmt war. Die Türen zu diesem Raum waren nicht erdbebenfest ausgeführt /8/.

Bei 63 von 67 installierten Seismographen sind die Aufzeichnungen der Bodenbewegungen verloren gegangen, weil diese bei dem Nachbeben überschrieben wurden. 30 neuere Seismographen funktionierten ordnungsgemäß.

Infolge des Erdbebens fiel in Block 7 die (inaktive) Wellendichtdampfversorgung der Turbine aus. Der Lüfter, der den Leckdampf der Turbinendichtungen zum Kamin transportiert, lief jedoch weiter, so dass jetzt aktiver Dampf aus der Turbine angesaugt und zum Kamin gefördert wurde.

Die erhöhte Aktivitätsabgabe wurde der Behörde verspätet mitgeteilt. Eine erdbebensichere exklusive Fernmeldeverbindung von der Warte zur örtlichen Feuerwehr und zur Behörde gab es nicht. Die Information der Medien erfolgte ebenfalls verspätet, teilweise für die Bürger schwer verständlich und unkoordiniert sowohl von der Betreiberzentrale in Tokio aus als auch von örtlichen Stellen.

2 Ursachen

Die Ursachen für die Schäden in den Anlagen Fukushima Dai-ichi und Fukushima Dai-ni sind ein Erdbeben und ein infolgedessen ausgelöster Tsunami. Am Standort Fukushima Dai-ichi überschritten die Beschleunigungswerte des Erdbebens die Auslegungswerte der Anlage. Die größte Flutwelle erreichte eine Höhe von ca. 14 m. Die Anlage war für eine Tsunamiwelle von maximal 5,7 m ausgelegt /14/. Am Standort Fukushima Dai-ni betrug die Wellenhöhe des Tsunami etwa 10 m. Die Anlage war für eine Wellenhöhe von maximal 5,2 m ausgelegt /3/. Die Höhe der Tsunamiwelle überschritt damit die Auslegungswerte beider Anlagen um das Doppelte bis Dreifache. Aufgrund der dadurch verursachten Zerstörungen an Sicherheitssystemen kam es in der Anlage Fukushima Dai-ichi in drei Blöcken zu Schäden an den Reaktorkernen und zu einer erheblichen Freisetzung von radioaktiven Stoffen nach außen.

Die Ursache für die Schäden in der Anlage Kashiwazaki-Kariwa ist ein Erdbeben, dessen Beschleunigungswerte die Auslegungswerte um ein Vielfaches überschritten. Bei der Erdbebenauslegung waren stärkere Beben in der Umgebung der Anlage und die tektonischen Verhältnisse nicht korrekt berücksichtigt worden. Durch den Ereignishergang im Zusammenhang mit dem Erdbeben wurden weitere technische und organisatorische Schwachstellen deutlich.

3 Maßnahmen des Betreibers

3.1 Maßnahmen des Betreibers zur Begrenzung der Unfallfolgen am Standort Fukushima Dai-ichi

Ziel der von TEPCO am Kernkraftwerksstandort Fukushima Dai-ichi durchgeführten Maßnahmen ist es, eine stabile Kühlung sowohl der beschädigten Reaktorkerne wie auch der

Brennelemente im Brennelementlagerbecken sicherzustellen und gleichzeitig die Freisetzung weiterer Aktivität zu minimieren.

Zur Aufrechterhaltung eines stabilen Anlagenzustandes werden bzw. wurden folgende Maßnahmen durchgeführt /19/, /20/:

- Kühlung der Reaktoren durch Bespeisung mit Wasser
- Inertisierung der Sicherheitsbehälter zur Vermeidung von Wasserstoffexplosionen
- Platzierung von Fahrzeugen mit Pumpen und Generatoren in der Nähe der Anlage, um die Gefahr eines Ausfalls der größtenteils provisorischen Bespeisung und Inertisierung zu minimieren
- Errichtung eines provisorischen Hochwasserschutzes (abgeschlossen 30.06.2011)
- Anschluss einer weiteren externen Hochspannungsleitung zur Stabilisierung der Stromversorgung ist geplant

Sonstige Maßnahmen auf dem Anlagengelände:

- Errichtung provisorischer Lagerkapazitäten zur Verhinderung einer erheblichen Aktivitätsfreisetzung durch eine regenbedingte Auswaschung kontaminierter Abwässer
- Errichtung und Inbetriebnahme eines geschlossenen Kühlkreislaufes mit einer Abwasser–Dekontaminationsanlage um zu verhindern, dass durch die Kühlung der Reaktoren und Brennelementlagerbecken mit Frischwasser entstehendes hochkontaminiertes Wasser in die Gebäude und weiter in den Pazifik freigesetzt wird
- Reduzierung von Auswaschungen fester radioaktiver Substanzen und Verbreitung radioaktiven Staubes durch Witterungseinflüsse durch Versprühen von Bindemitteln
- Einhausungen über den Reaktorgebäuden zur Verhinderung eines weiteren Aktivitätsaustrags

3.2 Maßnahmen des Betreibers am Standort Fukushima Dai-ni

Ziel der von TEPCO am Kernkraftwerksstandort Fukushima Dai-ni durchgeführten Maßnahmen ist es, die Kühlung sowohl der Reaktorkerne wie auch der Brennelemente im Brennelementlagerbecken weiterhin und langfristig sicherzustellen.

Zur Aufrechterhaltung eines stabilen Anlagenzustandes werden bzw. wurden folgende Maßnahmen durchgeführt /19/, /20/:

- Kühlung der Reaktorkerne über die nuklearen Nachwärmeabfuhrsysteme
- Lagerbeckenkühlung über die nuklearen Nachwärmeabfuhrsysteme
- Reparatur der externen Netzanbindungen zur Sicherstellung der Stromversorgung (Reparatur einer zusätzlichen externen Netzanbindung am 12.03.2011 abgeschlossen)
- Reparatur der Notstromversorgungen für die nuklearen Nachwärmeabfuhrsysteme aller Blöcke (seit dem 30.03.2011 in allen Blöcken wieder verfügbar)
- Reparatur der redundanten Stränge der nuklearen Nachwärmeabfuhrsysteme zur Sicherstellung der Kühlung der Reaktorkerne und der Brennelemente im Brennelementlagerbecken
- Reparatur der Reaktorwasserreinigungssysteme

3.3 Maßnahmen des Betreibers am Standort Kashiwazaki-Kariwa

Sowohl bei den betroffenen als auch bei den übrigen japanischen Kernkraftwerken wurden umfangreiche Verbesserungsmaßnahmen beschlossen bzw. bereits durchgeführt /6/, /7/, /8/, /10/:

- Bezüglich des Brandschutzes wurde die Organisation der Werksfeuerwehr verbessert, die Auslegung der Feuerlöscheinrichtungen ertüchtigt und es wurden neue, direkte Kommunikationswege von der Warte zur öffentlichen Feuerwehr installiert.
- Die tektonischen und geologischen Verhältnisse am Standort und in der Umgebung wurden neu bestimmt. Die Auslegungsgrundlagen für die Ermittlung der Erdbebenauslegung wurden überarbeitet.
- Die Zuwege zur Anlage wurden ertüchtigt.
- Der Raum für den Krisenstab wurde erdbebenfest ausgelegt, das Notfallhandbuch überarbeitet.
- Das Simulatortraining für Erdbebenereignisse mit mehreren Folgeereignissen soll überarbeitet werden.

- Die Vorgaben für die Kommunikation mit den Behörden und für die Information der Öffentlichkeit wurden überarbeitet.
- Das Alterungsmanagement soll erweitert werden, insbesondere hinsichtlich der Alterung von Verankerungen.

4 Übertragbarkeit auf deutsche Anlagen

4.1 Übertragbarkeit der Ereignisse an den Kernkraftwerksstandorten Fukushima Dai-ichi und Fukushima Dai-ni

Eine direkte Übertragbarkeit der Ereignisse an den Kernkraftwerksstandorten Fukushima Dai-ichi und Fukushima Dai-ni auf deutsche Anlagen ist wegen anderer Standortbedingungen und anderer Anlagenauslegung nicht gegeben. Allerdings haben die Ereignisse Auslegungsmängel der betroffenen japanischen Kernkraftwerke aufgezeigt, die bei einer vertieften Übertragbarkeitsbetrachtung auf deutsche Anlagen berücksichtigt werden müssen. Nach derzeitigem Kenntnisstand ergeben sich erste Empfehlungen zu Notfallmaßnahmen, die im Hinblick auf eine anlagenspezifische Umsetzung geprüft werden sollten. Eine vollständige Bewertung der Übertragbarkeit ist erst nach Aufarbeitung weiterer Details möglich.

4.2 Übertragbarkeit der Ereignisse an dem Kernkraftwerksstandort Kashiwazaki-Kariwa

Bei dem Erdbeben am 16.07.2007 wurden die Auslegungswerte für ein Erdbeben am Standort Kashiwazaki-Kariwa weit überschritten. Ursächlich waren Fehler bei der Ermittlung der zu erwartenden Erdbebeneinwirkung am Standort. Hierbei spielten mehrere Faktoren eine Rolle:

- Unterschätzung der Länge einer der für den Standort maßgebenden Verwerfungen.
- Daraus resultierend erfolgte eine nicht zutreffende Modellierung der Abstrahlungseigenschaften dieses Erdbebenherdes.
- Die geologischen Untergrundverhältnisse am Standort und dessen Umgebung waren nicht hinreichend gut bekannt, so dass Verstärkungseffekte nicht entsprechend berücksichtigt wurden.

Die fehlerhafte Ermittlung der Bemessungswerte für die Anlage resultiert aus dem in Japan üblichen Verfahren, das sich wesentlich auf die Modellierung der Auswirkungen bestimmter maßgebender Verwerfungen stützt.

In Deutschland ist das Verfahren zur Ermittlung des Bemessungserdbebens in der KTA 2201.1 beschrieben. Diese Regel wurde in den letzten Jahren überarbeitet und an den Stand von Wissenschaft und Technik angepasst. Die überarbeitete Fassung 2011-11 wurde im November 2011 vom KTA verabschiedet /11/. Demnach ist die seismische Standortgefährdung in Form des Bemessungserdbebens sowohl nach deterministischen als auch nach probabilistischen Methoden zu bestimmen. Zuvor wurde in der Regel KTA 2201.1 (Fassung 1990-06) nur die Anwendung der deterministischen Methodik gefordert.

Für deutsche Anlagen werden die Anforderungen an den Brandschutz und die Kommunikationseinrichtungen in den KTA-Regeln der Reihe 2101 und in der KTA 3901 festgelegt /12/, /13/.

Aufgrund unterschiedlicher tektonischer Verhältnisse, Anlagenauslegung, Bauweisen und organisatorischer Maßnahmen, ist das Ereignis in der Anlage Kashiwazaki-Kariwa insgesamt nur in Bezug auf ausgewählte Aspekte auf deutsche Kernkraftwerke übertragbar. Daher haben wir aus den Erfahrungen mit dem Erdbeben in der Region Niigataken Chuetsu-Oki Empfehlungen abgeleitet, die die Erdbebensicherheit deutscher Kernkraftwerke weiter verbessern sollen.

5 Empfehlungen

Im Folgenden haben wir aus den Befunden bei den von den Erdbeben betroffenen Anlagen an den japanischen Kernkraftwerksstandorten Empfehlungen für deutsche Anlagen abgeleitet. Vor dem Hintergrund der Ereignisse in Fukushima und Kashiwazaki-Kariwa empfehlen wir:

5.1 Empfehlungen, die aus dem Ereignis in Fukushima abgeleitet wurden:

- **Zur elektrischen Energieversorgung:**

1. Es muss sichergestellt werden, dass bei einem Station-Blackout⁴ die Anlage in einem abgeschalteten Zustand unterkritisch gehalten und die Nachwärme für mindestens 10 Stunden mit den auf der Anlage verfügbaren Mitteln und dem Anlagenpersonal sicher abgeführt werden kann. Hierfür ist die erforderliche Stromversorgung (z. B. Batterien) sowie die Stromversorgung der Störfallinstrumentierung und der notwendigen Beleuchtung sicherzustellen.

 2. Für einen Station-Blackout sind Notfallmaßnahmen vorzusehen, mit denen innerhalb von 10 Stunden und mittels eines zusätzlichen Notstromaggregates eine Drehstromversorgung hergestellt werden kann. Das Notstromaggregat muss in der Lage sein, die Systeme zu versorgen, die zum Abfahren der Anlage und zur Wärmeabfuhr aus dem Reaktorkern und dem Brennelementlagerbecken benötigt werden. Sofern diese Systeme auf weitere Betriebs- und Hilfsmittel angewiesen sind, ist deren Verfügbarkeit ebenfalls sicherzustellen. Zum Anschluss des Notstromaggregates müssen zwei räumlich getrennte Einspeisepunkte vorhanden sein, derart, dass möglichst einer der Einspeisepunkte auch bei auslegungüberschreitenden Einwirkungen⁵ verfügbar bleibt. Auch das Notstromaggregat muss bei auslegungüberschreitenden Einwirkungen⁵ insbesondere durch Erbeben und Überflutung und bei Zerstörungen der anlageninternen und externen Infrastruktur zum Einsatz gebracht werden können. Die Versorgung mit Betriebsmedien für das Notstromaggregat und alle notwendigen Systeme ist dementsprechend sicherzustellen und benötigte Werkzeuge und Anschlusskabel sind vorzuhalten.
- **Zur Kühlwasserversorgung:**
3. Es muss eine hinsichtlich ihrer Spannungsversorgung und benötigten Hilfssysteme eigenständige Nebenkühlwasserversorgung auf dem Anlagengelände verfügbar sein. Diese muss von der auslegungsgemäß vorhandenen Kühlwasserentnahme unabhängig sein und sowohl die Nachwärme als auch die entstehende Abwärme notwendiger Systeme (z. B. Diesel) müssen mit ihrer Hilfe langfristig abgeführt werden können. Die Verfügbarkeit ist bei auslegungsgemäßen naturbedingten Einwirkungen sicher zu stellen.

⁴ Ausfall der gesamten nicht batteriegepufferten elektrischen Wechselspannungsversorgung, d. h. Ausfall der Eigenbedarfsversorgung und aller Notstrom- und Notstandsdiesel.

⁵ Diese auslegungüberschreitenden Einwirkungen sind standortspezifisch zu ermitteln.

⁵ Diese auslegungüberschreitenden Einwirkungen sind standortspezifisch zu ermitteln.

4. Als Notfallmaßnahme ist eine gegen auslegungsüberschreitende Einwirkungen⁵ gesicherte, ihren Aufgaben entsprechende mobile und von der Energieversorgung des Kraftwerkes unabhängige Pumpe vorzuhalten. Zum Anschluss dieser Pumpe müssen zwei räumlich ausreichend weit getrennte Anschlussstutzen an jeweils verschiedenen Redundanzen des gesicherten Zwischenkühlkreises vorhanden sein. Letztere müssen für die Kernkühlung einschließlich der Brennelementlagerbeckenkühlung nutzbar sein.
5. Für die DWR-Anlagen sollte die Möglichkeit einer von den aktiven Notkühleinrichtungen unabhängigen Bespeisung des Reaktordruckbehälters mit boriiertem Wasser unter Berücksichtigung der bestehenden sicherheitstechnischen Auslegung geschaffen werden. Dabei ist insbesondere auf Rückwirkungsfreiheit zu achten.

- **Zu weiteren Aspekten des Notfallschutzes:**

6. Das System zur gefilterten Sicherheitsbehälter (SHB)-Druckentlastung ist so auszuführen, dass es unter den bei Notfällen anzunehmenden Randbedingungen, wie beispielsweise bei Station-Blackout mit zusätzlichem Verlust der Gleichstromversorgung und auch unter ungünstigen radiologischen Bedingungen, betrieben werden kann. Im Zusammenhang mit dem Druckentlastungsvorgang stehende potentielle H₂-Verbrennungsvorgänge müssen auch in den Ventingleitungen und gegebenenfalls in den Sammelräumen für die Fortluft oder anderer Bereiche des Reaktorgebäudes ausgeschlossen werden können. Es sind wirksame Vorkehrungen gegen direkte Auswirkungen auf einen Nachbarblock z. B. durch den Übertrag von H₂ oder Radionukliden über gemeinsam genutzte Systeme und Leitungen vorzusehen. Ein langfristiger Betrieb des gefilterten SHB-Druckentlastungssystems ist vorzusehen. Für den Fall, dass die SHB-Druckentlastung fernbetätigt wird, müssen Fehlanregungen sicher verhindert werden. Bei ausschließlicher Handbetätigung vor Ort ist die Zugänglichkeit der Einrichtungen sicherzustellen.
7. Werden Brennelemente in Abklingbecken außerhalb des Sicherheitsbehälters, aber innerhalb des Reaktorgebäudes gelagert, sollte geprüft werden, ob eine Aufkonzentration von H₂ in diesem Bereich des Gebäudes möglich ist. Gegebenenfalls sollten zur Vermeidung von Wasserstoffansammlungen, welche die Bildung eines zündfähigen Gemischs zur Folge haben können, in diesem Bereich vorzugsweise passiv wirkende Einrichtungen (z. B. katalytische Rekombinatoren) vorgesehen werden, damit ihre Funktion auch bei einem länger als 10 Stunden andauernden Station-Blackout gegeben ist.
8. Es sollten Einrichtungen als Notfallmaßnahme zur Kühlung der Brennelementlagerbecken fest installiert werden, so dass im Anforderungsfall keine Notwendigkeit besteht, gefährdete Räume zu betreten. Fehlbedienung oder Fehlauslösung sollten ausgeschlossen sein.
9. Für anlageninterne Notfallmaßnahmen, für die eine Einleitung der Maßnahme durch Schalthandlungen von der Warte vorgesehen ist, muss die Möglichkeit geschaffen werden, diese auch von der Notsteuerstelle aus einzuleiten. Gegebenenfalls sind Erweiterungen der Funktionen in der Notsteuerstelle vorzunehmen und die für die Einleitung der Maßnahmen erforderlichen Informationen dort zu hinterlegen.

10. Auf der Ausweichstelle für den Krisenstab sind Kommunikationsmittel vorzuhalten, die im Notfall eine Kommunikation zur Notsteuerstelle gleichwertig wie zur Warte ermöglichen.
11. Es sind Hilfsmittel vorzuhalten, um z. B. nach Einwirkungen von außen den Zugang zu Gebäuden wieder herzustellen. Wenn diese Hilfsmittel außerhalb der Anlage stationiert werden, ist sicherzustellen, dass diese auch in Krisenfällen mit Beeinträchtigung der Infrastruktur auch außerhalb der Anlage, die Anlage in der jeweils für einzelne Maßnahmen notwendigen Zeit erreichen. Bei der Organisation des Notfallschutzes sollte auch berücksichtigt werden, dass die Zugänglichkeit der Anlage nach äußeren Einwirkungen zumindest kurzfristig unterbrochen sein kann.

Auch die RSK/SSK hat sich mit den Themen Notfallorganisation, internes und externes Alarmierungsverfahren, Lageermittlung und Lagedarstellung, Kommunikation im Notfall, technische und räumliche Ausstattung der Notfallorganisation, anlagentechnische Notfallmaßnahmen und Unterlagen/Dokumentation beschäftigt und im November 2010 die Neufassung der „Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken“ veröffentlicht /18/.

5.2 Empfehlungen, die aus dem Ereignis in Kashiwazaki-Kariwa abgeleitet wurden:

- **Zum Brandschutz:**

12. Das Brandbekämpfungskonzept ist so zu organisieren, dass die Anlage bei Erdbeben oder anderen äußeren Einwirkungen nicht unmittelbar auf externe Unterstützung angewiesen ist. Es ist zu prüfen, ob mehr als eine Zugangsmöglichkeit für Rettungsfahrzeuge zum Kraftwerk vorhanden ist. Ist dies nicht der Fall, ist eine zusätzliche Zugangsmöglichkeit für Rettungsfahrzeuge zu schaffen.
13. Die Feuerlöscheinrichtungen sind dahingehend zu überprüfen, ob nicht explizit gegen Erdbeben ausgelegte Leitungen (z. B. Löschwasserversorgung für betriebliche Einrichtungen) bei einem Erdbeben zerstört werden können. Für diesen Fall sind diese Leitungen zu ertüchtigen oder eine diversitäre Löschmöglichkeit bereit zu stellen. Es ist sicherzustellen, dass bei einer Überflutung des Anlagengeländes aufgrund geborstener Feuerlöschleitungen sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen nicht durch eindrin-

gendes Wasser unzulässig beeinträchtigt werden können und der Zugang zu diesen Einrichtungen nicht behindert wird.

14. Da bei Einwirkungen von außen mit Folgebränden auf dem Anlagengelände zu rechnen ist, ist zu gewährleisten, dass die Werkfeuerwehr und gegebenenfalls auch andere Versorgungsfahrzeuge alle potentiellen Einsatzorte auf dem Kraftwerksgelände nach Einwirkungen von außen erreichen können. Dazu gehört auch, dass der Zugriff auf notwendige Einrichtungen und Hilfsmittel der Werkfeuerwehr gewährleistet ist.
15. Bei der Bevorratung von chemischen Löschmitteln ist zu berücksichtigen, dass im Erdbebenfall oder bei anderen Einwirkungen von außen die Nachschubbeschaffung von außen unterbrochen sein kann.

- **Zur Erdbebenauslegung:**

16. Die Bestimmung des Bemessungserdbebens ist entsprechend den Anforderungen der KTA 2201.1 (Fassung 2011-11) zu überprüfen.
17. Wenn sich neue Erkenntnisse über die der Auslegung zugrunde liegende Erdbebengefährdung ergeben, müssen die darauf aufbauenden Nachweise zur Erdbebenauslegung überprüft und ggf. neu geführt werden.
18. Es muss sichergestellt werden, dass Gegenstände und Einrichtungen, die keiner Erdbebenklassifikation unterliegen, so angeordnet, befestigt, gestapelt oder aufgestellt werden, dass im Erdbebenfall durch Herabfallen oder Umkippen keine sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen beschädigt oder radioaktive Stoffe freigesetzt werden. Zu diesen Gegenständen und Einrichtungen zählen temporäre Aufbauten, Leitern, Werkstattwagen und Einrichtungen, die in und an Decken sowie an Wänden angebracht sind. Entsprechende Regelungen sollten in die Betriebsvorschriften aufgenommen werden.
19. Der Portalkran am Einlaufbauwerk sowie die zugehörige Infrastruktur wie z. B. Schienen sind dahingehend zu überprüfen, ob sie bei einem Erdbeben zerstört werden können. Für diesen Fall müssen der Portalkran sowie die zugehörige Infrastruktur erdbebensicher ausgelegt werden oder es muss ein geeigneter Ersatz in Form eines mobilen Krans am Standort verfügbar sein, um die Funktion des Einlaufbauwerks auch nach Erdbeben wieder herzustellen.

20. Gummikompensatoren und andere flexible Rohrverbindungen können im Erdbebenfall außergewöhnlich beansprucht werden. Bei Vorschädigung, z. B. durch Alterung, könnten diese deshalb versagen und es könnte zur Überflutung sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen kommen. Diese Komponenten sind deshalb, falls noch nicht geschehen, in die Alterungsüberwachung mit einzubeziehen.
21. Die seismische Instrumentierung muss in der Lage sein, mehrere aufeinanderfolgende Beben aufzuzeichnen (Vor-, Haupt- und Nachbeben) und eine Überschreitung des Inspektionsniveaus (Inspektionserdbeben) an den Komponenten des Sicherheitssystems zuverlässig zu erkennen.
22. Die Belastungen, die sicherheitsrelevante Komponenten bei einem Erdbeben möglicherweise erfahren haben, sind im Alterungsmanagement zu berücksichtigen.

Wir weisen darauf hin, dass bei den vorstehenden Empfehlungen 16 bis 21 unter einem Erdbeben ein Bemessungserdbeben gemäß den aktuellen Fassungen des deutschen Regelwerks /11/ zu verstehen ist.

6 Verwendete Unterlagen

- /1/ World nuclear industry handbook 2010, Nuclear Engineering international, 2010
- /2/ Fukushima Accident: An Overview, Icapp 2011, Akira Omoto, University of Tokyo, Japan, May 2011
- /3/ TEPCO: The Great East Japan Earthquake and Current Status of Nuclear Power Stations. Updated May 31, 2011
http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/images/f12np-gaiyou_e_1.pdf
- /4/ Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety, June 2011
- /5/ Zwischenbericht zu den Ereignissen aufgrund des Tohoku-Erdbebens vom 11.03.2011 an den japanischen Kraftwerksstandorten Fukushima Dai-ichi und Dai-ni, GRS, August 2011
- /6/ Brutlach, H., Stück, R.
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Vertiefte Auswertung meldepflichtiger Ereignisse: Informationen zum Erdbeben vom 16.07.2007 am Kernkraftwerksstandort Kashiwazaki-Kariwa in Japan, Mai 2009
- /7/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA)
“PRILIMINARY FINDINGS AND LESSONS LEARNED FROM THE 16 JULY 2007 EARTHQUAKE AT KASHIWAZAKI-KARIWA NPP”,
Mission Report Volume I, 17 August 2007
- /8/ Nuclear and Industrial Safety Agency
Ministry of Economy, Trade and Industry
Improvements of In-house Fire Brigade Systems at NPPs,
January 2008
- /9/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA)
“PRILIMINARY FINDINGS AND LESSONS LEARNED FROM THE 16 JULY 2007 EARTHQUAKE AT KASHIWAZAKI-KARIWA NPP”
Mission Report Volume II, 12 December 2007

- /10/ Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA)
Evaluation Results of the Operational Management during and after the Niigataken Chuetsu-Oki Earthquake at Kashiwazaki-Kariwa NPP of TEPCO
- /11/ Kerntechnischer Ausschuss
KTA 2201.1 bis KTA 2201.6 in den aktuellen Fassungen
Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen
- /12/ Kerntechnischer Ausschuss
KTA 2101.1 bis KTA 2101.3
Brandschutz in Kernkraftwerken
- /13/ Kerntechnischer Ausschuss
KTA 3901
Kommunikationseinrichtungen für Kernkraftwerke
- /14/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA)
IAEA INTERNATIONAL FACT FINDING EXPERT MISSION OF THE FUKUSHIMA DAI-ICHI NPP ACCIDENT FOLLOWING THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE AND TSUNAMI,
June 16, 2011
- /15/ Nuclear Emergency Response Headquarters Government of Japan
Report of Japanese Government
to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety
- The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations, -
June 2011
- /16/ Additional Report of Japanese Government to the IAEA /4/ - The Accident at TEPCO's Nuclear Power Stations – (Second Report), September 2011
- /17/ Effects on the Earthquake and Tsunami on the Fukushima Daiichi and Daini Nuclear Power Stations, Tokyo Electric Power Company, Mai 2011
- /18/ Rahmenempfehlungen für die Planung von Notfallschutzmaßnahmen durch Betreiber von Kernkraftwerken, Reaktor-Sicherheitskommission (RSK),
November 2010
- /19/ Informationen des Betreibers zum Zustand der Kernkraftwerke an den Standorten Fukushima Dai-ichi und Fukushima Dai-ni, 2011, www.tepco.co.jp

/20/ Fukushima Informationsportal mit Informationen zur Lage in den japanischen
Kernkraftwerken, GRS, 2011, fukushima.grs.de

GRS, [REDACTED], 15.02.2012