



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI**  
**Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN**  
**Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN**  
**Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI**

Industriestrasse 19  
**5200 Brugg**  
Tel.: 056 / 460 84 00  
Fax: 056 / 460 84 99



AN-Nummer

**ENSI 14/1658**

Datum

7. Juli 2012

Aktenzeichen

10KEX.APFUKU1

Typ/Charakter

Aktennotiz

Klassifikation

öffentlich

Bearbeiter

Projektteam  
Erdbebennachweis  
KKB

Projekt, Thema, Gegenstand (Schlagwörter)

KKB, Verfügung Fukushima, deterministischer Nachweis  
10'000-jährliches Erdbeben, Überflutung

Seiten

58

Beilagen

Zeichnungen

## **Stellungnahme des ENSI zum deterministischen Nachweis des KKB zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens**

Verteiler:

ENSI:

KKB:



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Anlass</b>	<b>3</b>
1.1	Ausgangslage	3
1.2	Gegenstand und gesetzliche Grundlage der Beurteilung	5
<b>2</b>	<b>Bewertung der Gefährdungsannahmen</b>	<b>8</b>
2.1	Erdbebengefährdung	8
2.2	Gefährdung Erdbeben in Kombination mit Hochwasser	11
<b>3</b>	<b>Methodik zur Überprüfung der Erdbebenauslegung</b>	<b>13</b>
3.1	Methodische Vorgaben	13
3.2	Prüfverfahren des ENSI	14
3.3	Nachweisführung durch die Betreiber	16
<b>4</b>	<b>Erdbebennachweis für die Kernkühlung</b>	<b>21</b>
4.1	Erforderliche Bauwerke und Systeme	21
4.2	Erdbebengefährdung für die Bauwerke und Ausrüstungen	23
4.3	Erdbebenfestigkeit der erforderlichen Bauwerke und Ausrüstungen	26
4.3.1	Bauwerke	26
4.3.2	Mechanische und elektrische Ausrüstungen	30
4.4	Radiologische Auswirkungen	35
<b>5</b>	<b>Erdbebennachweis für die Brennelementbeckenkühlung</b>	<b>39</b>
5.1	Erforderliche Bauwerke und Systeme	39
5.2	Erdbebenfestigkeit der erforderlichen Bauwerke und Ausrüstungen	41
5.2.1	Bauwerke	41
5.2.2	Mechanische und elektrische Ausrüstungen	43
5.3	Radiologische Auswirkungen	43
<b>6</b>	<b>Nachweis Kombination von Erdbeben und Hochwasser</b>	<b>45</b>
6.1	Überprüfung der erforderlichen Bauwerke und Ausrüstungen	45
6.2	Radiologische Auswirkungen	45
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>46</b>
7.1	Zusammenfassung	46
7.2	Schlussfolgerungen	49
<b>8</b>	<b>Referenzen</b>	<b>50</b>



## 1 Anlass

### 1.1 Ausgangslage

Am 11. März 2011 führte das Tohoku-Chihou-Taiheiyou-Oki-Erdbeben und der daraus resultierende Tsunami zu schweren Unfällen mit Kernschmelzen in drei Kernkraftwerksblöcken am Standort Fukushima Dai-ichi (Fukushima I) in Japan. Aufgrund dieser Ereignisse hat das ENSI am 18. März 2011 unter anderem verfügt, dass die Auslegung der Kernkraftwerke in der Schweiz bezüglich Erdbeben und Überflutung unverzüglich zu überprüfen ist /153/, gestützt auf Art. 2 Abs. 1 Bst. d der Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken (SR 732.114.5) /161/.

In seiner zweiten Verfügung vom 1. April 2011 /154/ hat das ENSI die Randbedingungen und Termine für die Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung sowie den Nachweis zur Einhaltung der Dosisgrenzwerte nach Art. 3 der Ausserbetriebnahmeverordnung /161/ festgelegt.

Die Grundlagen für den deterministischen Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens wurden folgendermassen definiert:

*„Die seismischen Gefährdungsannahmen sind auf der Grundlage des neuen Erdbebenkataloges des SED und der im Rahmen des PRP erhobenen Standortdaten neu zu ermitteln. Für die Berechnung sind die aktuellen Resultate der Abminderungsmodellierung zu verwenden.*

*Bis zum 30. November 2011 sind die Erdbebenfestigkeitsnachweise (Fragilities) für die zur Beherrschung des 10'000-jährliches Erdbebens relevanten Ausrüstungen und Strukturen aufgrund der neuen seismischen Gefährdungsannahmen sowie der aktuell verfügbaren Erkenntnisse aus Japan zu überprüfen und einzureichen.*

*Der deterministische Nachweis der Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens ist mit Hilfe der neu bestimmten Erdbebenfestigkeitsnachweise bis zum 31. März 2012 neu zu führen. Dafür gelten folgende Randbedingungen:*

- *Für den Nachweis der Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens sind nur jene Ausrüstungen und Strukturen zu kreditieren, deren Festigkeit für die neuen seismischen Gefährdungsannahmen nachgewiesen wurde.*
- *Es ist der Ausfall der externen Stromversorgung zu unterstellen.*
- *Es ist nachzuweisen, dass die Anlage in einen sicheren Zustand überführt werden kann und dieser Zustand ohne Zuhilfenahme externer Notfallschutzmittel während mindestens 3 Tagen stabil gehalten werden kann.*
- *Interne Notfallschutzmassnahmen können nur kreditiert werden, wenn sie vorbereitet sind, genügend grosse Zeitfenster zur Durchführung vorhanden sind und die dafür erforderlichen Hilfsmittel auch nach einem 10'000-jährlichen Erdbeben zur Verfügung stehen.*
- *Die Berechnung der aus dem Störfall resultierenden Dosis erfolgt aufgrund der während des Analysezeitraums emittierten radioaktiven Stoffe und richtet sich nach Richtlinie ENSI-G14.*

*Nach Abschluss des Projekts PRP und Überprüfung der Ergebnisse durch das ENSI wird das ENSI die Erdbebengefährdungsannahmen neu festlegen. Auf dieser Grundlage sind dann die Erdbebenfestigkeitsnachweise zu aktualisieren und der deterministische Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens zu erbringen."*



In der Verfügung vom 1. April 2011 /154/ hat das ENSI ausserdem gefordert, dass zusätzlich zu den Hochwasser- und Erdbebennachweisen auch die Kombination von Erdbeben mit Hochwasser zu betrachten sei, wobei das Hochwasser ausgelöst wird durch ein erdbebenbedingtes Versagen von Stauanlagen im Einflussbereich des Kernkraftwerks. Folgende Randbedingungen sind für diesen Nachweis festgelegt worden:

*„Die Beherrschung der Kombination von Erdbeben und dem durch das Erdbeben ausgelösten Versagen der Stauanlagen im Einflussbereich des Kernkraftwerks ist bis zum 31. März 2012 nachzuweisen. Der Nachweis kann auf zwei verschiedene Arten geführt werden.*

#### **Variante 1**

*Für alle Stauanlagen, welche die Kernkraftwerke potenziell gefährden können, ist deterministisch nachzuweisen, dass bei einem 10'000-jährlichen Erdbeben eine unkontrollierte Wasserabgabe ausgeschlossen werden kann. Der deterministische Erdbebennachweis ist gemäss der BWG-Richtlinie (heute Bundesamt für Energie) zur Sicherheit von Stauanlagen zu führen. In Abweichung von der BWG-Richtlinie sind die seismischen Gefährdungsannahmen auf der Grundlage des neuen Erdbebenkataloges des SED zu ermitteln. Für die Berechnung der Gefährdung auf Felsniveau sind die aktuellen Resultate der Abminderungsmodellierung zu verwenden. Die Resultate auf Felsniveau sind an die lokalen geologischen Standortverhältnisse anzupassen.*

#### **Variante 2**

*Falls bei einem 10'000-jährlichen Erdbeben ein unkontrollierter Wasserabfluss deterministisch nicht ausgeschlossen werden kann, ist der deterministische Nachweis für die Beherrschung der Kombination von Erdbeben und Versagen der Stauanlagen im Einflussbereich des Kernkraftwerks zu führen. Dafür gelten folgende Randbedingungen:*

- *Für den Nachweis des Störfalles sind nur jene Ausrüstungen und Strukturen zu kreditieren, deren Festigkeit für die neuen seismischen und hydrologischen Gefährdungsannahmen nachgewiesen wurde.*
- *Es ist das instantane, vollständige Versagen der Stauanlagen zu unterstellen.*
- *Es ist der Ausfall der von der Flutwelle betroffenen Kühlwasserfassungen zu unterstellen.*
- *Es ist der Ausfall der externen Stromversorgung zu unterstellen.*
- *Es ist nachzuweisen, dass die Anlage in einen sicheren Zustand überführt werden kann und dieser Zustand ohne Zuhilfenahme externer Notfallschutzmittel während mindestens 3 Tagen stabil gehalten werden kann.*
- *Interne Notfallschutzmassnahmen können nur kreditiert werden, wenn sie vorbereitet sind, genügend grosse Zeitfenster zur Durchführung vorhanden sind und die dafür erforderlichen Hilfsmittel auch nach der Kombination von Erdbeben und Versagen der Stauanlagen zur Verfügung stehen.*
- *Die Berechnung der aus dem Störfall resultierenden Dosis erfolgt aufgrund der während des Analysezeitraums emittierten radioaktiven Stoffe und richtet sich nach Richtlinie ENSI-G14.“*

Die Art. 2 und 3 der Verordnung zur vorläufigen Ausserbetriebnahme /161/ beziehen sich auf die Kernkühlbarkeit einschliesslich Integrität des Primärkreislaufs und des Containments. Nicht Gegenstand der Ausserbetriebnahmeverordnung /161/ ist der Erdbebennachweis für die Brennelementlagerbecken, weshalb das ENSI in seiner dritten Verfügung vom 5. Mai 2011 /155/ unter anderem gefordert hat, dass das Kernkraftwerk Beznau (KKB) bis zum 31. März 2012 gemäss den Verfahrensvorgaben der Verfügung vom 1. April 2011 /154/ zusätzlich die Auslegung der Brennelementlagerbecken, -gebäude und -kühlsysteme zu überprüfen hat. Der Prüfumfang wurde wie folgt spezifiziert:



- *Es sind alle Brennelementbeckenanschlüsse und -verbindungen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Betriebszustände zu identifizieren, deren Versagen zu einem Füllstandsabfall im Brennelementlagerbecken führen kann, und es sind die Auswirkungen der einzelnen Leckagepfade zu bewerten. Darauf basierend ist festzulegen, für welche Brennelementbeckenanschlüsse und -verbindungen eine seismische Requalifikation zu erbringen ist.*
- *Es ist aufzuzeigen, dass allfällige Leckagen in der Beckenauskleidung aufgrund deren Konstruktion unter Zugrundelegen der neuen seismischen Gefährdungsannahmen so begrenzt bleiben, dass der daraus resultierende Füllstandsabfall durch die vorhandenen Einspeisesysteme kompensiert werden kann.*

## **1.2 Gegenstand und gesetzliche Grundlage der Beurteilung**

Gegenstand dieser Stellungnahme sind die Nachweise des KKB, dass die Kernkühlung und die Sicherheit der Brennelementlagerbecken unter Einwirkung eines 10'000-jährlichen Erdbebens und der Kombination von Erdbeben mit erdbebenbedingtem Hochwasser einzelfehlersicher gewährleistet bleiben und dass die Dosislimite von 100 mSv bei diesen Störfällen eingehalten wird. Es sei angemerkt, dass für die Erdbebengefährdung der Mittelwert heranzuziehen ist. Würde der Medianwert verwendet (wie international nicht unüblich), so entspräche die hier betrachtete Gefährdung eher einem 100'000-jährlichen Erdbeben.

Das ENSI bezieht sich in seinen Verfügungen vom 18. März 2011 /153/ und vom 1. April 2011 /154/ auf den Art. 2 Abs 1 Bst. d der Ausserbetriebnahmeverordnung /161/, wonach der Bewilligungsinhaber die Auslegung des Kernkraftwerks unverzüglich zu überprüfen hat, wenn dies die Behörde anordnet. Die Überprüfung der Auslegung beschränkt sich gemäss Art. 2 Abs. 1 Bst. a auf die Kernkühlbarkeit sowie die Integrität des Primärkreislaufs und des Containments. Nach Art. 3 der Ausserbetriebnahmeverordnung /161/ hat der Bewilligungsinhaber das Kraftwerk unverzüglich vorläufig ausser Betrieb zu nehmen, wenn die Überprüfung der Auslegung nach Art. 2 zeigt, dass die Dosisgrenzwerte nach Art. 94 und 96 der Strahlenschutzverordnung /163/ nicht eingehalten werden. Da sich die Verfügung vom 1. April 2011 /154/ auf 10'000-jährliche Störfälle und somit nach Art. 1 Bst. a der Verordnung über die Gefährdungsannahmen /162/ auf Störfälle der Kategorie 3 beziehen, ist in diesem Fall nachzuweisen, dass nach Art. 94 Abs. 5 der Strahlenschutzverordnung /163/ die Dosislimite von 100 mSv nicht überschritten wird. Gemäss Ausserbetriebnahmeverordnung /161/ hat das KKB konkret nachzuweisen, dass die Kernkühlsysteme, im Fall von KKB ist dies das Notfallkühlsystem, und die Reaktorschnellabschaltung während und nach einem 10'000-jährlichen Erdbeben auch in Kombination mit erdbebenbedingtem Hochwasser funktionstüchtig bleiben und dass die Dosislimite von 100 mSv unter Berücksichtigung von allfälligen Leckagen im Primärkreis und im Containment eingehalten wird.

Nicht Gegenstand der Ausserbetriebnahmeverordnung /161/ ist der in der Verfügung vom 5. Mai 2011 /155/ geforderte Sicherheitsnachweis für das Brennelementlagerbecken und die zugehörigen Gebäude und Kühlsysteme. Verschärfend gegenüber dem Art. 3 der Ausserbetriebnahmeverordnung /161/ besagt der Art. 94 Abs. 5 der Strahlenschutzverordnung /163/ jedoch, dass die Dosislimite von 100 mSv unter Berücksichtigung eines einzelnen Störfalles eingehalten werden muss. Da es sich beim Erdbeben um einen einzelnen Störfall handelt, ist die zu berücksichtigende Freisetzung von Radioaktivität somit nicht nur auf den Reaktorkern gemäss der Ausserbetriebnahmeverordnung /161/ beschränkt, sondern schliesst die Freisetzung aus dem Brennelementlagerbecken mit ein. Die durch allfällige Leckagen in den Umschliessungen des Reaktorkerns und des Brennelementlagerbeckens bedingten Freisetzungen sind somit nicht einzeln, sondern in der Summe zu betrachten.



Nach Art. 8 Abs. 4 der Kernenergieverordnung /164/ ist zusätzlich zum auslösenden Erdbeben ein unabhängiger Einzelfehler zu unterstellen. Die technischen Kriterien nach Art. 11 der Verordnung über die Gefährdungsannahmen /162/ sind bei Störfällen der Kategorie 3 einzuhalten, d.h. die Unterkritikalität und der Wärmeübergang von den Brennstab-Hüllrohren zum Kühlmittel dürfen höchstens kurzfristig nicht gewährleistet resp. beeinträchtigt sein und die Integrität von mindestens einer der Barrieren Brennstab-Hüllrohr, Reaktorkühlkreislauf und Primär-Containment muss jederzeit gewährleistet sein.

Neben den gesetzlichen Grundlagen stützt sich das ENSI bei der Überprüfung des Erdbebennachweises auch auf internationale Richtlinien, Richtlinien des ENSI sowie fachspezifische Normen.

Grundsätze zur Überprüfung der Erdbebenauslegung von nuklearen Anlagen sind im IAEA Safety-Guide „Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installations“ /165/ und in der KTA 2201 „Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen“ /174/ definiert.

Die Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse richten sich nach der Richtlinie ENSI-A01 /166/. Bestimmungen zur Quelltermanalyse sind in der Richtlinie ENSI-A08 /168/ enthalten, die Berechnung der Strahlenexposition ist in der Richtlinie G14 /169/ definiert.

Die der Beurteilung zugrunde liegenden fachtechnischen Normen sind im Kapitel 3.1 dieser Stellungnahme aufgeführt.

Mit Brief vom 30.11.2011 /1/ reichte das KKB gemäss Kapitel 3.1 der ENSI-Verfügung vom 1. April 2011 /154/ die Erdbebenfestigkeitsnachweise (Fragilities) für die zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens erforderlichen Bauwerke, Systeme und Komponenten fristgerecht ein. Die Dokumentation umfasst den zusammenfassenden Bericht /2/, die Berichte /3/ bis /6/ zu Erdbebeneinwirkungen und zu den lokalen Baugrundeigenschaften, die Erdbebenanalysen und Berechnungen der Etagenantwortspektren /7/ bis /15/ für das Reaktor-, das Nostands- und das Nebengebäude UN(E) sowie die Fragilityanalysen /16/ bis /19/ für elektrische und mechanische Komponenten.

Mit Brief vom 19. März 2012 /156/ forderte das ENSI ergänzende Angaben zu den mit Brief /1/ eingereichten Unterlagen, worauf das KKB mit Brief vom 30.03.2012 /20/ die Dokumente /21/ bis /97/ einreichte. Der zusammenfassende Bericht „Aktualisierung der Erdbebenfestigkeitsnachweise“ /21/ ist eine neue Revision des inzwischen überholten Berichts /2/. Dasselbe gilt für den Bericht „Aktualisierung der KKB-Komponentenfragilities“ /22/ inklusive den Beilagen /23/ und /24/, welche den Bericht /16/ inklusive Beilagen /17/ und /18/ ersetzen. Neu eingereicht wurden die Erdbebenberechnungen /25/ bis /27/ für den Dachaufbau des Nebengebäudes UN(C), für das Brennelementlagerbeckengebäude UN(B) und das Wehr Wettingen. Die Dokumente /28/ bis /96/ aus dem Jahr 2007 sind Bestandteil der probabilistischen Erdbebensicherheitsanalyse BERA-2009. Die in /28/ bis /96/ berechneten Erdbebenfragilities von Gebäuden und Ausrüstungen beziehen sich nicht auf das in der Verfügung /154/ definierte Zwischenresultat aus der Erdbebengefährdungsstudie Pegasos Refinement Project (PRP), sondern basieren auf den tendenziell höheren Erdbebeneinwirkungen aus der Vorgängerstudie PEGASOS. Der Umfang dieser Fragilityanalysen ist umfassend und beinhaltet auch Analysen für Gebäude und Ausrüstungen, welche für die Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens nicht zwingend erforderlich sind.

Mit Brief vom 30. März 2012 /98/ wurden die Unterlagen /99/ bis /107/ zum deterministischen Nachweis der Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens gemäss Kapitel 3.1 der Verfügung vom 1. April 2011 /154/ und der Kombination von Erdbeben mit Hochwasser gemäss Kapitel 3.3 von /154/ termingerecht eingereicht. Der Bericht /99/ fasst die Ergebnisse des Nachweises zusammen, Inhalt des Berichts /100/ ist die Dichtheit der Containment-Absperrung, der Bericht /101/ befasst sich mit der Einzelfehlersicherheit des KKB-Notstandsystems. Die Berichte /102/



/103/ und /107/ sind radiologische Analysen, die Dokumente /104/ bis /106/ sind Quelltermanalysen.

Ebenfalls am 30. März 2012 reichte das KKB mit Brief /108/ den deterministischen Sicherheitsnachweis /109/ sowie die radiologische Analyse /110/ für das Brennelementlagerbecken gemäss Forderung 4 aus der ENSI-Verfügung vom 5. Mai 2011 /155/ ein.

Im Nachgang zur ENSI-Inspektion vom 23. Mai 2012 reichte das KKB dem ENSI mit Brief vom 30. Mai 2012 /114/ die Referenzberichte /115/ bis /134/ zu den Fragilityanalysen /34/ bis /96/, die Walkdown-Datenbank /137/, die Fotos /138/ der Inspektion, die Systemschaltpläne /139/, eine Tabelle mit Fragility-Werten /140/ und Vortragsfolien /141/ ein.

Zusätzlich übermittelte das KKB dem ENSI verschiedentlich elektronische Dateien der Finite-Elemente-Modelle für das Reaktor- und das Notstandsgebäude sowie Excel-Tabellen mit Daten für die radiologischen Analysen.



## 2 Bewertung der Gefährdungsannahmen

### 2.1 Erdbebengefährdung

#### Ausgangslage: Projekte PEGASOS und PRP

In Anbetracht der fortwährenden Entwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik verlangte das ENSI im Jahre 1999 von den Kernkraftwerksbetreibern, die Erdbebengefährdung nach dem aktuellsten Stand der methodischen Grundlagen neu zu berechnen. Zur Umsetzung der Forderung des ENSI gaben die Kernkraftwerksbetreiber das Projekt PEGASOS (Probabilistische Erdbebengefährdungsanalyse für die KKW-Standorte in der Schweiz) in Auftrag. In Anlehnung an eine in den USA neu entwickelte Methode wurde in diesem Projekt die Erdbebengefährdung unter umfassender Berücksichtigung des Kenntnisstandes der internationalen Fachwelt ermittelt. Dazu wurden Fachleute von erdwissenschaftlichen und unabhängigen fachtechnischen Organisationen aus dem In- und Ausland beigezogen. Mit dem Projekt PEGASOS hat die Schweiz Neuland betreten. Es ist die erste und bisher einzige Studie dieser Art in Europa.

Das Projekt wurde vom ENSI von Anfang an mit einem projektbegleitenden Expertenteam überprüft. Das ENSI kam zum Schluss, dass mit dem Projekt PEGASOS die methodischen Vorgaben erfüllt wurden und dass hinsichtlich verschiedener Aspekte (Qualitätssicherung, Erweiterung der Methode auf die Charakterisierung der Standorteinflüsse) sogar ein neuer Stand der Technik erreicht wurde. Doch stellte das ENSI auch fest, dass die in den PEGASOS-Ergebnissen ausgewiesene Bandbreite der Unsicherheiten recht gross ist und durch weitere Untersuchungen verkleinert werden könnte.

Mit dem Ziel, die Unschärfe der PEGASOS-Ergebnisse zu reduzieren, starteten die Kernkraftwerksbetreiber im Jahr 2008 das von der swissnuclear geleitete „PEGASOS Refinement Project“ (PRP). Mitte 2009 wurde das PRP auf die damals neu vorgesehenen Kernkraftwerkstandorte erweitert. Die Hauptthemen des Projekts sind wie bereits bei PEGASOS die Charakterisierung der Erdbebenherde, der Erdbebenfortpflanzung und der seismologischen Bodeneigenschaften an den Standorten der Kernkraftwerke. Das PRP berücksichtigt die seit dem Abschluss von PEGASOS neu vorliegenden Erkenntnisse aus der Erdbebenforschung und die Resultate aus den neu durchgeführten Messungen der Bodenkennwerte an den Kernkraftwerkstandorten. In den ersten Projektjahren diskutierten die verschiedenen Expertengruppen des PRP den aktuellen Stand dieser jüngsten Entwicklungen bei jährlich bis zu 20 Arbeitstreffen. Im späteren Projektverlauf arbeiteten sie zunehmend auch an der Entwicklung der eigentlichen Eingabemodelle für die numerische Berechnung der Erdbebengefährdung. Voraussichtlich wird das PRP auf Ende 2012 abgeschlossen werden können. Das Projekt wird vom ENSI mit einem Expertenteam begleitend überprüft.

#### Angaben des Betreibers

Der Betreiber bestimmte die Erdbebengefährdung am Standort KKB in zwei Schritten, zuerst für den Felsuntergrund und dann daraus abgeleitet für verschiedene oberflächennahe Niveaus im Lockergestein bis zur Terrainoberfläche.

Für Referenzfelsbedingungen, wie sie für den Standort Beznau für eine Tiefe von 145 m festgelegt wurden, berechnete die swissnuclear im Auftrag des Betreibers die Erdbebengefährdung neu /3/. Diese Neuberechnung gründete auf den aktuellen per Mai 2011 aus dem PEGASOS Refinement Project (PRP) verfügbaren qualitätsgesicherten Daten, Expertenmodellen und Praktiken.



Da einige Untersuchungen im Rahmen des PRP noch nicht abgeschlossen waren, sind bei der Bestimmung der neuen, PRP Intermediate Hazard (PRP-IH) genannten Gefährdung einige vereinfachende Annahmen gemacht worden. Dabei wurden diese Annahmen bewusst vorsichtig getroffen, um die erwartete endgültige PRP Gefährdung nicht zu unterschätzen.

Ausgehend vom PRP-IH für den Referenzfels /3/ stellt der Bericht /4/ die Mittelwerte (mean) für die Gefährdungskurven und Erdbebenantwortspektren auf der Geländeoberfläche und auf einer Tiefe von -15 m dar, dies für jährliche Überschreitenshäufigkeiten von  $10^{-7}$  bis  $10^{-3}$ . Die Tiefe -15 m entspricht der Gründungstiefe des Reaktorgebäudes. Die den Berechnungen /4/ zugrunde liegenden Annahmen für die Eigenschaften des lokalen Baugrundes stützen sich auf Ergebnisse von umfangreichen Baugrunduntersuchungen im Jahr 2009 und auf Auswertungen der im PRP-Projekt involvierten Experten /97/. Auf der Geländeoberfläche in horizontaler Richtung resultiert bei einer Frequenz von 100 Hz eine maximale Bodenbeschleunigung (Peak Ground Acceleration PGA) von 0.348 g und eine maximale spektrale Beschleunigung von 1.20 g bei einer Frequenz von 10 Hz. Für die Vertikale wurden die Beschleunigungen in horizontaler Richtung mit dem Faktor  $2/3$  angesetzt. Im Vergleich zu PEGASOS resultiert an der Bodenoberfläche ein geringerer PGA-Wert und der maximale Spektralwert verschiebt sich von 5 Hz zu 10 Hz. Im nachfolgenden Bild 1 sind zum Vergleich die Breitband-Antwortspektren (Uniform Hazard Spectra UHS) an der Geländeoberfläche für das 50%-Fraktile (PEGASOS median, blau) und den Mittelwert (PEGASOS mean, grün) aus der Gefährdungsstudie PEGASOS sowie das Mean-Spektrum des PRP-IH (PRP mean Interoil, rot) dargestellt.

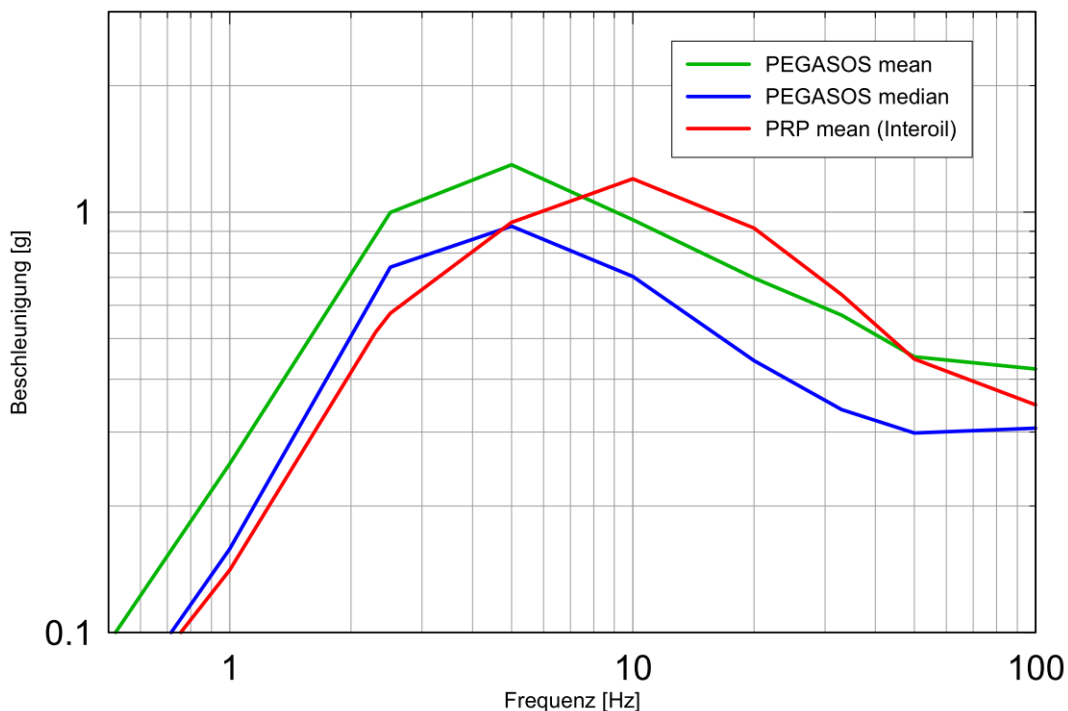


Bild 1: Vergleich Uniform Hazard Spektren an Geländeoberfläche, Dämpfung 5%, Jährlichkeit  $10^{-4}$

Basierend auf dem Antwortspektrum mit einer Jährlichkeit von  $10^{-4}$  an der Bodenoberfläche (Zielspektrum, vgl. Bild 1, rote Kurve) sind im Bericht /5/ für die horizontalen Hauptrichtungen x und y und die vertikale Richtung z je 30 probabilistische und je ein deterministischer Beschleunigungszeitverlauf generiert worden. Die probabilistischen Zeitverläufe decken in ihrer Summe das Zielspektrum ab, dies sowohl für das 50%- als auch für das 84%-Fraktile des Zielspektrums, wo-



bei das 50%-Fraktile auf der sicheren Seite liegend dem Mean-Antwortspektrum gleichgesetzt wurde. Während die probabilistischen Zeitverläufe in ihrer Summe abdeckend sind, deckt ein deterministischer Zeitverlauf das Zielspektrum allein ab. Die Zeitverläufe in /5/ haben eine Länge von 20 Sekunden, die Länge der einzelnen Zeitschritte beträgt 0.005 Sekunden.

Im Dokument /6/ wurden mit dem Programm SHAKE die beiden dehnungsabhängigen Bodenparameter Schubmodul und Dämpfung für jede einzelne Lockergesteinsschicht im lokalen Baugrund bis zu einer Tiefe von 145 m bestimmt. Während der Schubmodul abnimmt, erhöht sich die Dämpfung bei zunehmender Dehnung im Baugrund. Ausgangspunkt für Berechnungen sind das Bodenprofil P1 aus dem Pegasos-Refinement Projekt PRP /97/ und die Mean-Antwortspektren des PRP-IH an der Bodenoberfläche /4/. Mit den berechneten Schubmoduli wurden anschliessend für jede Schicht die entsprechenden Scher- und Kompressionswellengeschwindigkeiten hergeleitet. Die Scherwellengeschwindigkeiten bewegen sich zwischen 221 m/s nahe der Oberfläche und 1500 m/s in der Nähe des Referenzfelsens. Die Kompressionswellengeschwindigkeiten liegen in einem Bereich von 552 m/s bis 3375 m/s.

Unterhalb von 80 m Tiefe wird der Baugrund als linearelastisches Material mit einer Dämpfung von 0.5 % behandelt. Von der Bodenoberfläche bis zur Tiefe von 80 m resultieren Bodendämpfungen zwischen 1.9 und 6.7 %.

Die in den Berichten /5/ berechneten Beschleunigungszeitverläufe werden als Erdbebenanregung für die Gebäude verwendet. Bei den Boden-Bauwerks-Interaktionsanalysen für das Reaktor-, Notstands- und Nebengebäude UN(E) wird der Baugrund anhand der im Bericht /6/ bestimmten dynamischen Baugrundkennwerte charakterisiert.

### Beurteilung des ENSI

Mit der Verfügung vom 1. April 2011 /154/ forderte das ENSI die Betreiber auf, die seismischen Gefährdungsannahmen neu zu ermitteln. In der vom Betreiber eingereichten Neuberechnung der Erdbebengefährdung auf Referenzfelsenniveau /3/ ist dokumentiert, dass diese Berechnung, wie vom ENSI verlangt, auf dem neuen Erdbebenkatalog des Schweizerischen Erdbebendienstes und der aktuellen Resultate der Abminderungsmodellierung basiert. Die Vorgaben aus der Verfügung /154/ sind somit berücksichtigt worden.

Unter Berücksichtigung der bei Bestimmung der PRP-IH Gefährdung getroffenen Annahmen und Vereinfachungen akzeptiert das ENSI die neue Gefährdung als Grundlage für die Erbringung der gemäss Verfügung vom 1. April 2011 /154/ geforderten Nachweise. Es ist jedoch anzumerken, dass die Anwendbarkeit der PRP-IH Gefährdung zeitlich begrenzt wird. Nach Abschluss des PRP wird das ENSI neue Erdbebengefährdungsannahmen festlegen. Auf dieser neuen Grundlage werden die Erdbebensicherheitsnachweise erneut von den Betreibern zu erbringen und vom ENSI zu prüfen sein.

Die PRP-IH Gefährdung mit der maximalen Bodenbeschleunigung (PGA) auf Referenzfelsenniveau von 0.17 g liegt zwischen der PEGASOS Gefährdung (PGA von 0.23 g) und der bisher geltenden Gefährdung (PGA von 0.15 g). Das ENSI betrachtet diese Werte als plausibel. Es deutet sich damit an, dass der mit dem PRP angestrebte Abbau der in den PEGASOS-Ergebnissen enthaltenen Unsicherheiten tendenziell zu einer Reduktion des ausgewiesenen Gefährdungsniveaus führt.

In Zusammenarbeit mit einem externen Experten hat das ENSI die Angaben zum lokalen Baugrund und die Erdbebenantwortspektren sowie die künstlich erzeugten Erdbebenzeitverläufe an der Geländeoberfläche auch anhand von unabhängigen Berechnungen überprüft.

Im Bericht /6/ werden die Schubsteifigkeiten und Dämpfungen der Lockergesteinsschichten unter Berücksichtigung der unter Einwirkung des PRP-IH zu erwartenden Dehnungen bestimmt. Der



Bericht /97/ zum Baugrundmodell des KKB ist Bestandteil des Projekts PRP und entspricht dem aktuellen Standortmodell. Das ENSI hat die in /6/ zugrunde gelegten Ausgangswerte für die Scher- und Kompressionswellengeschwindigkeiten sowie die Funktionen zur Dehnungsabhängigkeit von Schubmoduli und Bodendämpfungen mit den Angaben im Bericht /97/ verglichen und Übereinstimmung festgestellt.

Zur Prüfung der Baugrundeigenschaften /6/ und der Antwortspektren an der Geländeoberfläche /4/ hat der vom ENSI beauftragte Experte die Übertragung der Erdbebenerschütterungen von der Geländeoberfläche bis zum Fels in einer Tiefe von 145 m mit dem Programm SHAKE nachgerechnet. Zu diesem Zweck wurden die deterministischen horizontalen Erdbebenzeitverläufe aus dem Bericht /5/ als Erregung an der Geländeoberfläche aufgebracht und daraus die resultierenden Bodenerschütterungen am Felshorizont ermittelt. Die Vergleichsrechnungen des ENSI-Experten zeigen eine deutliche Überhöhung der Bodenbewegungen durch die Bodenschicht ab etwa 5 Hz. Am deutlichsten ausgeprägt ist sie zwischen 10 bis 20 Hz, in diesem Bereich verstärkt das Lockergestein die Felterschütterungen bis hin zur Geländeoberfläche um den Faktor drei. Aufgrund dieser Vergleichsrechnungen erachtet das ENSI die PRP-IH-Spektren an der Geländeoberfläche /4/ im kleineren Frequenzbereich bis ca. 10 Hz als konservativ, im höheren Frequenzbereich zeigt sich eine qualitative Übereinstimmung der Übertragung durch den Baugrund. Zusätzlich wurde die Verschiebung der maximalen Spektralwerte der Oberflächenspektren von 5 Hz gemäss PEGASOS nach 10 Hz gemäss PRP-IH bestätigt.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass sowohl die in /6/ ausgewiesenen Baugrundeigenschaften zur Berechnung der Boden-Bauwerks-Interaktion als auch die Antwortspektren an der Geländeoberfläche /4/ als Referenzspektren für die Erdbebennachweise geeignet sind.

Die künstlichen probabilistischen und deterministischen Erdbebenzeitverläufe /5/ wurden hinsichtlich Übereinstimmung mit dem 10'000-jährlichen Antwortspektrum (Zielspektrum) auf der Geländeoberfläche /4/ überprüft. Zu diesem Zweck wurden für jeden der künstlichen Zeitverläufe aus /5/ Spektren generiert und mit dem Zielspektrum aus /4/ verglichen. Für die probabilistischen Zeitverläufe lässt sich eine gute Übereinstimmung mit dem Zielspektrum bis ca. 10 Hz feststellen, bei höheren Frequenzen weisen die Zeitverläufe im Vergleich zum Zielspektrum leicht geringere Beschleunigungen auf. Da die massgebenden ersten Eigenfrequenzen der Gebäude unter 10 Hz liegen, haben die etwas zu geringen Beschleunigungen bei Frequenzen über 10 Hz keinen grossen Einfluss auf die Erdbebennachweise und Etagenantwortspektren der Gebäude. Die aus den deterministischen Zeitverläufen generierten Antwortspektren zeigen eine gute Übereinstimmung mit dem Zielspektrum. Das ENSI erachtet die in /5/ dargestellten Zeitverläufe somit weitgehend als korrekt. Sie sind als Erdbebenanregung für die Gebäude geeignet.

## 2.2 Gefährdung Erdbeben in Kombination mit Hochwasser

### Angaben des Betreibers

Das KKB stützt sich bei der Bestimmung der Folgen von Wehrbrüchen auf Unterlagen, die bereits im Rahmen des Nachweises der Hochwassersicherheit des Standortes eingereicht wurden. Demnach ist beim Bruch des Wehrs Wettingen mit einer Fluthöhe im Bereich der KKB-Gebäude von bis zu 0.11 m über Terrainkote zu rechnen. Die einzelnen Brüche der Wehre Rupperts- will/Auenstein und Wildegg/Brugg sowie deren sequenzielles Versagen führen hingegen nicht zu einer Überflutung der Beznau-Insel. Ein gleichzeitiges Versagen der genannten drei Wehre führt gegenüber dem Einzelbruch des Wehrs Wettingen nicht zu einer Verschärfung der Überflutungssituation, weil die Flutwellen zeitlich versetzt am Standort KKB eintreffen. Aus diesem Grund betrachtet das KKB nur die Erdbebenfestigkeit des Wehrs Wettingen. Das KKB gibt an, dass der HCLPF-Wert des Wehrs über den Beschleunigungen eines 10'000-jährlichen Erdbebens liegt



und daher beim Auslegungsstörfall Erdbeben das KKB nicht überflutet wird. Darüber hinaus legt das KKB dar, dass für den aufgrund der ausgewiesenen Erdbebenfestigkeit des Wehres Wettingen als auslegungsüberschreitend eingeschätzten Fall eines Versagens die Überflutung mit 0.11 m im Bereich der KKB-Gebäude weit unterhalb der Auslegungsfluthöhe von 1.65 m bleiben würde.

### Beurteilung des ENSI

Die vom KKB durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass der Bruch des Wehres Wettingen grössere Auswirkungen auf den Standort KKB hat als einzelne Brüche der Wehre Rupperswil/Auenstein und Wildegg/Brugg. Weitere Wehre flussaufwärts der Aare oder Limmat, die sich im relevanten Umkreis des Standortes KKB befinden, betrachtet das KKB nicht. Aufgrund der relativ geringen Stauvolumina und der Entfernung dieser Wehre ist die Auswahl des KKB für die Untersuchung der Gefährdung des Standorts abdeckend.

Die vom KKB durchgeführte Berechnung für den Bruch des Wehres Wettingen basiert auf dem zweidimensionalen, für das relativ enge Limmattal eindimensionalen Modell, das das ENSI bereits für den Nachweis der Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers akzeptiert hat. Die gewählte Randbedingung, dass Niedrigwasser herrscht, ist konservativ, da in diesem Fall die Klappen des Wehres Beznau geschlossen sind und daher die Flutwelle fast vollständig über die Beznau-Insel abfliessen muss. Die erdbebeninduzierte Flutwelle führt dementsprechend zu einer Überflutung der Beznau-Insel.

Treibgut und Geschiebefracht sind in den Berechnungen nicht berücksichtigt. Durch diese können sich Verklausungen oder Auflandungen ergeben, die potenziell die Überflutungssituation des KKB verschärfen können. Allerdings sind die Klappen des Wehres Beznau bereits als geschlossen modelliert und die Turbinen des Hydraulischen Kraftwerks Beznau als still stehend. Daher ist zu erwarten, dass die maximale Überflutung durch den Bruch des Wehres Wettingen im Bereich der KKB-Gebäude deutlich unterhalb der Auslegungsüberflutungshöhe des KKB von 1.65 m liegt.



## 3 Methodik zur Überprüfung der Erdbebenauslegung

### 3.1 Methodische Vorgaben

Bei einem deterministischen regelwerksbasierten Erdbebennachweis wird ein Bemessungsspektrum, für Komponenten ist das das Etagenantwortspektrum am Aufstellungsort, in Kombination mit möglichen anderen Belastungen auf die zu betrachtenden Strukturen, Systeme und Komponenten (SSK) aufgebracht. Anstelle von Bemessungsspektren werden alternativ auch daraus abgeleitete Erdbebenzeitverläufe als Anregung verwendet. In der Regel wird ein Spannungsnachweis nach den Bestimmungen der Bauvorschrift geführt. Gegebenenfalls sind weitere Nachweise (Verschiebungen, Verformungen, Bruchmechanik, Standsicherheit, Knicken, Beulen etc.) zu führen. Um Unsicherheiten bezüglich der Einwirkungen, der Modellierung oder der Materialkennwerte abzudecken, werden Sicherheiten im Nachweis eingebaut, indem die zulässigen Spannungen reduziert und allenfalls die Einwirkungen mit Lastbeiwerten erhöht werden. Der deterministische Nachweis ist erbracht, wenn die mit reduzierten Spannungen berechnete Festigkeit einer Struktur grösser ist als die in der Struktur wirkende Summe aller Einwirkungen.

Deterministische Nachweise für druckführende maschinentechnische Komponenten werden nach den Vorgaben des ASME-Codes /176/ geführt. Analog gelten für Stahlbetonbauwerke die Vorgaben aus der Norm SIA 261, wobei für die Erdbebenüberprüfung von bestehenden Bauwerken die Normen SIA 269 und insbesondere das Merkblatt SIA 2018 zur Anwendung kommen. Die Durchführung von Rütteltischversuchen an elektro- oder maschinentechnischen Komponenten richtet sich nach der KTA2201.4 /174/ sowie der IEEE /175/.

Mit der Verfügung vom 1. April 2011 /154/ wurde eine derartige Vorgehensweise nicht zwingend gefordert. Alternativ waren auch seismische Erdbebenfestigkeiten (Fragilities), wie sie für die probabilistische Erdbebensicherheitsanalyse verwendet werden, zugelassen.

Eine Fragility beschreibt die seismisch bedingte Versagenswahrscheinlichkeit einer SSK in Abhängigkeit der Stärke des Erdbebens. Die Fragility-Kurven der SSK werden mittels Fragility-Analysen ermittelt. Dabei wird in einem ersten Schritt die Mediankapazität  $A_m$  einer SSK bestimmt. Die Mediankapazität entspricht dem 50%-Fraktile der Versagenswahrscheinlichkeit der SSK. In einem zweiten Schritt wird die zweidimensionale Unsicherheitsverteilung der Tragfähigkeit der SSK ermittelt. Diese berücksichtigt sowohl die Unsicherheiten aufgrund der Modellierung (epistemische Unsicherheit  $\beta_U$ ) als auch zufällige Variationen der Parameter (aleatorische Unsicherheit  $\beta_R$ ).

Aus den so ermittelten Fragility-Kurven werden die HCLPF-Tragfähigkeitswerte (High Confidence of Low Probability of Failure) abgeleitet. Der HCLPF-Wert repräsentiert eine Beschleunigung (beim KKB z.B. auf der Geländeoberfläche), bei der für die betrachtete SSK eine ca. 1%-ige Versagenswahrscheinlichkeit besteht. Der HCLPF Wert wird mit der Formel

$$HCLPF = A_m e^{-1.65(\beta_R + \beta_U)}$$

berechnet, wobei  $A_m$  der Median der Beschleunigungskapazität ist und die Parameter  $\beta_R$  und  $\beta_U$  der Lognormalverteilung den aleatorischen und epistemischen Streuungen der Kapazität entsprechen. Anhand der HCLPF-Werte werden schliesslich für den deterministischen Erdbebensicherheitsnachweis die Sicherheitsmargen beim 10'000-jährlichen Erdbeben ausgewiesen.

Die Vorgehensweise bei der Bestimmung der seismischen Fragilities wird ausführlich in den Dokumentationen /171/, /172/ und /173/ des Electric Power Research Institute (EPRI) beschrieben. Dort findet man auch die Beschreibung der alternativen Methode zur Berechnung der HCLPF-Kapazitäten mit der "Conservative Deterministic Failure Margins (CDFM)" Methode.



### 3.2 Prüfverfahren des ENSI

Um die Aussagen des Betreibers zum deterministischen Nachweis des KKB zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens beurteilen zu können, prüfte das ENSI ausgehend von den im Kapitel 2 dargelegten Gefährdungsannahmen die Analyseschritte des Erdbebennachweises wie folgt.

#### *Prüfung der Auswahl der relevanten SSK*

Das ENSI hat geprüft, ob unter den in der Verfügung vom 1. April 2011 /154/ festgelegten Randbedingungen (s. Kapitel 1.1) die zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens erforderlichen Sicherheitsfunktionen und Sicherheitssysteme (einschliesslich deren Hilfssysteme) vom Betreiber identifiziert wurden. Um die Kernkühlung zu gewährleisten, bedarf es folgender Sicherheitsfunktionen /170/:

- Abschaltsicherheit,
- Kühlmitelein speisung in den Reaktordruckbehälter (RDB),
- Wärmeabfuhr aus dem RDB,
- Bereitstellung und Erhalt des Kühlmittels.

Für den Erhalt des Kühlmittels spielt die Integrität des Primärkreises eine entscheidende Rolle. Die Integrität des Containments (insbesondere des Abschlusses) wurde bei den Druckwasserreaktoren nur dann geprüft, wenn die Integrität des Primärkreises nicht sichergestellt werden kann.

Sofern der Betreiber mehr als einen Pfad zum Abfahren der Anlage in einen sicheren Zustand beim Erdbebennachweis kreditiert hat, konzentriert sich die Prüfung auf den seismisch robustesten Abfahrpfad. Als sicherer Zustand gilt, wenn die Anlage mindestens in den Zustand „Heiss-Abgestellt“ gebracht wird und dort längerfristig (mindestens 72 Stunden) gehalten werden kann.

Des Weiteren wurde geprüft, ob alle Bauwerke und Ausrüstungen identifiziert wurden, die für die einzelfehlersichere Funktion der Sicherheitssysteme erforderlich sind. In diesem Zusammenhang wurden auch Anlagenbegehungen durchgeführt, um zu prüfen, inwieweit diese Bauwerke und Ausrüstungen durch das erdbebenbedingte Versagen anderer, nicht zur Störfallbeherrschung erforderlicher Bauwerke und Ausrüstungen (sogenannte indirekte Auswirkungen) gefährdet werden können. Die Ergebnisse der Prüfung sind in Kapitel 4.1 dargestellt.

Entsprechend den Ausführungen in Kapitel 1.1 wurde auch noch geprüft, ob unter den in der Verfügung vom 5. Mai 2011 /155/ festgelegten Randbedingungen die Brennelementbeckenkühlung sichergestellt ist. Hierzu bedarf es der Wärmeabfuhr aus den BE-Lagerbecken und des Erhalts der Integrität der BE-Lagerbecken. Die Ergebnisse der Prüfung sind in Kapitel 5.1 dargestellt.

#### *Prüfung der Erdbebengefährdung für die SSK*

Das ENSI hat die Berechnungen der Erdbebenanregung des KKB nachvollzogen. Es hat Stichproben und Resultatvergleiche für die Bestimmung der Erdbebenanregung und die Boden-Bauwerks-Interaktionsanalyse durchgeführt, um die Qualität der Nachweise und die Plausibilität der Resultate zu beurteilen.

Die als Erdbebenanregung in die seismischen Gebäudeanalysen eingegebenen Gefährdungsannahmen wurden durch Vergleiche der verwendeten Breitbandspektren (UHS) mit den aus dem PRP-IH als Zwischenresultate bestimmten UHS und durch die Kontrolle der verwendeten Skalierungsfaktoren geprüft. Im Weiteren hat das ENSI mit eigenen Berechnungen geprüft, ob die aus



den UHS hergeleiteten Beschleunigungszeitverläufe den Frequenzgehalt der Erdbebenanregung korrekt repräsentieren.

Für die Boden-Bauwerks-Interaktionsanalysen hat das ENSI die Bodenprofile und mit Stichproben die Eingabedaten der Gebäudemodelle geprüft. Es beurteilt die modellierte Gebäudegeometrie und die mit den Modellen repräsentierten Eigenfrequenzen und Schwingungsformen aufgrund von Plausibilitätskontrollen.

#### *Prüfung der Erdbebenfestigkeiten der SSK*

Bei der Prüfung der Erdbebenfestigkeiten von Bauwerken, Systemen und Komponenten durch das ENSI werden die Fragilities im Hinblick auf ihre Verwendung für den deterministischen Erdbebensicherheitsnachweis bewertet. Die Prüfung des ENSI umfasst folgende Schritte:

- Die Prüfung der zur Herleitung der probabilistischen Fragilities verwendeten Methodik,
- die Überprüfung von stichprobenartig ausgewählten Bauten und Komponenten auf der Basis von Auslegungsberechnungen oder vergleichbaren regelwerksbasierten Analysen oder Versuchen sowie
- die Überprüfung der unterstellten Versagensmechanismen.

Das ENSI hat die Fragilities auf Plausibilität hinsichtlich der Verwendung für den deterministischen Erdbebensicherheitsnachweis geprüft. Mit der Plausibilitätsprüfung begutachtete das ENSI die Fragilities und HCLPF-Werte der relevanten Gebäude und Komponenten. Die Plausibilitätsprüfung erfolgte auf qualitativer Basis. Einige Fragility-Analysen wurden einer vertieften Überprüfung unterzogen. Dabei wurden einzelne Berechnungsschritte nachvollzogen und insbesondere beurteilt, ob einzelne Variablen der Fragility-Berechnung, wie Dämpfung, Eigenfrequenz oder Festigkeit glaubwürdig hergeleitet und kreditiert wurden.

Zudem wurde auch eine Plausibilisierung der HCLPF mit deterministischen Methoden vorgenommen. So wurden insbesondere Fragility-Berechnungen aller relevanten Bauwerke vertieft geprüft. Das ENSI hat zu diesem Zweck unabhängige Vergleichsrechnungen, Plausibilitätsbetrachtungen und Vergleiche mit vorgängig geprüften Berechnungen durchgeführt. Es hat dabei auch die für die Bauwerke angenommenen Versagensarten hinterfragt.

Die deterministische Überprüfung der Fragility-Berechnungen von mechanischen Komponenten erfolgte auf der Basis von Auslegungsberechnungen oder vergleichbaren regelwerksbasierten Analysen. Durch Vergleich der ursprünglichen angesetzten Lasten und der vorhandenen Sicherheitsmargen der Spannungsnachweise mit den aus der neuen Gefährdungsannahme abgeleiteten Werten, lassen sich die HCLPF-Werte unabhängig plausibilisieren.

Für die unabhängige Überprüfung der seismischen Festigkeit von elektrischen Ausrüstungen wurde auf die Resultate von Schwingungstests zurückgegriffen. Der Plausibilitätsnachweis basiert auf dem Vergleich der damals angesetzten Prüfbeschleunigungswerte mit den aus dem PRP-IH hergeleiteten Etagenantwortspektren.

#### *Prüfung der radiologischen Nachweise*

Mit Hilfe radiologischer Analysen wird nachgewiesen, dass für alle während der Lebensdauer einer Anlage zu erwartenden und für alle nach menschlichem Ermessen nicht auszuschliessenden Störfälle die Anlage so ausgelegt ist, dass dabei keine für die Umgebung unzulässigen Dosen auftreten.

Generell umfassen die für die Bestimmung der radiologischen Auswirkungen notwendigen Analysen:



- den Aufbau des Aktivitätsinventars im Brennstab und im Reaktorkühlmittel,
- den Transport radioaktiver Stoffe innerhalb der Anlage bis zur Freisetzung in die Umgebung (Bestimmung des Quellterms),
- die Ausbreitung der freigesetzten radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre und Ablagerung auf dem Boden,
- die Strahlenbelastung der Bevölkerung.

Es entspricht der internationalen Praxis, für den Nachweis der Einhaltung von Dosiswerten konservative Berechnungsergebnisse zu verlangen. Damit wird sichergestellt, dass die ausgewiesenen Dosen einen oberen Wert der zu erwartenden radiologischen Auswirkungen darstellen.

Das ENSI hat die eingereichten Rechenmodelle sowie deren Annahmen und Eingabeparameter auf Nachvollziehbarkeit und Plausibilität überprüft. Punktuell wurden Quelltermbeiträge auch nachgerechnet und auf Übereinstimmung mit Anforderungen der ENSI-A08 /168/ überprüft. Für die grössten Dosisbeiträge hat das ENSI gemäss ENSI-G14 /169/ die Auswirkungen in der Umgebung nachgerechnet und mit den Ergebnissen von KKB verglichen.

### **3.3 Nachweisführung durch die Betreiber**

#### Angaben des Betreibers

Der vom KKB eingereichte deterministische Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens umfasst ausgehend von den im Kapitel 2 dargelegten Gefährdungsannahmen folgende Analyseschritte:

- Identifikation der zur einzelfehlersicheren Beherrschung des Erdbebens (Kern- und Brennelementbeckenkühlung) erforderlichen Strukturen, Systeme und Komponenten (SSK),
- Ermittlung der Erdbebengefährdung für die SSK,
- Ermittlung der Erdbebenfestigkeiten der erforderlichen SSK und Nachweis der Erdbebensicherheit,
- Ermittlung der radiologischen Konsequenzen des Erdbebens.

#### *Auswahl der relevanten SSK*

Im *ersten Analyseschritt* berücksichtigt das KKB für den Erdbebenachweis bei einem unterstellten Ausfall der externen Stromversorgung und der Kühlwasserfassung aus der Aare nur die Funktion jener SSK, die für das 10'000-jährliche Erdbeben ausreichend qualifiziert sind. Im Wesentlichen handelt es sich hierbei zur Sicherstellung der Kernkühlung um Funktionen, die vom Notstandsystem automatisch übernommen werden. Es wird angenommen, dass beide Blöcke von dem Erdbeben betroffen sind und dass mit Ausnahme der gemeinsam genutzten Systeme und Komponenten sowie passiver Komponenten ein Einzelfehler in jedem Block auftritt. Die Auswirkung verschiedener Einzelfehler wird diskutiert und es wird aufgezeigt, dass beide Blöcke je nach Einzelfehlerannahme entweder in den Zustand „heiss abgestellt“ oder „kalt abgestellt“ (Abkühlen über die Dampferzeuger) überführt werden können. Auslegungsgemäss vorgesehene Operateurmassnahmen für den Einsatz von Notstandausrüstungen sind in den ersten 10 Stunden nur bei Vorliegen eines Einzelfehlers und nicht vor Ablauf der ersten 30 Minuten erforderlich.

Zur Sicherstellung der Brennelementbeckenkühlung werden ausschliesslich interne Notfallschutzmassnahmen kreditiert, die nicht zwingend innerhalb der ersten 72 Stunden zu ergreifen sind. Die Operateur- und Notfallschutzmassnahmen sind für beide Blöcke des KKB in Vorschriften festgelegt und der Zugang für die Durchführung dieser Massnahmen ist aufgrund der ge-





troffenen Vorsorgemassnahmen auch unter Erdbebenbedingungen rechtzeitig möglich. Die für die Brennelementbeckenkühlung erforderlichen Notfallausrüstungen sind neu erdbeben- und überflutungssicher auf dem Kraftwerksgelände gelagert. Die Auswirkungen eines Versagens der Brennelementlagerbeckenanschlüsse hinsichtlich eines unzulässigen Füllstandabfalls in den Brennelementlagerbecken werden analysiert.

#### *Ermittlung der Erdbebengefährdung für die SSK*

Aufgrund des von swissnuclear bestimmten PRP-IH auf dem Referenzfels /3/ sind unter Berücksichtigung der im Rahmen des Projekts PRP bestimmten Baugrundeigenschaften die Erdbebenspektren an der Geländeoberfläche /4/ und daraus die deterministischen und probabilistischen Erdbeben-Beschleunigungszeitverläufe an der Geländeoberfläche /5/ bestimmt worden. Diese Beschleunigungszeitverläufe wurden als Erdbebeneinwirkung auf das Reaktor-, Notstands- und Nebengebäude UN(E) aufgebracht, für welche das KKB unter Berücksichtigung der Boden-Bauwerks-Interaktion neue probabilistische und deterministische Etagenantwortspektren berechnete. Die Etagenantwortspektren beschreiben die erdbebenbedingten Erschütterungen (Beschleunigungen) an ausgewählten Standorten innerhalb eines Gebäudes. Im Rahmen dieses Erdbebennachweises verwendete das KKB bei der Neubewertung von Komponentenfragilitäten ausschliesslich die probabilistischen und nicht die deterministischen Etagenantwortspektren. Die probabilistischen Etagenantwortspektren zeigen die Streubreite der Spektrformen auf und diesbezügliche Unsicherheiten können direkt ausgewertet werden. Die probabilistischen Etagenantwortspektren stellen somit nicht nur die Erdbebeneinwirkung auf Systeme und Komponenten dar, sondern sind auch eine Grundlage zur Bestimmung der aleatorischen Unsicherheit  $\beta_R$ . Eine Vielzahl von Komponentenfragilitäten beruht auf der letzten PSA-Studie BERA-2009. Diese Komponentenfragilitäten stützen sich nicht auf die neuen, sondern auf Etagenantwortspektren ab, die aufgrund der Gefährdungsstudie PEGASOS bestimmt wurden. Das KKB berücksichtigt diesen Umstand beim Auswahlverfahren (siehe unten), welche Fragilitäten neu zu bewerten sind.

#### *Ermittlung der Erdbebenfestigkeiten für die SSK*

Bei der Beurteilung der Erdbebenfestigkeit eines aus mehreren Komponenten bestehenden Systems wird grundsätzlich wie folgt vorgegangen: Die Erdbebenfestigkeit einer Funktionskette ergibt sich als Minimum der Erdbebenfestigkeiten der Komponenten. Dies spiegelt den Gedanken wieder, dass eine Kette nur so stark ist wie ihr schwächstes Glied. Andererseits ergibt sich die Erdbebenfestigkeit des Gesamtsystems als Maximum der verfügbaren Funktionsketten. Hier spiegelt sich wieder, dass unter Berücksichtigung eines unabhängigen Einzelfehlers der Erfolg einer Redundanz ausreichend ist - auch wenn eine schwächere Redundanz versagt.

Das KKB verwendet für den deterministischen Erdbebensicherheitsnachweis die seismischen Fragilitäten, wie sie für die probabilistische Erdbebensicherheitsanalyse (Erdbeben-PSA) verwendet werden. Fragilitäten wurden vom KKB erstmals Mitte der 80er-Jahre ermittelt und seitdem mehrmals verfeinert.

Für die Bestimmung der Fragilitäten bzw. HCLPF-Werte hat KKB das Verfahren "Separation of Variables" gemäss EPRI TR-103959 /172/ verwendet. Als Erweiterung dieses Verfahrens hat das KKB das Erdbebenantwortspektrum an der Geländeoberfläche durch 30 individuelle Zeitverläufe beschrieben. Als Ausgangslage verwendete das KKB Fragilitäten, die 2007 für die neuste PSA-Studie des KKB (BERA-2009) durchgeführt wurden. Die Analysen der BERA-2009 berücksichtigten die PEGASOS-Antwortspektren an der Geländeoberfläche und beziehen sich auf die maximale spektrale Beschleunigung (SA) bei einer Frequenz von 5 Hz. Die für den vorliegenden Erdbebensicherheitsnachweis ausgewiesenen Fragilitäten nehmen jedoch Bezug auf die maximale



Bodenbeschleunigung (PGA), weshalb die Fragilities aus der BERA-2009 mit dem Faktor 0.3308 multipliziert wurden. Dies entspricht dem Verhältnis der PGA zur maximalen SA.

In seiner Verfügung vom 1. April 2011 /154/ verlangte das ENSI, dass die seismischen Gefährdungsannahmen aus den PRP-Zwischenresultaten zu berücksichtigen sind. Das KKB hat deshalb überprüft, ob die bestehenden Fragility-Analysen die neuen Gefährdungsannahmen konservativ abdecken. Falls mindestens zwei der folgenden drei Kriterien erfüllt sind, wird eine Neubewertung der SSK nicht als notwendig erachtet:

- a) Die Eigenfrequenz resp. die für das Versagen relevante Frequenz liegt unterhalb von 6 Hz. Damit sind das Spektrum von PEGASOS und damit die bisherige Analyse konservativ abdeckend gegenüber dem PRP-IH.
- b) Die Ausrüstungen sind im Reaktorgebäude platziert und erfahren bei gleicher Freifeldbeschleunigung PGA bei der Spektrform von PRP-IH geringere lokale Erschütterungen als mit dem Spektrum von PEGASOS.
- c) Ihr bisheriger HCLPF-Wert ist grösser oder gleich 0.55 g bezogen auf die Spitzenbodenbeschleunigung PGA. Dies entspricht einem grossen Sicherheitsabstand von mehr als 1.5 gegenüber dem Wert von PRP-IH.

Für insgesamt 13 Komponentengruppen und 9 Gebäude oder Bauteile wurde eine Neubewertung der Grenztragfähigkeit durchgeführt. Einzelne Komponenten und Gebäude wurden neu bewertet, obschon zwei der drei Kriterien erfüllt waren. Diese Untersuchungen bestätigen, dass die bisherigen Analysen in der Regel abdeckend waren. Für den äusseren Zylindermantel und das Kuppeldach des Reaktorgebäudes sowie die Nebengebäude UN(B) und UN(E) sind komplett neue Erdbebennachweise mit nichtlinearen Verfahren durchgeführt worden. Die Fragility für das Nebengebäude UN(D) ist anhand einer Analogiebetrachtung zum Nebengebäude UN(E) abgeleitet worden, die Fragility für den oberen Teil des Nebengebäudes UN(C) basiert hauptsächlich auf Erdbebennachweisen von 1984 im Rahmen der seismischen Requalifikation (REQUA) des KKB. Ausserdem wurde eine neue Fragility-Berechnung für das Wehr Wettingen durchgeführt, wobei das KKB die Erdbebennachweise des Wehrs Wettingen in seinen Nachweisen nicht kreditiert und von einem Bruch des Wehrs Wettingen ausgeht (Nachweis Variante 2 aus Kapitel 1.1).

Die Neubewertung der mechanischen Komponenten umfasst die Absperrventile des Containments, die Druckhalterentlastungsventile, die Primär- und Sekundärleitungen, die Containmentisolation in den Durchdringungsräumen A und B und Komponenten der gefilterten Druckentlastung. Für die Notstand-Brunnenwasserpumpen ist eine neue Fragilityanalyse durchgeführt worden. Bei einigen Komponenten wurde auf ASME-Nachweise im Rahmen der Projekte REQUA bzw. NANO zurückgegriffen. Aus den Margen des Spannungsnachweises und den dem ASME-Code /176/ zugrunde liegenden Sicherheitsfaktoren wird ein sogenannter Mediankapazitätsfaktor als Ausgangsgrösse zur Bestimmung der Fragilities berechnet. In anderen Fällen basieren die Fragilities auf generischen Daten aus den EPRI-Dokumenten /171/ bis /173/ oder Erfahrungswerten.

Weil in der BERA-2009 teilweise konservative Annahmen getroffen wurden, sind die elektrischen Komponenten des Notstand-Leitstands, der Notstand Leittechnik, des Notstand-Wechselstroms sowie des Notsand-Gleichstroms und der Ventilatoren neu bewertet worden. Für die Neubewertung wurden neue Gebäudeknoten ausgesucht, die näher bei den zu untersuchenden Komponenten liegen. Für die Bestimmung der Erdbebennachweise der elektrischen Komponenten wurden neu die Ergebnisse von Sinus-Schwingversuchen mitberücksichtigt, zusätzlich zu den auch bisher berücksichtigten Testantwortspektren der Rütteltischversuche.

Im Rahmen dieses Erdbebennachweises bezieht das KKB seine Fragilities auf die maximale Bodenbeschleunigung PGA an der Geländeoberfläche. Der Nachweis der Erdbebennachweise



wird anhand der HCLPF-Kapazitäten geführt. Diese müssen grösser sein als der Wert der PGA beim 10'000-jährlichen Erdbeben des PRP-IH.

$$HCLPF \geq 0.348 g$$

#### *Ermittlung der radiologischen Konsequenzen des Erdbebens*

Für die konservative Bestimmung der Dosen in der Umgebung der Anlage aufgrund von Emissionen radioaktiver Nuklide nach einem Erdbeben wurde unterstellt, dass alle seismisch nicht ausreichend qualifizierten Ausrüstungen infolge des Erdbebens versagen. KKB hat verschiedene Beiträge zur Dosis in der Umgebung /99/ identifiziert. Für die radiologischen Nachweise wird vorausgesetzt, dass das Containment nach einem Erdbeben auslegungsgemäss isoliert werden kann.

Für die radiologischen Untersuchungen infolge Versagen von Ausrüstungen auf der Primär- und Sekundärseite wurden grundsätzlich alle Gebäude des KKB und die in ihnen untergebrachten Systeme, vor allem Leitungen, Behälter, Filter und Ionentauscher von aktivitätsführenden Systemen, betrachtet. Im Containment sind die Rohrleitungen und Komponenten gegen Erdbeben ausgelegt. Im Nebengebäude gibt es Leitungen, die nach einem Erdbeben beschädigt sein könnten. Ist die Leitung aktivitätsführend, so wurde konservativ eine Freisetzung des gesamten radioaktiven Inventars unterstellt. Um sicher zu gehen, dass keine relevanten Systeme bei der Berücksichtigung fehlen, wurde ein strukturiertes Vorgehen gewählt. Mit Experten für Radiologie und Experten der Anlagensicherheit des KKB wurden die Systeme, die tatsächlich Aktivität enthalten oder enthalten können, identifiziert (14 Systeme) und betreffend ihres Aktivitätsinventars (mittlere bis hohe Aktivität, geringe Aktivität und keine Aktivität) eingestuft.

In radiologischen Analysen /110/ wurden Szenarien für den Leistungsbetrieb und für die Revision analysiert. Betreffend Freisetzung radioaktiver Stoffe aus dem Brennelementlagerbecken wurde u.a. ein sehr konservatives worst case Szenario (frisch ausgeladener Kern mit Brennelementschäden) untersucht.

Alle Quellterm- und Ausbreitungsberechnungen erfolgen gemäss den Richtlinien ENSI-A08 /168/ und ENSI-G14 /169/.

#### Beurteilung des ENSI

##### *Auswahl der relevanten SSK*

Aus Sicht des ENSI berücksichtigt das KKB im zu erbringenden Erdbebennachweis die in der Verfügung vom 1. April 2011 /154/ festgelegten systemtechnischen Randbedingungen. Das KKB zeigt allerdings im vorliegenden Nachweis nicht explizit auf, dass beide Blöcke über mindestens 72 Stunden im sicheren Zustand gehalten werden. Das KKB hat jedoch bei seinen Untersuchungen im Rahmen des EU-Stresstests /142/ nachgewiesen, dass die Treibstoffreserve der Notstand-Dieselegeneratoren der limitierende Faktor für die langfristige Sicherstellung der Kernkühlung darstellt. Da die Treibstoffreserve der Notstand-Dieselegeneratoren für 10 Tage ausreicht, wurde somit aufgezeigt, dass die Kernkühlung in beiden Blöcken deutlich über 72 Stunden sichergestellt ist. Die genannten Untersuchungen wurden vom ENSI bestätigt /160/.

Insgesamt gesehen entspricht die Vorgehensweise des KKB zur Identifikation der zur Beherrschung des Erdbebens erforderlichen SSK den Vorgaben in der ENSI-Verfügung vom 1. April 2011 /154/. Der in der Verfügung vom 5. Mai 2011 /155/ festgelegte Prüfumfang für die Brennelementlagerbecken wird durchgeführt.



### *Ermittlung der Erdbebengefährdung für die SSK*

Mit der Anwendung des PRP-IH als Erdbebengefährdung auf dem Referenzfels und der Verwendung von Baugrundeigenschaften aus dem Projekt PRP zur Entwicklung von Antwortspektren und Beschleunigungszeitverläufen an der Geländeoberfläche erfüllt das KKB die Vorgaben aus der Verfügung vom 1. April 2011 /154/. Die Berechnung der probabilistischen Etagenantwortspektren für das Reaktor- und Notstandsgebäude anhand von 30 probabilistischen Erdbebenzeitverläufen pro Richtung und unter Berücksichtigung der Boden-Bauwerks-Interaktion entspricht einem hohen Standard. Die für die Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens erforderlichen Systeme und Komponenten befinden sich fast ausschliesslich im Reaktor- und Notstandsgebäude.

### *Ermittlung der Erdbebenfestigkeiten für die SSK*

Das ENSI stellt fest, dass die von KKB angewendeten Methoden zur Ermittlung der seismischen Fragilities dem Stand der Technik für Kernkraftwerke entsprechen. Dabei sind folgende Punkte zu erwähnen:

- Das ENSI beurteilt das vom KKB angewendete Verfahren zur Berücksichtigung der aktuell anzunehmenden Erdbebengefährdung PRP-IH als sinnvoll.
- Die Evaluation der neu zu bewertenden Fragilities ist nachvollziehbar begründet und dokumentiert.
- In einigen Fällen basieren die Fragility-Berechnungen auf besonders aufwändigen Analysen (Pushover-Analysen), die aus Sicht des ENSI modernsten, anerkannten Analysemethoden entsprechen.
- Die Methodik zur Bestimmung der HCLPF-Tragfähigkeitswerte aus den Fragility-Kurven bzw. den Parameter  $A_m$ ,  $\beta_R$  und  $\beta_U$  ist korrekt.

### *Ermittlung der radiologischen Konsequenzen des Erdbebens*

KKB hat die möglichen Abgabepfade radioaktiver Stoffe in die Umgebung nach einem schweren Erdbeben infolge des Abfahrens des Reaktors (unter Einbezug verschiedener Einzelfehlerszenarien) und infolge Versagen von Ausrüstungen auf der Primär- und Sekundärseite eingehend betrachtet und nachvollziehbar beschrieben.

Die in den radiologischen Analysen beschriebenen Quellen radioaktiver Stoffe sind auf Basis des beschriebenen Schadensbildes und der gewählten Methodik des KKB nach Auffassung des ENSI für den vorliegenden Nachweiszweck ausreichend erfasst.



## 4 Erdbebennachweis für die Kernkühlung

### 4.1 Erforderliche Bauwerke und Systeme

#### Angaben des Betreibers

Bei auslegungsgemässer Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens erfolgt im KKB die Auslösung der Reaktorabschaltung sowie die sekundärseitige Wärmeabfuhr und Stabilisierung der Anlage bis in den Anlagenzustand „heiss abgestellt“ durch das Notstand-Schutzsystem. Ein weiteres Abkühlen der Anlage in den Zustand „kalt abgestellt“ muss von der Notfalleitung angeordnet werden und erfordert den Einsatz der Notstand-Kaltfahrleitung bei einer Temperatur im Reaktorkühlsystem von unter 120 °C /99/.

Bei einem Ausfall der sekundärseitigen Wärmeabfuhr infolge Einzelfehler kann die Anlage alternativ mit Hilfe der Betriebsweise primärseitiges Feed-and-Bleed druckentlastet und abgekühlt werden /101/. Hierbei wird Kühlmittel gezielt aus dem Primärkreislauf in das Containment abgelassen. Zum Erhalt des Kühlmittels und zur Rückhaltung radioaktiver Stoffe wird der Nachweis des Containment-Abschlusses geführt /100/, indem die Absperrarmaturen aller Containment-Durchdringungen daraufhin analysiert werden, ob deren Schliessfunktion erforderlich ist. Hierbei wurden folgende Anforderungen berücksichtigt:

- Leitungen von Durchdringungen, die direkt an den Primärkreislauf anschliessen, müssen über zwei Armaturen abgesichert sein,
- Leitungen von Durchdringungen, die nicht direkt an den Primärkreislauf anschliessen aber mit der Containment-Atmosphäre in Verbindung stehen, müssen über eine Armatur abgesichert sein,
- Leitungen von Durchdringungen, die nicht direkt an den Primärkreislauf anschliessen und für die innerhalb des Containments der Integritätsnachweis bei Erdbeben nachgewiesen wurde, müssen über keine Armatur abgesichert sein.

Der auf eine Armatur beschränkte Integritätsnachweis wird damit begründet, dass der Übergang in den Feed-and-Bleed-Betrieb bereits einen Einzelfehler bei der sekundären Wärmeabfuhr voraussetzt und somit kein weiterer Einzelfehler mehr zu unterstellen ist. Die Auslösung des Containment-Abschlusses erfolgt in den meisten Fällen entweder über bei seismisch induzierten Rohrleitungsbrüchen selbsttätig schliessende Armaturen wie Rückschlagarmaturen oder über Armaturen die bei seismisch bedingtem Ausfall der Spannungs- oder Steuerluftversorgung ein „fail-closed“ Verhalten aufweisen. Da das Reaktorschutzsystem, über das die Armaturen auch direkt angesteuert werden, seismisch deutlich robuster ist als insbesondere die Spannungsversorgung, kann von einer zuverlässigen Auslösung des Containment-Abschlusses ausgegangen werden. In einzelnen Fällen bedarf es des Schliessens von Motorarmaturen, die direkt über das Notstand-Schutzsystem angesteuert werden und Notstand-spannungsversorgt sind.

Zur Sicherstellung der Kernkühlung berücksichtigt das KKB die folgenden seismisch qualifizierten Systeme /101/:

- Reaktorschnellabschaltung,
- Borwasser-Vorratstank (BOTA, Bereitstellung von borierterem Wasser),
- Notstand-Sperrwassersystem (Borierung des Reaktorkühlsystems und Verhinderung eines Kühlmittelverlustes über die Hauptkühlmittelpumpen-Dichtungen),
- Notstand-Speisewassersystem (Wärmeabfuhr über die Dampferzeuger, Abkühlung des Reaktorkühlsystems bis auf 120 °C),



- Notstand-Brunnenwassersystem (langfristige Wasserversorgung des Notstand-Speisewassersystems und der Kühlung der Notstand-Dieselgeneratoranlage),
- Dampferzeuger-Sicherheitsventile (Begrenzung eines unzulässigen Druckerhöhunges in den Dampferzeugern und Wärmeabfuhr),
- Frischdampf-Abblaseventile (Abkühlen der Anlage auf 120 °C),
- Ausrüstungen für den Feed-and-Bleed-Betrieb einschliesslich der Notstand-Rezirkulation und Not-Kaltfahrleitung (Abkühlen der Anlage unter 120 °C),
- Notstand-Dieselgeneratoranlagen beider Blöcke (Versorgung der Notstand-Stromverbraucher),
- 6-kV-Querverbindung (Versorgung der Notstand-Stromverbraucher in beiden Blöcken bei Ausfall der Dieselgeneratoranlage eines Blockes),
- Querverbindung zwischen den Notstand-Brunnenwassersystemen beider Blöcke (bei Ausfall der Notstand-Brunnenwasserpumpe eines Blockes).

In /21/ sind die für den Nachweis der Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens kreditierten Bauwerke und Ausrüstungen mit den ermittelten Erdbebenfestigkeiten aufgeführt. Der Nachweis umfasst die Bauwerke

- Notstandsgebäude,
- Reaktorgebäude,
- BOTA-Gebäude und
- Nebengebäude UN(C), UN(D) und UN(E),

und betrifft alle Systeme und Ausrüstungen in den Notstandsgebäuden und den BOTA-Gebäuden. In den Reaktorgebäuden wird die Funktion der Steuerstabantriebe, die Integrität des Primärkühlkreislaufs mit den anschliessenden Leitungen und die Funktion der erforderlichen Containment-Isolationsarmaturen, die Funktion der Druckhalter-Sicherheitsventile, die Integrität des Sekundärkreislaufs bis einschliesslich der Frischdampf-Schnellschlussarmaturen sowie die Integrität der Leitungen der nicht zur Störfallbeherrschung erforderlichen Systeme KAC, PRW, QIA, KCH innerhalb des Containments nachgewiesen. Weiterhin wird der Nachweis für die Integrität der auf dem Dach des Nebengebäudes UN(D) angeordneten Frischdampfstation inklusive der Frischdampf-Abblaseventile und der Dampferzeuger-Sicherheitsventile und für die Funktionstüchtigkeit der Containment-Isolationsarmaturen der Durchdringungsbereiche A und B im Nebengebäude UN(C) geführt. Der Nachweis für das Nebengebäude UN(E) soll sicherstellen, dass die Operateure nach Auftreten eines Einzelfehlers auch kurzfristig vom Hauptkommandoraum in den Notstandleitstand gelangen können.

### Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat den eingereichten Erdbebennachweis basierend auf den in Kap. 3.2 aufgeführten Anforderungen daraufhin geprüft und bewertet, ob die für die Sicherstellung der Kernkühlung erforderlichen SSK berücksichtigt wurden.

Aus Sicht des ENSI sind vom KKB für beide Blöcke alle Systeme in den Erdbebennachweis einbezogen worden, deren Sicherheitsfunktion für die langfristige Sicherstellung der Kernkühlung auch unter der Annahme eines Einzelfehlers erforderlich sind. Die Auswirkungen von Einzelfehlern wurden umfassend unter Berücksichtigung aller für die Notstandfunktionen erforderlichen Hilfssysteme analysiert. Der im Notstand-Speisewassersystem korrekterweise unterstellte Einzelfehler führt dazu, dass der Erdbebennachweis auch auf die Containmentisolation auszuweiten ist. Die vom KKB durchgeführte Analyse der hierfür erforderlichen Absperrarmaturen erachtete das ENSI für plausibel. Mit den im Rahmen des Projektes AUTANOVE durchgeführten Anlagenänderungen wird es zukünftig zwei seismisch durchgängig qualifizierte Systeme zur sekun-



därseitigen Wärmeabfuhr geben, so dass der Anlagenzustand „heiss abgestellt“ langfristig einzelfehlersicher gehalten werden kann.

Für das Abkühlen der Anlage über die Dampferzeuger bedarf es basierend auf den vom KKB erbrachten Erdbebennachweisen bisher des Öffnens der Frischdampf-Abblaseventile vor Ort. Alle anderen Massnahmen zur weiteren Abkühlung der Anlage können hingegen vom Notstandleitstand durchgeführt werden. Auch wenn ausreichend Zeit und mehrere Alternativen für den Zugang zu den Abblaseventilen bestehen, bedarf es aus Sicht des ENSI einer Überprüfung, wie die Ansteuerung der Abblaseventile vom Notstandleitstand durchgängig erdbebenfest ausgeführt werden kann.

**Forderung 1:** *Das KKB hat zu überprüfen, wie die Frischdampf-Abblaseventile durchgängig erdbebenfest vom Notstandleitstand angesteuert werden können.*

In den Erdbebennachweis sind alle Bauwerke einbezogen worden, deren Standfestigkeit für die Sicherstellung der Kernkühlung erforderlich sind. Der Umfang der nachzuweisenden mechanischen und elektrischen Komponenten wurde aufgrund der Vielzahl vom ENSI stichprobenartig geprüft und wird als plausibel beurteilt.

Im Rahmen einer Inspektion hat sich das ENSI davon überzeugt, dass die zur Störfallbeherrschung erforderlichen Komponenten nicht durch andere, seismisch schwächere Ausrüstungen gefährdet werden können, was insbesondere auf die weitgehende räumliche Trennung der Notstandsausrüstungen zurückzuführen ist. Diesbezüglich wurden seitens KKB umfangreiche Anlagenbegehungen durchgeführt und deren Ergebnisse in einer Datenbank dokumentiert.

Für die nach dem Abschluss des Projektes PRP anstehende Aktualisierung der eingereichten Erdbebennachweise bedarf es allerdings einer nachvollziehbareren Dokumentation des berücksichtigten Umfangs an mechanischen und elektrischen Komponenten. Das ENSI wird diesbezügliche Vorgaben noch konkretisieren.

Zusammenfassend kommt das ENSI zu dem Ergebnis, dass alle zur langfristigen Sicherstellung der Kernkühlung erforderlichen SSK über den vom KKB eingereichten Erdbebennachweis abgedeckt sind und für diese Erdbebenfestigkeitsnachweise eingereicht wurden.

## **4.2 Erdbebengefährdung für die Bauwerke und Ausrüstungen**

### Angaben des Betreibers

In der Studie BERA-2009 sind für alle sicherheitsrelevanten Gebäude Etagenantwortspektren berechnet worden, basierend auf der PEGASOS-Gefährdung. Für diesen Erdbebennachweis besonders relevant sind die SSK in den Reaktor- und Notstandsgebäuden, weshalb das KKB für diese Gebäude neue deterministische und probabilistische Etagenantwortspektren auf Grundlage des PRP-IH bestimmte. Zusätzlich entwickelte das KKB für das Nebengebäude UN(E) neue deterministische, jedoch keine probabilistischen Etagenantwortspektren.

Zur Bestimmung von deterministischen und probabilistischen Etagenantwortspektren des Reaktorgebäudes sind Analysen zur Boden-Bauwerks-Interaktion mit dem Programm SASSI durchgeführt worden. Die für diese Analysen zugrunde gelegten Baugrundkennwerte entstammen dem Bericht /6/. Als Einwirkung zur Bestimmung der deterministischen Etagenantwortspektren /7/ wurde pro Richtung je ein deterministischer Zeitverlauf an der Geländeoberfläche aus dem Dokument /5/ ausgewählt. Analog wurden als Einwirkung zur Bestimmung der probabilistischen Etagenantwortspektren /10/ pro Richtung je 30 probabilistische Zeitverläufe aus /5/ ausgewählt. Die PGA dieser Erdbebenzeitverläufe ist jeweils auf 1.0 g skaliert. Zur Berechnung von Eta-



genantwortspektren wurden die mit der Boden-Bauwerksanalyse bestimmten Übertragungs- und Impedanzfunktionen auf ein dreidimensionales Finite-Element-Modell des Reaktorgebäudes übertragen. Die Übertragungsfunktion stellt die Fundamentbewegung im Verhältnis zur Freifeldbewegung dar, die Impedanzfunktion die Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften des Interaktionssystems Boden-Bauwerk. In der deterministischen Analyse /7/ werden maximale Beschleunigungen für über die Höhe verteilte Knoten an der äusseren Gebäudehülle und dem Stahlcontainment sowie deterministische Etagenantwortspektren für 14 ausgewählte Knoten der inneren Struktur unter Annahme einer Dämpfung von 5% dargestellt. Ergebnisse für Dämpfungen von 2%, 4% und 7% sind auf DVD geliefert worden. In der probabilistischen Analyse /10/ werden vergleichbare Ergebnisse wie in der deterministischen /7/ dargestellt, die Knotenbeschleunigungen und Etagenspektren sind jedoch mit 30 verschiedenen Boden-Bauwerks-Analysen unter Berücksichtigung der 30 probabilistischen Zeitverläufe aus dem Bericht /5/ bestimmt und statistisch ausgewertet worden. Der Bericht /10/ zeigt jeweils die 50%- und 84%-Fraktile der berechneten Knotenbeschleunigungen und Etagenantwortspektren. Die Ergebnisse in /10/ wurden mit der Latin Hypercube Methode entwickelt, wobei die vier Parameter Steifigkeit und Dämpfung des Bodens sowie Steifigkeit und Dämpfung des Gebäudes in den Berechnungsgängen zufällig variiert wurden. Zu Vergleichszwecken enthalten die Berichte /7/ und /10/ ebenfalls Etagenantwortspektren, die im Rahmen der 2007 durchgeführten probabilistischen Sicherheitsanalyse BE-RA-2009 mit Erdbeben nach PEGASOS ermittelt wurden.

Für das Notstandsgebäude wurden unter Berücksichtigung des PRP-IH ebenfalls neue deterministische /8/ und probabilistische /11/ Etagenantwortspektren bestimmt. Das Vorgehen zur Bestimmung dieser Spektren ist analog zum Vorgehen für das Reaktorgebäude.

Für das Nebengebäude UN(E) sind analog zum Reaktor- und Notstandsgebäude neue deterministische Etagenantwortspektren /9/, aber keine probabilistischen bestimmt worden.

Die für das Reaktor- und das Notstandsgebäude neu berechneten probabilistischen Etagenantwortspektren dienen als Grundlage zur Bestimmung der Fragilities von Komponenten und Systemen, die für die Kernkühlung nach einem Erdbeben erforderlich sind.

### Beurteilung des ENSI

Besondere Aufmerksamkeit wurde der Prüfung der Etagenantwortspektren des Reaktor- und Notstandsgebäudes geschenkt. Die deterministischen Etagenantwortspektren dieser Gebäude sind von einem beauftragten Experten unabhängig nachgerechnet worden, die probabilistischen sind mit Quervergleichen zu den deterministischen plausibilisiert worden. Dieser Quervergleich ist aussagekräftig, weil das KKB zur Ermittlung der probabilistischen und deterministischen Etagenantwortspektren die gleichen mittleren Baugrundkennwerte /6/ sowie die gleichen SASSI- und Gebäudemodelle für die Boden-Bauwerks-Interaktion verwendete. Bei den probabilistischen Etagenantwortspektren wurde zusätzlich geprüft, ob die bei der Latin Hypercube Methode verlangte Variation von Einflussparametern korrekt durchgeführt wurde.

Grundlage für die Nachrechnungen waren die für die Berichte /7/ und /8/ verwendeten SASSI-Modelle, deren Daten dem ENSI in elektronischer Form übergeben wurden. Die Gebäudedaten der SASSI Modelle wurden auf das Programm SOFiSTiK umgesetzt, da dieses Programm für weiterführende Gebäudeanalysen besser geeignet ist als SASSI.

Ein Vergleich der Modellgeometrie mit Planunterlagen ergab beim Reaktorgebäude für die wesentlichen Baustrukturen eine gute Übereinstimmung. Auch die Modellmassen liegen mit 57'240 t in der erwarteten Größenordnung. Die Komponentenmassen wurden berücksichtigt, nicht jedoch Nutzlasten auf Betondecken und Gitterrosten. Da die Nutzlasten im Vergleich zu den Komponentenmassen gering sind, ist deren Vernachlässigung für das ENSI akzeptabel.



Beim Notstandsgebäude hat ein Vergleich der Modelldaten mit Plänen im Gebäudebereich oberhalb des Erdgeschosses bei +327.0 m eine gute Übereinstimmung ergeben. Im Bereich der Gründung unterhalb +327.0 m gibt es Abweichungen zwischen den Notstandsgebäuden von Block 1 und 2. Unterhalb des im SASSI-Modell abgebildeten Notstandsgebäude von Block 2 verläuft der Kühlwasserkanal, der auf den zur Prüfung herangezogenen Plänen des Notstandsgebäudes von Block 1 fehlt. Die Gesamtmassen des SASSI-Modells für Block 2 mit Kühlwasserkanal liegen mit ca. 27'650 t etwa 13 % höher als die Massen für Block 1 mit ca. 24'500 t. Diese Differenz und auch die ermittelten Gesamtmassen der Gebäude sind aus Sicht des ENSI plausibel.

Aufgrund der Prüfung der Elementlängen der SASSI-Modelle lässt sich sagen, dass die Gebäudeantwortspektren für das Reaktorgebäude bis etwa 26 Hz, die Gebäudeantwortspektren für das Notstandsgebäude bis etwa 18 Hz zuverlässig sind. Die massgebenden Eigenfrequenzen der Gebäude liegen unterhalb dieser Frequenzen, die von KKB gewählte Diskretisierung des Bodens ist somit ausreichend fein.

Die vom ENSI-Experten berechneten Etagenantwortspektren stimmen mit den vom KKB ermittelten Spektren praktisch überein. Einzige Ausnahme bilden die vertikalen Etagenantwortspektren für das Notstandsgebäude, bei denen die vom ENSI-Experten berechneten Etagenantwortspektren unter jenen des Betreibers liegen (vgl. Bild 3). Diese Differenz ist ungeklärt, das ENSI leitet daraus jedoch keine Massnahmen ab, da es sich um eine Abweichung auf der sicheren Seite handelt.

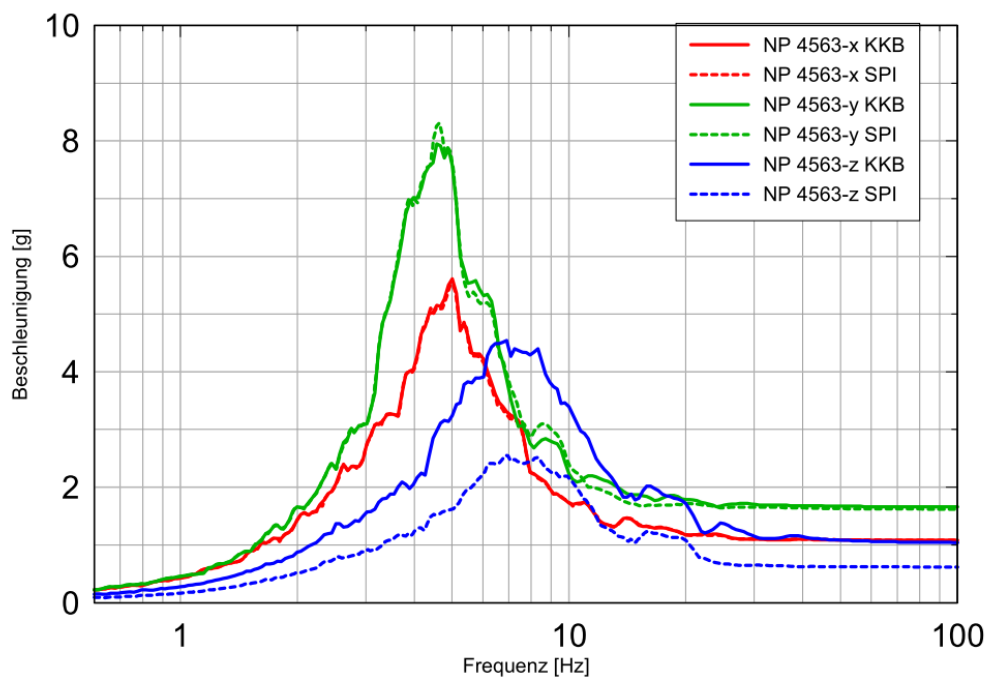


Bild 2: Vergleich deterministische Etagenantwortspektren Notstandsgebäude Kote +343.50 m für horizontale Richtungen x,y und vertikale Richtung z, Spektren KKB durchgezogen, Spektren ENSI-Experte gestrichelt, Dämpfung 5%

Innerhalb der Vergleichsberechnungen wurde der Einfluss einer bei deterministischen Erdbebenberechnungen erforderlichen Variation der Baugrundsteifigkeiten untersucht. Zu diesem Zweck wurde der mittlere dynamische Schubmodul mit Faktor 1.5 multipliziert und dividiert. Die mit dieser Sensitivitätsanalyse berechneten deterministischen Etagenantwortspektren liegen bis Faktor 1.4 höher als die entsprechenden Spektren des KKB, das keine Variation der Boden-



kennwerte vorgenommen hat. Da für den vorliegenden Erdbebennachweis ausschliesslich probabilistische Etagenantwortspektren verwendet wurden, ergeben sich daraus jedoch keine Konsequenzen. Sollten die deterministischen Etagenantwortspektren in /7/ und /8/ zukünftig für die Auslegung von Komponenten verwendet werden, sind diese aber um einen Faktor von 1.3 bis 1.4 zu erhöhen.

Zur Ermittlung der probabilistischen Etagenantwortspektren wurden die vier Parameter Bodensteifigkeit und -dämpfung sowie Gebäudesteifigkeit und -dämpfung unter Annahme von Lognormalverteilungen nach der Latin Hypercube Methode variiert. Zu diesem Vorgehen sowie zu den für die Parameter gewählten Streuungen bestehen aus Sicht des ENSI keine Einwände.

Bei den Berechnungen der Gebäudeantwortspektren in /10/ und /11/ wurden die für die Baugrundsteifigkeit ermittelten Variationsparameter irrtümlich auch für die anderen drei variierten Parameter Bodendämpfung sowie Gebäudesteifigkeit und -dämpfung angesetzt. Aufgrund des Vergleichs der probabilistischen mit den deterministischen Antwortspektren erachtet das ENSI die Konsequenzen dieser Verwechslungen als nicht gravierend. Die aus den Median- und 84%-Fraktile der probabilistischen Etagenantwortspektren abgeleiteten aleatorischen Streuungen  $\beta_R$  hält das ENSI trotz des vorgenannten Fehlers insgesamt für plausibel. Im nach Vorliegen der PRP-Ergebnisse zu erbringenden Erdbebennachweis ist die Parametervariation jedoch zu korrigieren.

Aufgrund der durchgeführten Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsbetrachtungen kommt das ENSI zusammenfassend zum Schluss, dass die auf Grundlage des PRP-IH-Erdbebens generierten Etagenantwortspektren für das Reaktor- und Notstandsgebäude weitgehend korrekt sind und dass die probabilistischen Etagenantwortspektren und ihre Streuungen als Grundlage zur Bestimmung von Komponentenfragilitäten geeignet sind.

## **4.3 Erdbebenfestigkeit der erforderlichen Bauwerke und Ausrüstungen**

### **4.3.1 Bauwerke**

#### Angaben des Betreibers

Im Rahmen der 2007 durchgeführten Studie BERA-2009 sind die Fragilitäten für die sicherheitstechnisch relevanten Gebäude überarbeitet worden. Dies sind das Reaktorgebäude US/UR, die Nebengebäude UN(A) bis UN(E), das BOTA- und ERGES-Gebäude UU, das Notstandsgebäude UP sowie das Maschinenhaus Ost UM. Als Erdbebeneinwirkung für diese Analysen wurden die Median-Antwortspektren der Jährlichkeit  $10^{-5}$  aus PEGASOS zugrunde gelegt. Die maximale Bodenbeschleunigung (PGA) dieser Spektren wurde auf 1.0 g normiert.

Im Rahmen des Erdbebennachweises für die Kernkühlung wurden die äussere Betonschale des Reaktorgebäudes UR, das Notstandsgebäude UP, die Nebengebäude UN(B), UN(D) und UN(E) sowie der Dachaufbau des Nebengebäudes UN(C) neu beurteilt, unter Berücksichtigung des PRP-IH gemäss Verfügung /154/.

Der Bericht /12/ enthält die Ergebnisse einer statisch nichtlinearen Pushover-Analyse für den äusseren Zylinder des Reaktorgebäudes. Die Analyse /12/ wurde mit dem Programm ATENA durchgeführt und basiert auf einem detaillierten 3D-Finite-Element-Modell aus Volumenelementen. Bei der Pushover-Analyse wird eine Baustruktur solange durch ständig gesteigerte horizontale Lasten beansprucht, bis die Struktur versagt. Unter Annahme von charakteristischen Materialkennwerten, nach Normen SIA sind dies die Werte für die schlechtesten 5% der getesteten Materialkennwerte, wurde für den äusseren Zylinder eine maximale Horizontalkraft von 125 MN ermittelt, bevor der Zylinder aufgrund der am Fuss wirkenden Querkraft und dem daraus folgenden



Bruch der sich ausbildenden Betondruckdiagonalen versagt. Auf Basis der statischen nichtlinearen Pushover Analysen sind im Bericht /14/ äquivalente Einmassenschwinger modelliert und Zeitverlaufsberechnungen mit den 30 probabilistischen Zeitverläufen aus /5/ durchgeführt worden. Ein äquivalenter Einmassenschwinger wird unter Anpassung von Massen, Last-Angriffspunkten und -faktoren derart ermittelt, dass er die gleiche globale Steifigkeit und die gleiche Grundeigenfrequenz aufweist wie das aufwändige Referenzmodell. Die in den Berechnungen /14/ ausgewiesenen HCLPF-Werte betragen für das globale Versagen des äusseren Zylinders 2.06 g, für die innere Stahlbetonstruktur 1.73 g und für lokale durch Anprall verursachte Schäden bei 1.12 g.

Die Erdbebenfestigkeit des Nebengebäudes UN(E) wurde wie beim Reaktorgebäude durch eine Pushoveranalyse /13/ und eine darauf basierende Analyse mit äquivalenten Einmassenschwingern unter Berücksichtigung von 30 Erdbebenzeitverläufen /15/ berechnet. Der HCLPF-Wert liegt bei 0.82 g, massgebend ist das Schubversagen von Stützen und Stahlbetonwänden.

Das KKB hat für das BOTA- und Notstandsgebäude keine neuen Fragilityanalysen durchgeführt, da die im Rahmen der BERA-2009 ermittelten HCLPF-Werte als abdeckend erachtet werden.

Für das Nebengebäude UN(D) wurden ebenfalls keine neuen Analysen durchgeführt. Die Nebengebäude UN(D) und UN(E) sind konstruktiv ähnlich und bisherige Analysen ergaben vergleichbare Erdbebenfestigkeiten, weshalb der HCLPF-Wert zu 0.66 g abgeschätzt wurde. Dies entspricht 80% des neu ermittelten HCLPF-Werts für das Nebengebäude UN(E).

Da sich im Nebengebäude UN(C) Containment-Isolationsarmaturen befinden, wurde für den Dachaufbau dieses Gebäudes, d.h. ab Kote +338 m bis zum Dach, eine neue Fragilityanalyse /25/ unter Berücksichtigung des PRP-IH durchgeführt. Als massgebend wird in /25/ Schubversagen einer Stahlbetonwand identifiziert, der entsprechende HCLPF-Wert beträgt 0.42 g. Grundlage für die Berechnungen in /25/ bildet ein exzentrisches Stabmodell aus Berichten zur Bestimmung von Etagenantwortspektren und Strukturdaten auf Grundlage des bisherigen Erdbebens SSE. Mit einem nach den Richtlinien EPRI bestimmten Faktor  $F_{shape}$  zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Form der SSE- und PRP-IH-Spektren ist schliesslich der HCLPF-Wert bezüglich des neu zu berücksichtigenden PRP-IH bestimmt worden. Nach /25/ liegt die erste Eigenfrequenz des Nebengebäudes UN(C) zufällig im Kreuzungspunkt der SSE- und PRP-IH-Spektren. Die auf die Baustruktur wirkenden Erdbebenkräfte verändern sich somit nur marginal.

Das KKB kommt zum Schluss, dass die Überprüfungen und Neuberechnungen der Fragilities die früheren seismischen Bewertungen der Gebäude, Strukturen und Komponenten des KKB bestätigen. Die Blöcke 1 und 2 weisen verglichen mit der ursprünglichen Auslegung erhebliche Sicherheitsmargen aus. Mit den modernen und verfeinerten Fragility-Analysemethoden werden höhere seismische Tragfähigkeiten ausgewiesen als mit den in den 1980er bis 1990er verwendeten Methoden. Damit wird insgesamt die Zunahme der mit den Projekten PEGASOS und PRP ermittelten Erdbebengefährdung abgedeckt.

Die vom KKB ermittelten Fragility-Werte für die relevanten Gebäude sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Alle HCLPF-Werte resp. Erdbebenkapazitäten der Gebäude übertreffen die maximale Bodenbeschleunigung PGA an der Geländeoberfläche von 0.348 g.



Gebäude	Mediankapazität $A_m$ [g]	Aleatorische Unsicherheit $\beta_R$	Epistemische Unsicherheit $\beta_U$	HCLPF [g]	Studie
Reaktorgebäude Innere Struktur	3.55	0.16	0.27	1.73	Neubewertung 2011/2012
Reaktorgebäude Betoncontainment	4.19	0.27	0.16	2.06	Neubewertung 2011/2012
Notstandsgebäude Block 1	3.57	0.18	0.33	1.51	BERA-2009
BOTA-Gebäude	1.30	0.18	0.35	0.54	BERA-2009
Nebengebäude C Dachbereich	0.77	0.21	0.16	0.42	Neubewertung 2011/2012
Nebengebäude D	1.55	0.19	0.34	0.66	Neubewertung 2011/2012
Nebengebäude E	1.94	0.19	0.34	0.82	Neubewertung 2011/2012

*Tabelle 1: Erdbebenfestigkeiten für die massgebenden Bauwerke*

### Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat die neuen Fragilityanalysen für das Reaktorgebäude und die Nebengebäude UN(B), UN(C) und UN(E) sowie die Analogiebetrachtung für das Nebengebäude UN(D) geprüft. Aus der probabilistischen Sicherheitsanalyse BERA-2009 sind die Fragilities des Notstands- und des BOTA-Gebäudes plausibilisiert worden. Die übrigen in der BERA-2009 behandelten Gebäude enthalten Komponenten, die für den vorliegenden Erdbebennachweis nicht relevant sind, weshalb eine Prüfung dieser Gebäude nicht erforderlich war.

Die Erdbebennachweise (Fragilities) für das Reaktorgebäude und das Nebengebäude UN(E) sind in zwei Analyseschritten durchgeführt worden. In einem ersten Schritt wurden anhand von statischen nichtlinearen Pushoveranalysen für das Reaktor- /12/ und das Nebengebäude UN(E) /13/ Kraft-Verformungskurven generiert. Dieser Ansatz hat die entscheidenden Vorteile, dass die Abnahme der Gebäudesteifigkeit bei zunehmender Horizontallast erfasst und der Versagensmechanismus der Gebäude eindeutig berechnet und nicht nur abgeschätzt wird. Im Nebengebäude UN(E) sind die Wände zur Aufnahme von Erdbebenkräften ungleichmässig über den Grundriss verteilt, unter Erdbebeneinwirkung wird das Gebäude somit nicht nur in der Richtung des Erdbebens bewegt sondern wird zusätzlich verdreht (Torsion). Da in den Pushoveranalysen /12/ und /13/ 3D-Finite-Element-Gebäudemodelle verwendet wurden, sind Torsionseffekte in den Kraft-Verformungskurven implizit berücksichtigt. Die in diesen Kurven dargestellten Verschiebungen beziehen sich jeweils auf die Schwerpunkte der Dächer. Das für die Pushoveranalyse verwendete Programm ATENA ist anerkannt und liefert glaubwürdige Ergebnisse.

In einem zweiten Schritt sind die Fragilities für das Reaktor- /14/ und das Nebengebäude UN(E) /15/ anhand von äquivalenten Einmassenschwingern bestimmt worden. Die Kraft-Verformungsbeziehungen aus den Analysen /12/ und /13/ sind in /14/ und /15/ adäquat in bilineare Kraft-Verformungsfunktionen zur Erfassung des elastischen und plastischen Verformungsverhaltens der Baustrukturen umgesetzt worden. Da die Kraft-Verformungskurven aus /12/ und /13/ auf detaillierten nichtlinearen Modellen basieren und Torsionseffekte implizit berücksichtigt sind, erachtet das ENSI die vereinfachte Erfassung des globalen Bauwerksverhaltens mit nichtlinearen



Einmassenschwingern als akzeptabel. Dies insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Einmassenschwinger in /14/ und /15/ nur dazu dienen, bestehende Unsicherheiten für die Probabilistik rechnerisch zu erfassen und nicht als eigentliche Strukturanalysen gedacht sind, welche mit den Pushoveranalysen /12/ und /13/ durchgeführt wurden.

Im Modell der Einmassenschwinger sind auch die Steifigkeit und Dämpfung des Baugrundes berücksichtigt worden. Die angesetzten Dämpfungen für die Gesamtsysteme Boden-Bauwerk liegen im Bereich der Vorgaben aus der KTA-Regel 2201.3 /174/. Die für den Einmassenschwinger ermittelten Grundfrequenzen stimmen gut mit den für die Gebäude durchgeführten Boden-Bauwerks-Analysen und früheren Erdbebenanalysen mit 3D-Finite-Elementenmodellen überein. Die Unsicherheiten in den Annahmen der Kraft-Verformungsbeziehungen und den Materialeigenschaften wurden in unterschiedlichen Eigenschaften der Einmassenschwinger berücksichtigt. Die in den probabilistischen Analysen /14/ und /15/ festgelegten Versagenskriterien, maximale Schiefstellung von 0.5% für das Reaktorgebäude sowie Verschiebeduktilität von 2.40 für das Nebengebäude UN(E) sind abgedeckt durch die in den Pushoveranalysen /12/ und /13/ berechneten Kraft-Verformungskurven. Mit einfachen Handrechnungen hat das ENSI festgestellt, dass die Verschiebungen unter Einwirkung des PRP-IH für die äussere Stahlbetonschale des Reaktorgebäudes und für das Nebengebäude UN(E) deutlich unter den Bruchverschiebungen liegen, die Tragsicherheit somit gewährleistet ist und auch nicht mit wesentlichen Bauwerksschäden zu rechnen ist. Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Erdbebenanalysen für das Reaktor- und Nebengebäude UN(E) eine hohe Qualität aufweisen und die Ergebnisse plausibel sind.

Im Bericht /25/ ist ersichtlich, dass die Eigenfrequenz des Nebengebäudes UN(C) ziemlich genau auf dem Kreuzungspunkt des bestehenden SSE-Spektrums und des neuen PRP-IH-Spektrums liegt, wobei das SSE- und das PRP-IH-Spektrum auf eine PGA-Beschleunigung von 1.0 g skaliert sind. Das geänderte Spektrum hat somit keine wesentlichen Änderungen der zu berücksichtigenden Erdbebenersatzkräfte zur Folge und bisherige vom ENSI akzeptierte, auf dem Erdbeben SSE beruhende Berechnungen bilden eine gute Grundlage zur probabilistischen Analyse /25/. Die in /25/ ausgewiesenen Erdbebenkapazitäten des Nebengebäudes UN(C) erachtet das ENSI als korrekt.

Das KKB schätzt den HCLPF-Wert des Nebengebäudes UN(D) auf 80% des HCLPF-Werts des Nebengebäudes UN(E). Dies mit der Begründung, dass die Gebäudestrukturen vergleichbar sind und die bisherigen Fragilityanalysen /75/ und /76/ der Studie BERA-2009 vergleichbare Resultate geliefert haben. Die Ergebnisse in den Berichten /75/ und /76/ sind jedoch in einigen Punkten fragwürdig. Insbesondere in der Analyse für das Nebengebäude UN(E) /76/ sind nach Ansicht des ENSI die in den Wänden wirkenden Querkräfte und Biegemomente unterschätzt worden. Die Aussagen im inzwischen überholten Bericht /76/ für das Nebengebäude UN(E) sind somit wenig belastbar und daher auch der auf diesen Bericht Bezug nehmende Vergleich der HCLPF-Werte. Aus Sicht des ENSI ist daher der HCLPF von 0.66 g für das Nebengebäude UN(D) resp. 80% des HCLPFs des Nebengebäudes UN(E) ungenügend abgesichert. Im Bericht /75/ zum Nebengebäude UN(D) hat das ENSI festgestellt, dass der Querkraftwiderstand einiger Wände leicht überschätzt wurde. Dennoch ist der in /75/ ausgewiesene HCLPF von 0.41 g für die globale Tragsicherheit plausibel und in Bezug auf den PRP-IH ausreichend. Nach Vorliegen der Endresultate aus der Erdbebengefährdungsanalyse PRP sind gemäss Verfügung vom 1. April 2011 /154/ die Erdbebenfestigkeitsnachweise neu zu führen. Im Rahmen dieser neuen Nachweise ist die auf einer Analogiebetrachtung basierende Fragility für das Nebengebäude UN(D) durch eine eigenständige Fragilityanalyse zu ersetzen.

Für das Notstandgebäude UP und das BOTA-Gebäude wurden keine neuen Berechnungen unter Berücksichtigung des PRP-IH durchgeführt. Im Vergleich zum Nebengebäude UN(C) mit einem HCLPF von 0.42 g ist die seismische Auslegung des BOTA-Gebäudes besser, weil mehr Erdbeben tragwände vorhanden sind und diese auch regelmässig über den Grundriss verteilt



sind. Der HCLPF-Wert von 0.54 g /78/ für das BOTA-Gebäude ist daher plausibel. Im Bericht /77/ werden für das Notstandsgebäude unter Berücksichtigung von PEGASOS sehr hohe Erdbebenkapazitäten ausgewiesen. Aufgrund der äusserst robusten Bauweise des Notstandsgebäudes bestätigt das ENSI die hohe Erdbebenkapazität des Gebäudes und erachtet den Tragsicherheitsnachweis für das Notstandsgebäude als erbracht.

Aufgrund der durchgeführten Vergleichsrechnungen und Plausibilitätsbetrachtungen kommt das ENSI zusammenfassend zum Schluss, dass die Tragsicherheitsnachweise für das Reaktorgebäude, das Notstandsgebäude, das BOTA-Gebäude sowie die Nebengebäude UN(C), UN(D) und UN(E) erbracht wurden.

Für die Verwendung der Fragilities zur Bewertung des Erdbebenrisikos im auslegungsüberschreitenden Bereich, wie das mit der PSA ausgewiesen wird, sieht das ENSI noch Klärungsbedarf. Dabei handelt es sich insbesondere um folgende Punkte:

- Beim BOTA-Gebäude UU wurde die Unschärfe wegen „Horizontal direction peak response“ nicht berücksichtigt. Es ist abzuklären, ob gemäss EPRI TR-103959 /172/ Tabelle 3 in diesem Fall (Specific direction response) ein Wert von 0.13 als  $\beta_R$  berücksichtigt werden sollte (was einen leicht kleineren HCLPF-Wert von 0.51 g statt 0.54 g ergibt).
- Im Bericht /14/ werden die Fragilities für das Reaktorgebäude neu berechnet, wobei erwähnt wird, dass die Erdbebennachweise für den Block 1 auch abdeckend gültig für den Block 2 sind. In Kap. 9.7.3 von /14/ wurden für die innere Stahlbetonstruktur aus dem Bericht /151/ die Daten des Blocks 2 übernommen. Nach Ansicht des ENSI sollten die ungünstigeren Daten des Blocks 1 eingesetzt werden. Eigene Abschätzungen des ENSI haben ergeben, dass die Unterschiede in den Werten von Block 1 zu Block 2 für den vorliegenden deterministischen Erdbebensicherheitsnachweis nicht relevant sind.
- Einige der Fragility-Analysen greifen auf ältere Analysen zurück, die dadurch u.U. noch eine Teilgültigkeit erlangen können. Hierdurch wird die Nachvollziehbarkeit und die Überprüfung erschwert. Das ENSI wird im Rahmen der Prüfung der KKB-PSA für entsprechende Gebäude und Komponenten eine Überarbeitung der Dokumentation verlangen.

Die Punkte sind bei der Überarbeitung der Fragilities im Rahmen der PSA zu berücksichtigen.

#### **4.3.2 Mechanische und elektrische Ausrüstungen**

##### Angaben des Betreibers

Im zusammenfassenden Bericht zu den Erdbebenfestigkeitsnachweisen /21/ stellt das KKB die Fragilities der für die Kernkühlung relevanten elektrischen und mechanischen Ausrüstungen zusammen. Eine Auswahl dieser Fragilities ist in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben.



Sicherheitsfunktion oder Komponentengruppe	Mediankapazität $A_m$ [g]	Aleatorische Unsicherheit $\beta_R$	Epistemische Unsicherheit $\beta_U$	HCLPF [g]	Studie
Steuerstabantriebe Kerneinbauten	2.10 2.60	0.27 0.27	0.38 0.44	0.72 0.81	BERA-2009
Verankerung Reaktor- druckbehälter	2.24	0.23	0.25	1.02	BERA-2009
Verankerung Druckhalter	1.84	0.28	0.28	0.73	BERA-2009
Druckhalter Entlastungsventile	1.54	0.25	0.31	0.61	Neubewertung 2011/2012
Verankerung Dampferzeuger	1.48	0.23	0.25	0.67	BERA-2009
Dampferzeuger- Sicherheitsventile	1.54	0.25	0.31	0.61	Neubewertung 2011/2012
Primär- und Sekundärlei- tungen	2.14	0.36	0.47	0.54	Neubewertung 2011/2012
Containmentisolation Durchdringungsraum B	1.17	0.25	0.31	0.46	Neubewertung 2011/2012
Borwasser-Vorratsstank (BOTA)	1.56	0.15	0.30	0.75	BERA-2009
Notstand- Sperrwassersystem	1.29	0.24	0.23	0.60	BERA-2009
Notstand- Speisewassersystem	1.29	0.24	0.23	0.60	BERA-2009
Notstand- Brunnenwassersystem	2.35	0.21	0.21	1.17	Neubewertung 2011/2012
Notstandsystem, Mecha- nische Ausrüstungen (Dieselgenerator)	1.29	0.24	0.23	0.60	BERA-2009
Notstand- Leitstandkomponenten	1.54	0.22	0.23	0.74	Neubewertung 2011/2012
Notstand-Leittechnik	1.76	0.22	0.23	0.84	Neubewertung 2011/2012
Notstand- Wechselstromkomponenten	1.84	0.24	0.33	0.73	Neubewertung 2011/2012
Notstand-Gleichstrom- und Ventilationskomponenten	1.53	0.24	0.44	0.50	Neubewertung 2011/2012

Tabelle 2: Erdbebenfestigkeiten für die massgebenden Systemen/Komponenten

### Elektrische Ausrüstungen

Die Basis für die Herleitung der seismischen Kapazitäten der elektrischen Komponenten sind die Fragilityanalysen in der letzten Probabilistischen Sicherheitsanalyse BERA-2009 /150/. Diese Analysen beinhalteten konservative Annahmen, insbesondere hinsichtlich der Wahl der repräsentativen Etagenantwortspektren und der Auswahl der Test-Response-Spektren aus Rüttelversuchen.

Für den vorliegenden Nachweis hat KKB deshalb die seismischen Kapazitäten der folgenden elektrischen Komponenten neu bestimmt:



- Notstand-Leitstandkomponenten,
- Notstand Leittechnik,
- Notstand-Wechselstromkomponenten,
- Notstand Gleichstrom- und Ventilationskomponenten.

Die neuen Analysen basieren auf Etagenantwortspektren von Gebäudeknoten, die näher bei den elektrischen Ausrüstungen liegen als bei den vorangegangenen Analysen. Zudem wurden für die Bestimmung der Erdbebenfestigkeiten weitere Versuchsergebnisse, insbesondere Sinusschwingversuche berücksichtigt. Für alle Untersuchungen wurden die aktuellen Boden-Bauwerks-Interaktionsberechnungen für das Notstandsgebäude verwendet /11/.

In Analogie zur BERA-2009 wurde auch in den neuen Berechnungen vereinfacht angenommen, dass sich die Notstand-Gleichstrom- und Ventilationskomponenten 11 m über Gelände, die Notstand Leittechnik 7 m über Gelände, der Notstandleitstand 7 m über Gelände und die Wechselstromkomponenten des Notstandes auf Geländehöhe befinden.

Die elektrischen Komponenten des Notstandleitstands wurden in Sinusschwingungsversuchen Beschleunigungen zwischen 0.9 g und 2 g ausgesetzt. Da Sinusschwingungsversuche eine länger andauernde und mehrfache Einwirkung im Vergleich zu Erdbebeneerschütterungen darstellen resp. das Material in den lang andauernden Sinusschwingversuchen im Gegensatz zu einer kurzzeitigen Erdbebeneinwirkung ermüdet wird, erhöhte das KKB die Beschleunigungen aus den Sinusschwingversuchen um einen Faktor gemäss Vorgaben aus der KTA 2201.4 /174/. Für Komponenten des Notstandleitstands wurde zum Beispiel ein Faktor 8 angesetzt.

Oben in Elektroschränken montierte Elektrokomponenten erfahren eine höhere Erdbebenbeschleunigung als am Fuss des Schrankes montierte Komponenten. Um diesem Verstärkungseffekt Rechnung zu tragen, werden die auf Sinusschwingversuchen basierenden Erdbebenkapazitäten mit einem Amplifikationsfaktor korrigiert. Die angewendeten Amplifikationsfaktoren haben Werte zwischen 2 und 3.3.

Die Erdbebenfestigkeiten für die Leittechnik-, Starkstrom-, Gleichstrom- und Ventilationskomponenten wurden mit einem analogen Verfahren bestimmt.

Die mit dem verfeinerten Verfahren bestimmten HCLPF-Werte liegen insgesamt höher als die in der BERA-2009-Analyse ausgewiesenen Werte.

### *Mechanische Ausrüstungen*

Wie einleitend erwähnt basieren die meisten Fragilityanalysen der mechanischen Ausrüstungen auf der letzten PSA (BERA-2009, /150/). Folgende Fragilities von mechanischen Komponenten wurden im Rahmen des vorliegenden Nachweises neu bewertet:

- die Primär- und Sekundärleitungen,
- die Absperrventile des Containments,
- die Druckhalterentlastungsventile,
- die Containmentisolation in den Durchdringungsräumen A und B.

Die neu bestimmten Fragilities der Ventile zur Druckentlastung und zur Containmentisolation basieren auf generischen Angaben aus den EPRI-Dokumenten /171/ bis /173/.

Für die Ermittlung der Fragilities der Primär- und Sekundärleitungen wurde auf Auslegungsrechnungen im Rahmen des REQUA-Projektes zurückgegriffen. Betrachtet wurden die Integrität der Rohrleitungen und deren Abstützungen, wobei die Abstützungen limitierend sind. Der Betreiber gibt HCLPF-Werte von 1.28 g für die Rohrleitungen und 0.54 g für die Abstützungen an.





Ebenfalls auf der Basis von REQUA-Berechnungen wurden die horizontalen Abstützungen von Reaktordruckbehälter (RDB) und Druckhalter bewertet. Die Sicherheit gegen Abscheren unter Einwirkung der Lasten des bisherigen SSE beträgt 4.61. Daraus resultiert ein HCLPF-Wert von ca. 0.58 g. Die Abstützungen des Druckhalters haben grössere Margen, weshalb die Erdbebenkapazität gleich der des RDB gesetzt wurde.

Für die Bestimmung der Fragilities für das Steuerstabsantriebssystem wurde auf Berechnungen im Zusammenhang mit dem Langzeitbetrieb aus dem Jahre 1999 /118/ zurückgegriffen. Das KKB weist für die Integrität der Abstandhalter der Brennelemente, die zur Gewährleistung der Reaktorschnellabschaltung erforderlich ist, einen HCLPF-Wert von 0.81 g aus.

Die Bewertung des nur am Fundament befestigten BOTA-Tanks erfolgte ebenfalls im Rahmen von BERA-2009, wo ein HCLPF von 0.75 g PGA ermittelt wurde. Massgeblich ist Behälterbeulen im Fussbereich. Die Abschätzung der Beullast erfolgte nach einer Vorgehensweise entsprechend EPRI NP-6041 /171/ für vertikale Tanks.

Limitierend für die Gruppe der Notstands-ausrüstungen sind die Starterbatterien für die Notstandsdiesel mit einem HCLPF von 0.60 g. Untersucht wurden Plattenbeulen, die Schweißnähte der Stützen und Halterung, wobei letztere durch Versagen im Beton führend sind. Die Eingangskenngrößen basieren auf Analysen des Herstellers. Für den Notstandsdiesel wurde ebenfalls Versagen der Halterungen im Beton unterstellt.

## Beurteilung des ENSI

### *Elektrische Ausrüstungen*

Für die stichprobeweise Überprüfung der elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen wurden folgende repräsentative Ausrüstungen ausgewählt:

- Antriebsmotor der Notspeisewasserpumpe, LSE-Gebäude,
- Leittechnikschrank, LSE-Gebäude,
- Schaltschrank Niederspannungsschaltanlage, Notstandsgebäude,
- Schaltschrank Mittelspannungsanlage, Notstandsgebäude,
- Schreiber und Bedienfeld, Notstandsgebäude,
- Steuerpult, Notstandsgebäude,
- Ladegleichrichter, Notstandsgebäude,
- Notspeisewasserventile, LSE- und Notstandsgebäude.

Dabei wurden die, aus den Schwingungsversuchen bekannten Prüfbeschleunigungen der genannten Komponenten mit den von KKB neu berechneten Etagenantwortspektren verglichen. Der Antriebsmotor der Notstandspeisewasserpumpe und die Leittechnikschränke im Notstandsgebäude weisen vergleichbare Erdbebenfestigkeiten auf wie die aufgeführten Ausrüstungen im LSE-Gebäude.

Der Datenvergleich zeigt, dass die Starrkörperbeschleunigungswerte aus den Schwingungstests mindestens die Erdbebenbeschleunigungen aus den massgebenden Etagenantwortspektren abdecken. Die Überprüfung der für die jeweiligen Ausrüstungen ausgewiesenen Qualifikationswerte hat ergeben, dass die Daten aus den Fragility-Analysen der eingesetzten elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen plausibel sind.



### *Mechanische Ausrüstungen*

Die durch Erdbeben erzeugten Lasten werden bei der Auslegung der mechanischen Ausrüstungen (druckführende Behälter, Rohrleitungen, Armaturen und Pumpen) berücksichtigt. Sie sind im Vergleich zu den relevanten Betriebs- und Störfalllasten gering und spielen deshalb in der Regel eine untergeordnete Rolle. Diese generelle Feststellung gilt auch für die erhöhten PRP-IH-Gefährdungsannahmen. In der Auslegung der druckführenden Komponenten werden Sicherheitsmargen angewendet, die Unsicherheiten der Berechnungsmethoden und der Materialkennwerte konservativ abdecken. Diese Sicherheitsmargen decken auch die aufgrund der neuen PRP-IH-Gefährdungsannahmen geringfügig erhöhten Auslegungsspannungen ab.

Erdbebenlasten sind jedoch für die Halterungen der Komponenten von Bedeutung, da diese neben dem Eigengewicht insbesondere auch die seismischen Lasten abzutragen haben. Insofern ist es für das ENSI nachvollziehbar, dass für die vom KKB ingenieurmässig festgelegte Versagensart überwiegend ein Versagen der Halterungen angenommen wurde.

Die Mehrheit der vom KKB ausgewiesenen Erdbebenkapazitäten basieren auf generischen Angaben in den EPRI-Dokumenten /171/ bis /173/, auf Erfahrungswerten oder auf Einschätzungen von Experten, die im Rahmen der BERA-2009 ausgiebige Anlagenbegehungen /31/ durchführten. Das ENSI hat diese Klasse von Fragilities aufgrund folgender Auswahl von Komponenten und Systeme stichprobenartig überprüft:

- Containment-Isolationsventile innerhalb Containment,
- Containment-Isolationsventile Durchdringungsräume A und B,
- Druckhalterentlastungsventile.

Das ENSI hat die im Walkdown-Bericht /31/ festgehaltenen Resultate der Anlagenbegehungen überprüft und eine eigene Begehungen im Rahmen einer Inspektion durchgeführt. Es hat sich dabei überzeugt, dass die generischen Fragilities methodenkonform abgeleitet wurden. In einigen Fällen wurden mit Rohrleitungssystemen interagierende Einzelkomponenten isoliert betrachtet. Dies kann für den vorliegenden Nachweis aufgrund der Tatsache, dass die generischen Fragilities aus den EPRI-Guides konservativ angesetzt sind, akzeptiert werden. Insgesamt erachtet das ENSI die generisch bestimmten Erdbebenfestigkeiten (Fragilities) von mechanischen Komponenten als plausibel.

Die folgenden Komponenten wurden für die stichprobenartige Überprüfung der ausgewiesenen Erdbebenfestigkeiten mittels Auslegungsdaten ausgewählt:

- Requalifizierte Rohrleitungen des Primär- und Sekundärkreislaufs,
- Abstützungen des RDB und des Druckhalters,
- Abstandshalter der Brennelemente,
- Hüllrohre des Steuerstabsantriebssystems sowie

Notstandsdiesel und seine Starterbatterien. Für die Herleitung der oben genannten Fragilities wurde auf Auslegungsberechnungen im Rahmen des REQUA-Projektes und auf Berechnungen des Betreibers im Zusammenhang mit dem Langzeitbetrieb zurückgegriffen. Die Nachweise wurden nach ASME /176/ geführt und vom ENSI im Rahmen der damaligen Projekte geprüft. Aufgrund des Vergleichs der angegebenen HCLPF-Werte mit den Margen aus den ASME-Nachweisen kommt das ENSI zum Schluss, dass die von KKB ausgewiesenen Erdbebenkapazitäten mehrheitlich plausibel sind. Dies gilt insbesondere für die Rohrleitungen des Primär- und Sekundärkreislaufs, die Abstützungen des RDB und des Druckhalters sowie die Hüllrohre des Steuerstabsantriebssystems.

Hinsichtlich des Nachweises zur Gewährleistung der Reaktorschnellabschaltung setzt das KKB eine zulässige bleibende Verformung der Abstandshalter der Brennelemente von 5.8 mm an und



berechnet unter dieser Voraussetzung einen HCLPF-Wert von 0.81 g. Gemäss Auslegungsbericht /152/ darf zur Gewährleistung der Schnellabschaltung jedoch nur eine bleibende Verformung von 3 mm unterstellt werden. Eine Abschätzung des ENSI führt für diesen Fall zu einem reduzierten HCLPF-Wert von etwas über 0.4 g. Unter Berücksichtigung der bei der Auslegung der Abstandshalter zugrunde gelegten Annahmen und den dort hinsichtlich plastischer Verformungen ausgewiesenen Margen, beurteilt das ENSI den reduzierten HCLPF-Wert zum jetzigen Zeitpunkt als ausreichend.

Beim Borwasser-Vorratstank (BOTA) wurde die Widerstandsunschärfe nicht gemäss den Vorgaben im zugrundeliegenden Dokument EPRI NP-6041-SL /171/ ermittelt. Auch ist nach Einschätzung des ENSI die Einwirkung des PRP-IH-Spektrums bei der massgebenden Frequenz (8.05 Hz) grösser als diejenige des PEGASOS-Spektrums. Aufgrund eigener Berechnungen ist das ENSI zum Schluss gekommen, dass trotz der erwähnten Abweichungen mit einem korrigierten HCLPF-Wert von 0.55 g eine genügende Erdbebenfestigkeit des BOTA-Tanks vorliegt. Der Punkt ist bei der Überarbeitung der Fragilities im Rahmen der PSA zu berücksichtigen.

Die Erdbebenfestigkeit des Notstandsdiesels und seiner Starterbatterien wird bestimmt durch den Ausbruch der Verankerungen aus dem Beton. Das KKB führt diesen Nachweis auf Grundlage der Norm ACI 349, mit der nach Ansicht des ENSI die Tragsicherheit von Verankerungen überschätzt wird. Eigene Berechnungen des ENSI haben jedoch gezeigt, dass die Verankerungen den auftretenden Erdbebeneinwirkungen standhalten.

Nach Vorliegen der abschliessenden Resultate aus der Erdbebengefährdungsanalyse PRP sind gemäss Verfügung vom 1. April 2011 /154/ die Erdbebenfestigkeitsnachweise neu zu führen. Im Rahmen dieser neuen Nachweise hat das KKB die Dokumentation der generischen Fragilities unter Verwendung metrischer Einheiten zu vervollständigen. Einzelkomponenten, welche mit Rohrleitungssystemen interagieren sind unter Berücksichtigung des Gesamtsystems zu analysieren.

#### **4.4 Radiologische Auswirkungen**

##### Angaben des Betreibers

KKB identifiziert verschiedene Beiträge zur Dosis in der Umgebung /99/ (TM-511-RA12014):

1. infolge Abfahren des Reaktors (Berichte /102/ u. /107/)
2. infolge Versagen von Ausrüstungen auf der Primär- und Sekundärseite (Berichte /103/, /104/, /106/, /105/)
3. infolge Versagen der BE-Beckenkühlung (Bericht /110/)

##### *Abfahren des Reaktors*

Je nach unterstelltem Einzelfehler ist eine Reihe von Störfällen möglich. Radiologische Analysen wurden für drei Szenarien durchgeführt. In allen drei Szenarien tritt eine Aktivitätsfreisetzung über die Dampferzeuger auf. Bei fehlender Wasserüberdeckung der Dampferzeuger-Heizrohre wird keine Rückhaltung radioaktiver Nuklide im Dampferzeuger kreditiert. In zwei Szenarien (sog. Basisszenario und Ausfall der sekundären Wärmesenke) tritt zusätzlich ein Freisetzungspfad über Containmentleckagen aufgrund von Feed-und-Bleed-Betrieb bzw. Notstandrezirkulation auf. In der radiologischen Analyse wird unterstellt, dass die Primärkühlmitteltemperatur 24 Stunden nach Störfalleintritt auf unter 100°C abgesunken ist. Zudem wird das maximal zulässige Inventar gemäss Technischen Spezifikationen inklusive Spiking berücksichtigt.



Die maximale Dosis tritt beim unterstellten Ausfall der sekundären Wärmesenke auf, was somit das radiologisch abdeckende Störfallszenario für das Abfahren des Reaktors unter Berücksichtigung eines Einzelfehlers darstellt. Sie beträgt für die meistbetroffene Bevölkerungsgruppe der Kleinkinder 17.2 mSv.

#### *Versagen von Ausrüstungen auf der Primär- und Sekundärseite*

Die Gebäude des KKB und die in ihnen untergebrachten Systeme wurden in einer radiologischen Untersuchung /103/ betrachtet, vor allem die Leitungen, Behälter, Filter und Ionentauscher von aktivitätsführenden Systemen. Sind die Systeme und ihre Komponenten nicht erdbebenfest ausgelegt, wird ein Versagen der Rohrleitungen unterstellt, was zu einer Freisetzung von Aktivität aus diesen Systemen führt.

Die radiologischen Analysen betrachten ebenfalls das Versagen von Hilfssystemen, Komponenten und Behältern auf der Primär- und Sekundärseite. Die sekundärseitigen Freisetzungen tragen weniger als 1% zu der daraus resultierenden Gesamtdosis von 11.1 mSv für die meistbetroffene Bevölkerungsgruppe der Kleinkinder bei, die hauptsächlich durch Iod-131 auf dem Ingestionspfad verursacht wird.

#### *Gesamtdosis*

Insgesamt beträgt die maximale Gesamtdosis aller Beiträge resultierend aus dem Erdbeben bei Leistungsbetrieb 28.9 mSv für Kleinkinder. Für den Fall einer nach Technischen Spezifikationen nur befristet zulässigen 10-fach erhöhten Primärkühlmittelaktivität ergeben Abschätzungen eine resultierende Dosis von 78 mSv /149/.

#### Beurteilung des ENSI

##### *Abfahren des Reaktors nach dem Störfall Erdbeben*

Die systemtechnischen Voraussetzungen, die KKB für die radiologische Analyse des Erdbebens angenommen hat, wurden vom ENSI in den oben stehenden Abschnitten bewertet. Für die radiologische Analyse relevant sind die Annahmen bezüglich der in die Umgebung gelangenden Dampfmengen und insbesondere deren Aktivitätsgehalt. In diesem Zusammenhang hat das ENSI überprüft, ob die in der Analyse verwendeten Werte für die Dampfmengen korrekt sind und ob die Annahmen auf der sicheren Seite liegen. Hier haben die Nachrechnungen des ENSI gezeigt, dass der von KKB angenommene Wert für die insgesamt von zwei Dampferzeugern während 72 Stunden abgeblasene Dampfmenge von 1129 t sehr konservativ bestimmt wurde und entsprechend grosse Sicherheitsmargen aufweist. Auch die Annahmen zur Kühlmittelaktivität wurden nach Einschätzung des ENSI konservativ festgelegt, indem Werte für die Primärkühlmittelaktivität und die Dampferzeugerheizrohrleckage (Leckage von Primärseite auf Sekundärseite) unterstellt wurden, die dem Maximum der gemäss Technischer Spezifikation für den unbefristeten Betrieb zulässigen Betriebswerte entsprechen.

Beim Abfahren der Anlage ohne Einzelfehler kommt es zu einem Ausdampfen der Dampferzeuger, dass mit Schliessen der FD-Schnellschlussventile nach 14s beendet wird, von KKB jedoch so modelliert wurde, dass das gesamte Gleichgewichtsinventar ohne bedeutende Rückhaltung in die Umgebung gelangt. Obwohl beide Dampferzeuger mit Notstand-Speisewasser versorgt werden können, wird für die radiologische Analyse unterstellt, dass ihre Heizrohre in den ersten 8 Stunden nicht mit Wasser überdeckt sind. Damit wird auch keine Rückhaltung radioaktiver Stoffe, die aufgrund von Leckagen von der Primärseite auf die Sekundärseite gelangt sind, kreditiert. Das KKB hat diesen Freisetzungspfad somit konservativ modelliert.



Beim Abfahren der Anlage mit Einzelfehler gibt es zusätzliche Freisetzungspfade über Containmentleckagen (infolge Notstand-Kaltabfahren bzw. Notstand-Rezirkulation), die vom KKB ausreichend konservativ unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Containmentleckagen und des Containmentdrucks modelliert wurden.

Die von KKB berücksichtigten Quellen radioaktiver Nuklide umfassen die Aktivitätsinventare im Primärkühlkreislauf und die bei Störfallbeginn vorhandenen Aktivitätsinventare auf der Sekundärseite der Dampferzeuger. Letztere Inventare haben sich durch unterstellte betriebliche Leckagen gemäss maximal zulässiger Werte gemäss den Technischen Spezifikationen primär-sekundär im vorangehenden Normalbetrieb gebildet.

KKB hat die möglichen Abgabepfade radioaktiver Stoffe in die Umgebung nach einem schweren Erdbeben infolge des Abfahrens des Reaktors (unter Einbezug verschiedener Einzelfehlerszenarien) und infolge Versagen von Ausrüstungen auf der Primär- und Sekundärseite eingehend betrachtet und nachvollziehbar beschrieben.

Die in den radiologischen Analysen beschriebenen Quellen radioaktiver Stoffe sind nach Auffassung des ENSI für den vorliegenden Nachweiszweck ausreichend erfasst. Sie berücksichtigen ebenso mögliche Spiking-Effekte gemäss Vorgabe der Richtlinie ENSI-A08 /168/. Die möglichen Freisetzungspfade unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Verhaltens der Edelgase, organischen und nichtorganischen Iods und von Aerosolen wurden vom KKB nachvollziehbar modelliert. Die verwendeten Transportmodelle sind akzeptabel und die ausgewiesenen Angaben zu Transferraten sind plausibel.

Das ENSI hat das Szenario Abfahren des Reaktors bei Ausfall der sekundären Hauptwärmesenke eingehender geprüft und teilweise nachgerechnet. Dabei wurde festgestellt, dass die Freisetzungen über Containment-Leckagen mit einem Modell für die Partikeldeposition im Containment berechnet wurden, das nicht dem NUREG/CR-6189 entspricht und im Vergleich dazu insbesondere in den ersten Stunden nach Störfalleintritt etwas optimistischer, später dann aber pessimistischer ist. Entsprechende Nachrechnungen des ENSI ergaben aber nur geringfügige Auswirkungen auf den Gesamtquellterm bei den Aerosolen.

Das ENSI hat die Ausbreitungs- und Dosisberechnungen des KKB mit dem angegebenen Quellterm für das Szenario mit der höchsten Folgedosis (Abfahren des Reaktors bei Ausfall der sekundären Wärmesenke) als Stichprobe überprüft und ähnliche Werte wie vom KKB angegeben erhalten.

#### *Versagen von Ausrüstungen auf der Primär- und Sekundärseite*

KKB hat die möglichen Freisetzungsquellen radioaktiver Stoffe systematisch und strukturiert ermittelt und ihre Abgabepfade radioaktiver Stoffe in die Umgebung nach einem schweren Erdbeben infolge Versagen von Ausrüstungen auf der Primär- und Sekundärseite nachvollziehbar beschrieben. Das ENSI hält die Methodik des KKB zur Berechnung des Quellterms für das 10'000-jährliche Erdbeben durch Versagen von Ausrüstungen auf der Primär- und Sekundärseite für ausreichend nachvollziehbar. Die wesentlichen Beiträge zu einem Quellterm und damit zur Dosis in der Umgebung werden damit erfasst.

Die in den Modellen verwendeten Freisetzungsanteile wurden begründet oder sind plausibel. Für Freisetzungen aus heissen Wässern wurden Freisetzungsanteile unterstellt, welche nach Auffassung des ENSI insgesamt ausreichend konservative Ergebnisse für die Dosen in der Umgebung ergeben. Das ENSI hat die Dosisberechnungen des KKB für die meist beitragenden Quellterme (aus Ablassleitung und aus Abklingtanks) mit dem von KKB verwendeten Quellterm nachgerechnet und vergleichbare Resultate erhalten.



[REDACTED]

eine solche Situation von bisher 168 Stunden auf 72 Stunden zu reduzieren /149/. Da gemäss ENSI-A01 /166/ Abschnitt 4.1.2 Bst. c die Berücksichtigung eines zeitlich begrenzten Betriebszustandes bei der Bestimmung der Eintrittshäufigkeit (hier die erhöhte Kühlmittelaktivität) eines Störfalls zulässig ist, ergibt sich in diesem Fall eine Eintrittshäufigkeit, welche kleiner als  $10^{-6}$ /Jahr ausfällt. Damit ist für diesen Fall gemäss Art. 94 der Strahlenschutzverordnung /163/ die Einhaltung eines Grenzwerts nicht nachzuweisen.

Die Dosisbeiträge in der Umgebung infolge Versagen der BE-Beckenkühlung werden im Kapitel 5.3 dieser Stellungnahme behandelt.



## 5 Erdbebennachweis für die Brennelementbeckenkühlung

### 5.1 Erforderliche Bauwerke und Systeme

#### Angaben des Betreibers

Die Brennelement(BE)-Lagerbecken einschliesslich der BE-Lagergestelle sowie die Lagerbeckengebäude (Nebengebäude B) weisen in beiden Blöcken des KKB einen hohen Schutzgrad gegen Erdbeben auf. Da das Verhältnis Wasserinventar zur thermischen Leistung der Brennelemente sehr günstig ist, bleiben die Brennelemente auch bei kompletter Auslagerung des Reaktorkerns in die BE-Lagerbecken für mindestens 3 Tage ohne Gegenmassnahmen mit Wasser bedeckt und damit gekühlt.

Das existierende Lagerbecken-Kühlsystem FAC ist zwar ausreichend seismisch qualifiziert, hängt aber von der nicht durchgängig für die Störfälle Erdbeben und Überflutung qualifizierten Kühlkette KAC/PRW (KAC: primäres Zwischenkühlsystem, PRW: primäres Nebenkühlsystem) ab. Ähnliches gilt auch für das alternative Lagerbecken-Kühlsystem FEC, dessen Einsatzfähigkeit durch die fehlende seismische Robustheit der Kühlwasser- und der Stromversorgung auf den Störfall Überflutung beschränkt ist. Beide Kühlsysteme werden daher für den Nachweis der Brennelementkühlung bei einem 10'000-jährlichen Erdbeben nicht berücksichtigt. Das KKB wird aufgrund der ENSI-Verfügung /155/ ein vollumfänglich für Erdbeben und Überflutung qualifiziertes Kühlsystem nachrüsten.

Im Erdbebenfall stehen vorbereitete, anlageninterne Notfallschutzmassnahmen für eine Wassernachspeisung in die BE-Lagerbecken zur Verfügung. Das Erstellen einer Wassernachspeisung wird dadurch erleichtert, dass

- die Becken ausserhalb der Reaktorgebäude angeordnet sind und für Notfallmassnahmen zugänglich sind,
- eine Nachspeisung mit unboriertem Wasser aufgrund der Auslegung der Lagergestelle unbedenklich ist und
- die Pumpen der betriebseigenen Feuerwehr erdbebensicher gelagert und auch bei Überflutung des Anlagengeländes zugänglich sind.

Zudem stehen seit dem 1. Mai 2011 mobile Einsatzmittel zur Nachspeisung in die Lagerbecken im externen Lager Reitnau zur Verfügung.

Grössere Wasserverluste aus den BE-Lagerbecken können bei einem Erdbeben als direkte Folge eines Erdbebens ausgeschlossen werden, kleinere Verluste über Undichtigkeiten in der Beckenauskleidung (Liner) werden im Untergeschoss des Nebengebäudes C sicher aufgefangen und können nicht in die Umgebung gelangen. In /109/ wurden die Auswirkungen eines Bruches der Anschlussleitungen an die BE-Lagerbecken untersucht. Die einzigen Leitungen, die zu einer Entleerung der BE-Lagerbecken führen können, sind die Beckenkühlwasser-Rücklaufleitungen mit ihren Abzweigungen zum Ionentauscher FAC 28-A, für den es keinen Erdbebennachweis gibt. Diese Leitungen sind während des Kalenderjahres nur ca. 15 Prozent der Zeit in Betrieb und ansonsten jeweils mittels Handarmatur isoliert und durch eine Rückschlagklappe gesichert. Eine Beckenentleerung ist nur bei einem Versagen des in Betrieb befindlichen Ionentauschers infolge Erdbeben und einem Nicht-Schliessen der jeweiligen Rückschlagklappe denkbar. Dieses Szenario wird aufgrund der sehr geringen Eintrittshäufigkeit als auslegungsüberschreitend eingeordnet. Ungeachtet dessen beabsichtigt das KKB jeweils eine zusätzliche Rückschlagklappe in den Rücklaufleitungen nachzurüsten. Bei einem seismisch bedingten Bruch anderer Anschlussleitungen kann aufgrund deren Anordnung maximal eine Füllstandsabsenkung in den BE-Lagerbecken bis zu 0.7 m eintreten.



Aufgrund der bei Erdbeben nicht zur Verfügung stehenden Nachwärmeabfuhrmöglichkeit wurden in /109/ die Auswirkungen der Dampffreisetzung in das BE-Lagergebäude untersucht. Hierbei wurden angenommen, dass die Lüftung des Gebäudes seismisch bedingt ausgefallen ist, von den Operateuren die Türen ins Freie nicht rechtzeitig geöffnet werden und keine Kondensation des Dampfgemisches an den Gebäudewänden erfolgt.

Spätestens mit dem Aufbau eines Überdruckes im BE-Lagergebäude von 0.38 mbar käme es zu einem Versagen der im Vergleich zu den Stahlbetonwänden und den Toren am schwächsten gegen Druck ausgelegten Backsteinwand und damit zu einer Verteilung des Dampfes in die angrenzenden Nebengebäude. Die normalerweise für die Nebengebäude anzusetzende Undichtigkeit (Leckfläche von 0.5 m<sup>2</sup>) würde aber ausreichen, um den entstehenden Dampf bei einem Überdruck von 0.25 mbar in diesen Gebäuden auch ohne die Berücksichtigung einer Kondensation an den Wänden abführen zu können.

Das KKB wird aufgrund der ENSI-Verfügung /155/ zusätzliche Massnahmen zur kontrollierten Abfuhr des verdampften Beckenwasserinventars aus dem Brennelement-Lagergebäude ergreifen und die Backsteinwand zwischen dem Brennelement-Lagergebäude UN(B) und dem Nebengebäude UN(C) durch eine robuste Betontrennwand ersetzen.

#### Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat den eingereichten Erdbebennachweis basierend auf den in Kap. 3.2 aufgeführten Anforderungen daraufhin geprüft und bewertet, ob die für die Sicherstellung der Brennelementbeckenkühlung erforderlichen SSK berücksichtigt wurden.

Aus Sicht des ENSI sind in den Erdbebennachweis alle Bauwerke und Baustrukturen einbezogen worden, deren Standfestigkeit und Integrität für die Sicherstellung der BE-Beckenkühlung erforderlich sind. Aufgrund der robusten Ausführung der BE-Lagerbecken kommt insbesondere den Auswirkungen bei einem seismisch bedingten Versagen der Anschlussleitungen eine hohe Bedeutung zu. Das ENSI hat sich anhand der aktuellen Schaltbilder für die BE-Beckenkühl- und Reinigungssysteme davon überzeugt, dass die diesbezüglich von KKB durchgeführte Analyse alle Anschlussleitungen berücksichtigt. Mit Ausnahme des Versagens der Beckenkühlwasser-Rücklaufleitungen vor dem Ionentauscher würde ein Versagen der übrigen Anschlussleitungen zu einer Füllstandabsenkung in den BE-Lagerbecken führen, die aufgrund des verbleibenden Wasserinventars als unbedenklich im Hinblick auf die Sicherstellung der BE-Beckenkühlung beurteilt wird. Mit den vorhandenen Nachspeisemöglichkeiten können sowohl ggf. auftretende kleinere, kontinuierliche Leckagen über die Beckenauskleidung wie auch eine Füllstandabsenkung kompensiert werden.

Das ENSI folgt der Beurteilung des KKB, dass das Risiko eines Versagens der Beckenkühlwasser-Rücklaufleitungen während des Betriebs der Ionentauscher und einer damit verbundenen Entleerung der BE-Lagerbecken als sehr unwahrscheinlich und auslegungsüberschreitend einzuordnen ist. Der vom KKB geplante Einbau zusätzlicher Rückschlagklappen wird als zielgerichtete Absicherungsmaßnahme beurteilt. Ungeachtet dessen ist vom KKB zu überprüfen, ob nicht kurzfristig realisierbare Massnahmen zur Verhinderung einer unzulässigen Füllstandabsenkung durch Saughebewirkung ergriffen werden können.

**Forderung 2:** *Unter der Annahme, dass der Ionentauscher FAC 28-A unter Erdbeben versagt, die Handarmatur in der Verbindungsleitung zwischen Ionentauscher und Brennelementlagerbecken geöffnet ist und als unabhängiger Einzelfehler die Rückschlagklappe in der Leitung ausgefallen ist, hat das KKB bis zum 30. September 2012 zu überprüfen, ob kurzfristig realisierbare Massnahmen zur Verhinderung einer unzulässigen Füllstandsabsenkung durch Saughebewirkung ergriffen werden können.*





Die vom KKB für die Nachspeisung der BE-Lagerbecken kreditierten mobilen Einsatzmittel stellen aufgrund der ENSI Verfügung /155/ lediglich eine Zwischenlösung dar. Für deren Einsatz stehen ausreichend grosse Zeitfenster zur Verfügung. Das ENSI hat sich zudem anhand einer Anlagenbegehung davon überzeugt, dass die erforderlichen Einsatzmittel erdbeben- und überflutungssicher auf dem Anlagengelände gelagert und die Anschlussvorrichtungen zugänglich sind. Die für die Nachrüstung des besonders gesicherten BE-Beckenkühlsystems erforderliche Konzeptfreigabe wurde durch das ENSI zwischenzeitlich erteilt.

Die vom KKB bezüglich der Nachwärmeabfuhr durchgeführte Analyse bestätigt aus Sicht des ENSI, dass keine unmittelbare Gefährdung des BE-Lagergebäudes besteht. Mit der Umsetzung der ENSI-Verfügung /155/ wird in Zukunft eine kontrollierte Nachwärmeabfuhr aus dem BE-Lagergebäude sichergestellt. Die für die Nachrüstung des BE-Lager-Druckabbausystems und die Erüchtigung des BE-Lagergebäudes erforderliche Konzeptfreigabe wurde durch das ENSI zwischenzeitlich erteilt.

Zusammenfassend kommt das ENSI zu dem Ergebnis, dass alle zur langfristigen Sicherstellung der Brennelementbeckenkühlung erforderlichen SSK über den vom KKB eingereichten Erdbebenachweis abgedeckt sind und für diese Erdbebenfestigkeitsnachweise eingereicht wurden.

## **5.2 Erdbebenfestigkeit der erforderlichen Bauwerke und Ausrüstungen**

### **5.2.1 Bauwerke**

#### Angaben des Betreibers

Das Brennelementlagerbecken ist im Brennelementlagerbeckengebäude resp. Nebengebäude UN(B) untergebracht. Das Gebäude besteht bis zur Oberkante des BE-Beckens aus massiven Stahlbetonwänden. Der Dachbereich oberhalb der Brennelementlagerbecken besteht aus einem Raster von Stahlbetonstützen, in der Regel ausgefacht mit Stahlbetonwänden. Die Trennwand zum Nebengebäude C besteht aus Backstein. Mit Bericht /26/ reichte das KKB eine anhand eines äquivalenten nichtlinearen Einmassenschwingers ermittelte probabilistische Erdbebenfestigkeitsanalyse für das Nebengebäude UN(B) ein. Als Erdbebeneinwirkung wurden die im Dokument /5/ dargestellten 30 Erdbebenzeitverläufe berücksichtigt. Die Berechnungen für den Dachbereich oberhalb der massiven Beckenstruktur beziehen sich auf die verformungsbasierten, den PRP-IH berücksichtigenden Berechnungen vom 30.08.2011 /148/. In /148/ wurde für jede Wand oberhalb des Beckens eine Kraft-Verformungsbeziehung bestimmt. Die entsprechenden Beziehungen sind anschliessend als Lagerbedingungen für das mit der Finite-Element-Methode modellierte Dach übernommen worden. Die globale Steifigkeit und Tragfähigkeit des oberen Gebäudeteils wurde in der Folge in mehreren Schritten ermittelt, indem im Zentrum der Dachstruktur Kräfte aufgegeben wurden, deren Richtung geändert und deren Betrag ständig gesteigert wurde. Aus diesen Berechnungen resultierten im Bericht /148/ auch Torsionseffekte berücksichtigende globale richtungsabhängige Kraft-Verformungsbeziehungen, die in der probabilistischen Analyse /26/ als massgebende Grundlage für die globale Steifigkeit des äquivalenten Einmassenschwingers dienen. In der Steifigkeit des Einmassenschwingers wurden zusätzlich die Nachgiebigkeit des Bodens und der unteren massiven Beckenstruktur berücksichtigt. Für die horizontalen Hauptrichtungen X und Y wurden je 30 Zeitverlaufsberechnungen mit pro Richtung unterschiedlichen Einmassenschwingern durchgeführt und der Verformungsbedarf der Einmassenschwinger in Abhängigkeit von der Höhe der Erdbebeneinwirkung aufgezeichnet. Abschliessend erfolgt im Bericht /26/ die Bestimmung der Erdbebenfestigkeit (HCLPF-Wert) unter Berücksichtigung von Unsicherheitsvariablen sowohl für den Bruch als auch für den Fließbeginn der Tragsstruktur. Für den Fließbeginn, dieser ist gekennzeichnet durch einen starken Abfall der Gebäu-



desteifigkeit bei zunehmenden Verformungen, wird in /26/ ein minimaler HCLPF von 0.45 g, für das globale Versagen der Gebäudestruktur ein HCLPF-Wert von 1.07 g angegeben.

### Beurteilung des ENSI

Das ENSI und der vom ENSI beauftragte Experte haben im Herbst 2011 die nichtlineare verformungsbasierte Berechnung für das Nebengebäude UN(B) /148/ eingehend geprüft. Die von KKB mit der Software Response-2000 ermittelten Kraft-Verformungsbeziehungen für die einzelnen Wände sind unter Anwendung von SIA-Methoden, die vom KKB mit der Software SAP2000 ermittelten Pushoverkurven für den gesamten oberen Gebäudeteil sind unter Berücksichtigung von Torsionseinflüssen vom ENSI-Prüfingenieur nachgerechnet worden. Es lag eine gute Übereinstimmung zwischen den Resultaten in /148/ und den Ergebnissen des ENSI-Experten vor. Der im Bericht /148/ ermittelte globale Erfüllungsfaktor von knapp zwei, das heisst die charakteristische Erdbebenkapazität des Brennelementlagergebäudes UN(B) ist doppelt so hoch wie die Erdbebeneinwirkung, ist aus Sicht des ENSI korrekt. Das ENSI hat einzig formale Abweichungen zwischen dem KKB-Vorgehen /148/ und dem im Merkblatt SIA 2018 beschriebenen verformungsbasierten Verfahren festgestellt, wobei diese formalen Aspekte keinen Einfluss auf die in /148/ präsentierten Ergebnisse und Schlussfolgerungen haben. Da mit dem Dokument /148/ aus Sicht des ENSI der deterministische Nachweis zur Erdbebenfestigkeit des Nebengebäudes UN(B) erbracht wurde und das ENSI festgestellt hat, dass die Grundlagen und Resultate in /26/ vergleichbar sind mit jenen in /148/, verzichtete das ENSI in der Folge auf eine detaillierte Überprüfung der probabilistischen Analyse /26/. Offensichtlich ist, dass der massive untere Beckenbereich wesentlich robuster ist als der vergleichsweise schlanke obere Gebäudebereich, weshalb sich diesbezüglich eine Detailprüfung ebenfalls erübrigt.

Die Backsteintrennwand zwischen den Nebengebäuden UN(B) UN(C) wird vom ENSI und vom KKB als seismisch ungenügend robust beurteilt. In den Erdbebennachweisen für die Nebengebäude UN(B) und UN(C) wurde die Tragfähigkeit der Backsteinwand vernachlässigt. Der Einsturz der Wand führt somit nicht zu einem Versagen der beiden Gebäude, könnte aber zu lokalen Schäden an den im Becken gelagerten Brennstäben führen. Das Problem ist erkannt und der Ersatz resp. die seismische Ertüchtigung der Wand ist bereits Gegenstand eines laufenden Geschäfts.

Für die Verwendung der Fragilities zur Bewertung des Erdbebenrisikos im auslegungsüberschreitenden Bereich, wie das mit der PSA ausgewiesen wird, sieht das ENSI noch Klärungsbedarf. Dabei handelt es sich insbesondere um folgenden Punkte:

- Mit dem Bericht /26/ hat das KKB eine neue Fragility-Analyse für den Dachbereich des Nebengebäudes UN(B) eingereicht, die auf der vom ENSI geprüften Pushoveranalyse /148/ beruht. Für den unteren robusten Bereich der Lagerbecken liegt nur die Fragilityanalyse /73/ vor, in der nach Ansicht des ENSI insbesondere die Ergebnisse für die in den Wänden wirkenden Schnittkräfte zweifelhaft sind. Die Fragilityanalyse für das Nebengebäude UN(B) ist somit unter Berücksichtigung des unteren Bereichs der Brennelementlagerbecken zu revidieren.
- Für das ENSI ist nicht ersichtlich, wieso die Werte  $\beta_U$  (0.32) unverändert aus der früheren Analyse /73/ übernommen wurden. Nach Ansicht des ENSI ist für die Analyse /26/ aufgrund von Vereinfachungen bei der Modellierung eher eine etwas grössere epistemische Unsicherheit zu erwarten.

Die Punkte sind bei der Überarbeitung der Fragilities im Rahmen der PSA zu berücksichtigen.



## 5.2.2 Mechanische und elektrische Ausrüstungen

### Angaben des Betreibers

Zur Kühlung der Brennelementlagerbecken stehen das Brennstofflager-Kühl- und Reinigungssystem FAC und das vor einigen Jahren nachgerüstete alternative Brennstofflager-Notkühlsystem FEC zur Verfügung. Für die Komponenten des FAC wird eine Erdbebenfestigkeit (HCLPF) von mindestens 0.39 g, für die Brennelementlagergestelle ein HCLPF-Wert von 0.85 g nachgewiesen, was über dem geforderten PGA von 0.348 g liegt. Das FEC wurde deterministisch auf das Sicherheitserdbeben ausgelegt. Allerdings ist die Kühlwasserversorgung des FAC und des FEC von Systemen abhängig, deren Komponenten und Stromversorgung nicht durchgängig für Erdbeben qualifiziert sind. Folgerichtig werden das FAC und das FEC für den vorliegenden Erdbebennachweis nicht kreditiert. Die Brennelementlagerbecken werden im Rahmen eines laufenden Geschäfts mit einem für Erdbeben und Überflutung qualifizierten, redundanten Kühlsystem nachgerüstet.

### Beurteilung des ENSI

Da die Brennelementkühlsysteme FAC und FEC für den vorliegenden Erdbebennachweis nicht kreditiert wurden, verzichtete das ENSI auf eine vertiefte Prüfung der entsprechenden Erdbebennachweise. Der HCLPF-Wert von 0.85 g für die Brennelementlagergestelle ist plausibel.

## 5.3 Radiologische Auswirkungen

### Angaben des Betreibers

In radiologischen Analysen /110/ wurden Szenarien für den Leistungsbetrieb und für die Revision analysiert. Betreffend Freisetzung radioaktiver Stoffe aus dem Brennelementlagerbecken wurde u.a. ein sehr konservatives worst case Szenario (frisch ausgeladener Kern mit Brennelementschäden) untersucht. Dabei wurde unterstellt, dass der Kern mit seinen Brennelementschäden erst beim Erreichen der TechSpec-Limite bzgl. der Primärkühlmittelaktivität das Brennelementlagerbecken transferiert wird. Für die Freisetzung wird unterstellt, dass das gesamte Iodinventar freigesetzt wird und die übrigen Stoffe (Kobalt, Antimon, Cäsium) entsprechend dem Anteil des verdampften Brennelementbeckeninventars freigesetzt werden.

Die Ausbreitungs- und Dosisberechnungen wurden mit einer Abgabehöhe von 10 m und für eine minimale Abwinddistanz von 300 m vom Abgabeort durchgeführt. Für das worst case Szenario (während Revision) wird eine Dosis für die meistbetroffene Bevölkerungsgruppe der Kleinkinder von 18.5 mSv ermittelt. Für den wahrscheinlicheren Fall des Eintritts des Erdbebens im Leistungsbetrieb beträgt die Dosis aus dem Versagen der Brennelement-Beckenkühlung für Kleinkinder 0.6 mSv.

### Beurteilung des ENSI

Die radiologischen Analysen des KKB zu den zu erwartenden Freisetzungen von radioaktiven Stoffen aus dem siedenden Beckenwasser erachtet das ENSI insgesamt als akzeptabel. Insbesondere die Betrachtungen zum worst case Szenario sind mit etlichen konservativen Annahmen beaufschlagt (Kern mit betrieblichen Brennstoffschäden und einhergehend hohen Aktivitätswerten im Primärkühlmittel, darauf basierend hochskalierte Konzentrationen im Brennelementbecken, Freisetzung des gesamten Iodinventars und Freisetzungen übriger Stoffe entsprechend



dem Anteil des verdampften Beckenwasserinventars). Der somit bestimmte Quellterm ist nach Auffassung des ENSI insgesamt als sehr konservativ anzusehen.

Eine Überschreitung des Dosisgrenzwerts von 100 mSv ist daher im geforderten Analysezeitraum inklusive des Dosisbeitrags aus dem Brennelementbecken nicht zu erwarten.



## 6 Nachweis Kombination von Erdbeben und Hochwasser

### 6.1 Überprüfung der erforderlichen Bauwerke und Ausrüstungen

#### Angaben des Betreibers

Im deterministischen Sicherheitsnachweis für das 10'000-jährliche Erdbeben /99/ legt das KKB dar, dass der Bruch des Wehrs Wettingen gegenüber dem sequentiellen Versagen der Wehre Rapperswil/Auenstein und Wildegg/Brugg massgebend ist. Das Kraftwerksgelände wird bei einem Bruch des Wehrs Wettingen um 11 cm überflutet, die Auslegungsluthöhe des KKB beträgt 1.65 m, wobei das Notstandsgebäude bis zu einer Höhe von +6.0 m über Terrain keine Öffnungen aufweist. Den Bruch des Wehrs Wettingen bezeichnet das KKB als auslegungsüberschreitend, da in der Fragilityanalyse für das Wehr Wettingen /27/ ein HCLPF-Wert von 0.47 g resultiert, was über der maximalen Bodenbeschleunigung von 0.348 g des PRP-IH liegt. Die Schadensbilder der Störfallszenarien „Erdbeben“ und „Erdbeben in Kombination mit erdbebenbedingtem Hochwasser“ unterscheiden sich nicht. Bei beiden Szenarien berücksichtigt das KKB den Ausfall der externen Stromversorgung und der Kühlwasserfassungen an der Aare.

Durch die Auswirkungen eines durch Erdbeben ausgelösten Hochwassers werden weder die für die Kernkühlung erforderlichen Funktionen des Notstandsystems oder die ggf. zu ergreifenden Notfallschutzmassnahmen noch die für die Brennelementbeckenkühlung erforderlichen Notfallschutzmassnahmen eingeschränkt. Der Ausfall der Aare-Kühlwasserfassungen hat keinen Einfluss auf das Notstandssystem, da das Notstandssystem das Kühlwasser aus dem Notstand-Speisewassertank und dem Notstands-Grundwasserbrunnen bezieht, die gegen Hochwasser geschützt sind.

#### Beurteilung des ENSI

Beim Nachweis der Beherrschung einer durch Erdbeben ausgelösten Überflutung unterstellt KKB konform mit Variante 2 von /201/ den Ausfall der Aare-Kühlwasserfassungen. Bei den für den Nachweis zugrunde gelegten Flutkoten auf dem Kraftwerksgelände werden weder die für die Kernkühlung erforderlichen Funktionen des Notstandsystems noch die ggf. zu ergreifenden Operateurhandlungen eingeschränkt.

Der Einfluss von Erosion wird von KKB nicht explizit behandelt. Sämtliche für den vorliegenden Nachweis relevanten Gebäude sind jedoch widerstandsfähige Betonkonstruktionen und sind ausreichend tief im Baugrund verankert, so dass nach Einschätzung des ENSI weder der Anprall von Treibgut noch Erosion die Gebäude gefährden können.

### 6.2 Radiologische Auswirkungen

#### Angaben des Betreibers

Gemäss KKB ist keine weitere radiologische Analyse erforderlich, weil nach /145/ die Überflutung des KKB-Geländes nur minimal ist, sie weit unterhalb der Auslegungshöhe von 1.65 m bleibt und das Notstandsgebäude bis zu einer Höhe von mehr als +6.0 m keine Öffnungen aufweist.

#### Beurteilung des ENSI

Gemäss Beurteilung in Kapitel 6.1 bestehen genügend Sicherheitsmargen. Weil ferner kein neues Schadensbild aufgrund der Kombination Erdbeben und Überflutung angenommen werden muss, erübrigt sich auch nach Auffassung des ENSI eine weitere radiologische Analyse.



## 7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

### 7.1 Zusammenfassung

#### Gegenstand und Grundlage der Beurteilung

Mit Brief vom 30. März 2012 /98/ hat das KKB dem ENSI die in der Verfügung vom 1. April 2011 /154/ geforderten Nachweise zur Beherrschung eines 10'000-jährlichen Erdbebens sowie der Kombination von Erdbeben und Hochwasser fristgerecht eingereicht. Bereits vorgängig mit Brief vom 30. November 2011 /1/ sind die Erdbebenfestigkeitsnachweise (Fragilities) für alle relevanten Bauwerke, Systeme und Komponenten eingereicht worden. Neben der Sicherheit des Kernreaktors, des Primärkreislaufs und des Containments war gemäss der ENSI-Verfügung vom 5. Mai 2011 /155/ auch die Auslegung der Brennelementlagerbecken, -gebäude und -kühlsysteme zu überprüfen und die Einhaltung der zulässigen Dosislimiten für diese Störfälle nachzuweisen. Im zusammenfassenden deterministischen Nachweis /99/ hat das KKB dargelegt, dass diese Störfälle unter Einhaltung der vom ENSI vorgegebenen Randbedingungen und des nach StSV /163/ zulässigen Grenzwerts von 100 mSv beherrscht werden.

#### Prüfverfahren des ENSI

Nach einer Grobprüfung der am 30. November 2011 /1/ eingereichten Unterlagen hat das ENSI weitere Dokumente eingefordert, die das KKB mit Brief vom 30. März 2012 /20/ nachgereicht hat. Aus Inspektionen und Fachgesprächen, die das ENSI zur Klärung offener Punkte und Fragen durchgeführt hatte, resultierte ein weiterer Bedarf an zusätzlicher Dokumentation. Diesen Forderungen ist das KKB im Mai 2012 nachgekommen. Insgesamt umfasst die vom KKB eingereichte Dokumentation rund 150 Berichte im Gesamtumfang von mehreren tausend Seiten sowie etliche elektronische Dateien.

Das ENSI hat die vom KKB eingereichten Analysen und Berechnungsmodelle hinsichtlich der Erfüllung der in der Verfügung vom 1. April 2011 /154/ definierten Randbedingungen und hinsichtlich der Akzeptanz und Korrektheit sowie der Plausibilität der Ergebnisse überprüft. Aufgrund des grossen Umfangs der KKB-Dokumentation, speziell im Bereich der Nachweise der Erdbebenfestigkeiten, wurden vom ENSI mehrheitlich stichprobenartige Überprüfungen der zur Störfallbeherrschung erforderlichen Strukturen und Komponenten durchgeführt.

Im Bereich der systemtechnischen Voraussetzungen und Anforderungen wurden vom ENSI die vom KKB genannten, zur Störfallbeherrschung erforderlichen Systeme und Komponenten eingehend überprüft. Ebenso sind die Erdbebeneinwirkungen, auf ihrem Weg vom Fels über den Baugrund via Gebäude bis hin zu den einzelnen Komponenten, im Detail geprüft worden. Dies gilt auch für die Analysen zu den radiologischen Auswirkungen des 10'000-jährlichen Erdbebens sowie der gleichzeitigen Überlagerung einer Überflutung durch Flutwellen, die aus dem erdbebenbedingten Versagen von Stauanlagen resultieren könnten.

#### Erdbebengefährdung für die Strukturen, Systeme und Komponenten (SSK)

Das KKB hat die Erdbebengefährdung gemäss der Vorgabe aus der Verfügung vom 1. April 2011 /154/ ausgehend vom PRP-IH auf dem Referenzfels neu bestimmt. Unter Verwendung von aktuellen Baugrundkennwerten aus dem PRP sind Antwortspektren sowie deterministische und probabilistische Beschleunigungszeitverläufe an der Geländeoberfläche berechnet worden. Mit diesen Beschleunigungszeitverläufen auf der Geländeoberfläche hat das KKB mittels Boden-Bauwerksanalysen schliesslich die Etagenantwortspektren in den Gebäuden und somit die Erdbebeneinwirkungen auf die Systeme und Komponenten neu definiert. Unter Bezug von nationa-



len und internationalen Experten und anhand von eigenständigen Berechnungen kann das ENSI die vom KKB ermittelten Erdbebeneinwirkungen bestätigen. Im Rahmen des nach Vorliegen der PRP-Schlussresultate zu erbringenden Erdbebennachweises hat das KKB jedoch die Parametervariation zur Bestimmung von probabilistischen Etagenantwortspektralen zu verbessern.

Für die PRP-IH Gefährdung liegt die maximale horizontale Bodenbeschleunigung (PGA) an der Bodenoberfläche bei 0.348 g. Dieser Wert gilt als Referenz für die Erdbebenfestigkeitsnachweise.

#### Nachweis von Erdbeben in Kombination mit Hochwasser

Die erdbebenbedingte Überflutung des KKB-Areals ist unter Annahme des Wehrbruchs Wettingen sowie unter Annahme des Kaskadenbruchs der Wehre Rapperswil/Auenstein und Wildegg/Brugg simuliert worden. Die Analysen zeigen auf, dass der Wehrbruch Wettingen dominierend ist und dass das KKB gegenüber den berechneten Überflutungsknoten über hohe Sicherheitsreserven verfügt. Das ENSI erachtet die Ergebnisse als plausibel.

#### Erforderliche SSK für die Kern- und Brennelementbeckenkühlung

Das KKB hat dargelegt, dass zur Sicherstellung der Kernkühlung primär die besonders gegen äussere Einwirkungen geschützten Notstandssysteme eingesetzt werden. Die Funktionstüchtigkeit der Notstandssysteme wurde unter Berücksichtigung eines unabhängigen Einzelfehlers und unter Annahme des Ausfalls der externen Stromversorgung und der Aare-Kühlwasserfassungen bestätigt. Unter Annahme des Ausfalls der sekundärseitigen Wärmeabfuhr infolge eines unabhängigen Einzelfehlers erfolgt die Kühlung des Reaktors durch den Feed-and-Bleed Betrieb. Je nach Einzelfehlerannahme wird der Reaktor in den Zustand „heiss abgestellt“ oder „kalt abgestellt“ (Kühlung über die Dampferzeuger) überführt. Ohne unterstellten Einzelfehler sind in den ersten 10 Stunden nach Störfalleintritt keine Operateurhandlungen vorzunehmen. Bei der Annahme von Einzelfehlern sind in den ersten 30 Minuten nach Störfalleintritt keine Operateurhandlungen erforderlich. Für das Abkühlen der Anlage über die Dampferzeuger müssen die Frischdampf-Abblaseventile vor Ort manuell geöffnet werden. Auch wenn ausreichend Zeit und mehrere Alternativen für den Zugang zu den Abblaseventilen bestehen, bedarf es aus Sicht des ENSI einer Überprüfung, wie die Ansteuerung der Abblaseventile vom Notstandleitstand durchgängig erdbebenfest ausgeführt werden kann (siehe Kapitel 7.2).

Für die Sicherstellung der Brennelementbeckenkühlung sind innerhalb von 72 Stunden keine Massnahmen notwendig. Nach Ablauf dieser Frist wird die Kühlung mit internen Notfallschutzmassnahmen aufrechterhalten. Im Rahmen eines laufenden Geschäfts wird das KKB ein durchgehend für Erdbeben und Überflutung qualifiziertes Brennelementbeckenkühlsystem nachrüsten.

Das KKB hat die zur Kern- und Brennelementbeckenkühlung erforderlichen Strukturen, Systeme und Komponenten (SSK) identifiziert, inklusive der benötigten Sicherheitsfunktionen und internen Notfallschutzmassnahmen. Das ENSI hat die diesbezüglichen Darlegungen des KKB eingehend geprüft und kommt zum Schluss, dass die vom KKB genannten SSK vollständig und korrekt erfasst wurden und dass die vorgesehenen Fahrweisen geeignet sind, die Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktorkern und dem Brennelementlagerbecken während einer Zeitdauer von mindestens 72 h zu gewährleisten.



### Bestimmung der Erdbebenfestigkeiten und Nachweisführung

Für die Bestimmung der Erdbebenfestigkeiten der SSK hat das KKB probabilistische Methoden nach EPRI (/171/, /172/ und /173/) angewendet. Als Kenngrösse für die Beurteilung, ob eine Struktur oder Komponente den Belastungen des zugrunde gelegten Erdbebens standhält, dient der in den seismischen Versagenswahrscheinlichkeitskurven („fragility curves“) ausgewiesene, als HCLPF-Wert bezeichnete Erdbebenfestigkeitswert. Ist der HCLPF der SSK höher als die vom KKB als Referenz gewählte maximale Bodenbeschleunigung (PGA) auf der Geländeoberfläche (0.348 g), gilt der Nachweis als erfüllt.

Für die zur Kern- und Beckenkühlung erforderlichen SSK weist das KKB mit einer Ausnahme genügende Erdbebenfestigkeiten resp. HCLPF-Werte nach. Die Ausnahme ist ein Ionentauscher, der durch Abzweigungen aus den Rücklaufleitungen mit dem Brennelementlagerbecken verbunden ist. Die Rücklaufleitungen sind mit Rückschlagklappen gesichert und in der Regel mit einer Handarmatur verschlossen. Das KKB wird zusätzliche redundante Rückschlagklappen einbauen. Eine Entleerung des Beckens ist auch im jetzigen Zustand sehr unwahrscheinlich. Dennoch muss das KKB prüfen, ob kurzfristige Massnahmen ergriffen werden können, um eine Füllstandsabsenkung im Brennelementlagerbecken zu vermeiden (siehe Kapitel 7.2).

Für die relevanten Gebäude hat das KKB umfangreiche und teilweise auch nichtlineare Erdbebenachweise mit Finite-Element-Modellen durchgeführt. Die HCLPFS für mechanische und elektrotechnische Komponenten basieren auf Auslegungsunterlagen, Rütteltischversuchen oder auf generischen Werten, die auf Abschätzungen von den an Anlagenbegehungen beteiligten Experten beruhen oder aus EPRI-Guides und Datenbanken entnommen wurden. Aufgrund eigener Vergleichsrechnungen, Vergleichen mit der ursprünglichen Auslegung oder mit Ergebnissen aus Rütteltischversuchen sowie Plausibilitätsbetrachtungen unter Einbezug der EPRI-Guides kommt das ENSI zum Schluss, dass das methodische Vorgehen des KKB korrekt oder teilweise sogar richtungsweisend ist und die Ergebnisse plausibel sind.

### Radiologische Auswirkungen

Die Strahlenbelastung in der Umgebung bei einem 10'000-jährlichen Erdbeben aufgrund der Beiträge durch das Abfahren des Reaktors und das Versagen von nicht erdbebenfesten Ausrüstungen führt auch im ungünstigsten Fall zu einer maximalen Dosis unterhalb des zulässigen Grenzwerts von 100 mSv. Da sich für die Kombination von Erdbeben und Überflutung kein neues Schadensbild ergibt, werden die Grenzwerte auch für diesen Fall eingehalten. Auch für das Brennelementlagerbecken ergibt sich unter der ungünstigsten Annahme, dass während der Revision frisch aus dem Kern entladene Brennelemente mit hoher Aktivität im Brennelementlagerbecken lagern, eine maximale Dosis unterhalb des zulässigen Grenzwerts. Aufgrund der Prüfung der eingereichten Unterlagen und eigenen Vergleichsrechnungen beurteilt das ENSI die vom KKB ermittelten Dosiswerte als konservativ abdeckend. Sie liegen unterhalb der Dosislimite von 100 mSv nach StSV /163/.





## 7.2 Schlussfolgerungen

Aufgrund der Prüfung der vom KKB eingereichten Dokumente kommt das ENSI zum Schluss, dass die Kernkühlung und die Kühlung der Brennelementlagerbecken unter Einwirkung eines 10'000-jährlichen Erdbebens und der Kombination von Erdbeben und erdbebenbedingtem Hochwasser gewährleistet bleiben. Die Dosislimite von 100 mSv wird bei diesen Störfällen eingehalten. Das Kriterium gemäss Art. 3 der Ausserbetriebnahmeverordnung /161/ wird nicht erreicht.

Aus der vorliegenden Stellungnahme des ENSI zum Erdbebennachweis des KKB resultieren die nachfolgend genannten Forderungen. Die Forderungen stellen die vorliegenden Nachweise nicht in Frage, da sie nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse der vom KKB eingereichten Analysen haben. Die Umsetzung der Forderungen wird in separaten Geschäften vom ENSI weiterverfolgt.

**Forderung 1:** *Das KKB hat zu überprüfen, wie die Frischdampf-Abblaseventile durchgängig erdbebenfest vom Notstandleitstand angesteuert werden können.*

**Forderung 2:** *Unter der Annahme, dass der Ionentauscher FAC 28-A unter Erdbeben versagt, die Handarmatur in der Verbindungsleitung zwischen Ionentauscher und Brennelementlagerbecken geöffnet ist und als unabhängiger Einzelfehler die Rückschlagklappe in der Leitung ausgefallen ist, hat das KKB bis zum 30. September 2012 zu überprüfen, ob kurzfristig realisierbare Massnahmen zur Verhinderung einer unzulässigen Füllstandsabsenkung durch Saughebewirkung ergriffen werden können.*



## 8 Referenzen

- /1/ Axpo; Forderung aus ENSI-Verfügung vom 1. April 2011: Aktualisierung der KKB-Erdbeben-Grenztragfestigkeitsnachweise (Fragilities), KBR 021/511 ri/smk vom 30.11.2011
- /2/ Axpo; Aktualisierung der Erdbebenfestigkeitsnachweise (Fragilities) für KKB gemäss ENSI-Verfügung vom 1.4.2011, TM-511-RN11048, Rev. 0 vom 30.11.2011, ersetzt durch Referenz /21/
- /3/ Swissnuclear; Intermediate Seismic Hazard (May 2011), Evaluation of an intermediate seismic hazard for the existing Swiss nuclear power plants, KKB213D0028, Rev. 1 vom 27.06.2011
- /4/ Interoil; Intermediate Soil Hazard Results for Beznau -July 2011, KKB213D0027, Rev. 1 vom 14.07.2011
- /5/ APA Consulting; Development of Aceleration Time Histories for the Intermediate PRP Uniform Hazard Spectra at the Beznau Nuclear Power Plant, KKB213D0036, Rev. 0 vom 28.11.2011
- /6/ APA Consulting; Development of Strain Compatible Soil Profile at the Beznau Nuclear Power Plant Site, KKB213D0035, Rev. 0 vom 28.11.2011
- /7/ APA Consulting; Deterministic Seismic Analysis of Beznau NPP Reactor Building for Intermediate PRP Uniform Hazard Spectra, KKB213D0029, Rev. 0 vom 28.11.2011
- /8/ APA Consulting; Deterministic Seismic Analysis of Beznau NPP NANO Building for Intermediate PRP Uniform Hazard Spectra, KKB213D0030, Rev. 0 vom 28.11.2011
- /9/ APA Consulting; Deterministic Seismic Analysis of Beznau NPP Auxiliary E2 Building for Intermediate PRP Uniform Hazard Spectra, KKB213D0032, Rev. 0 vom 28.11.2011
- /10/ APA Consulting; Probabilistic Seismic Analysis of Beznau NPP Reactor Building for Intermediate PRP Uniform Hazard Spectra, KKB213D0033, Rev. 0 vom 28.11.2011
- /11/ APA Consulting; Probabilistic Seismic Analysis of Beznau NPP NANO Building for Intermediate PRP Uniform Hazard Spectra, KKB213D0034, Rev. 0 vom 28.11.2011
- /12/ Červenka Consulting; Pushover Calculation for Reactor Building of Beznau Power Plant, KKB 234D0149, Rev. 3 vom 28.11.2011
- /13/ Červenka Consulting; Pushover analysis of Building E of Beznau Power Plant, KKB234D0150, Rev. 2 vom 28.11.2011
- /14/ Axpo; Probabilistische Erdbebenfestigkeitsanalyse (Fragility) des Reaktorgebäudes anhand PRP Intermediate Hazard, KKB 233 D0150, Rev. 0 vom 30.11.2011
- /15/ Axpo; Probabilistische Erdbebenfestigkeitsanalyse (Fragility) des UN(E) anhand PRP Intermediate Hazard, KKB 234 D0147, Rev. 0 vom 30.11.2011
- /16/ Axpo; Aktualisierung der KKB-KomponentenFragilities per 30.11.2011, TM-511-RN11049, Rev. 0 vom 30.11.2011, ersetzt durch Referenz /22/
- /17/ ABS Consulting; Fragility of REQUAL II Piping, Supports, and Valves, Beilage 1 zu TM-511-RN11049, Rev. 1 vom 12.10.2007, ersetzt durch Referenz /23/
- /18/ ABS Consulting; Fragility for Notstand and LSE Electrical and I&C Equipment, Beilage 2 zu TM-511-RN11049, Rev. 1 vom 12.10.2007, ersetzt durch Referenz /24/
- /19/ JJJ&Associates; Fragility for Beznau Notstand Well Water Pumps, KKB511D0285, Rev. 0 vom 28.11.2011
- /20/ Axpo; Kernkraftwerk Beznau Block 1 und 2, Ergänzungen zu den aktualisierten KKB-Erdbeben-Grenztragfestigkeitsnachweisen (Fragilities) ENSI-Geschäfte 14/11/015 und 14/11/067, KBR-N 021 prd/smk vom 30.03.2012



- /21/ Axpo; Aktualisierung der Erdbebenfestigkeitsnachweise (Fragilities) für KKB gemäss ENSI-Verfügung vom 1.4.2011, TM-511-RN11048, Rev. 1 vom 30.03.2012
- /22/ Axpo; Aktualisierung der KKB-Komponenten-Fragilities per 30.11.2011, TM-511-RN11049, Rev. 1 vom 30.03.2012
- /23/ ABS Consulting; Fragility of REQUAL II Piping, Supports, and Valves, Beilage 1 zu TM-511-RN11049, Rev. 1 Version 2012 vom 12.10.2007
- /24/ ABS Consulting; Fragility for Notstand and LSE Electrical and I&C Equipment, Beilage 2 zu TM-511-RN11049, Rev. 1 Version 2011 vom 12.10.2007
- /25/ Axpo; Probabilistische Erdbebenfestigkeitsanalyse (Fragility) des Dachaufbaus von UN(C) anhand PRP Int. Hazard, KKB 234 D0155, Rev. 0 vom 19.03.2012
- /26/ Axpo; Probabilistische Erdbebenfestigkeitsanalyse (Fragility) des BE-Lagergebäudes anhand PRP Intermediate Hazard, KKB 234 D0148, Rev. 0 vom 29.11.2011
- /27/ Axpo; Seismische Fragility des Wehres Wettingen, TM-211-RN11035, Rev. 0 vom 22.09.2011
- /28/ ABS Consulting; ABS Master Table\_DEC19\_2007, DEC19\_2007, Rev. 0 vom 29.03.2011
- /29/ ABS Consulting; List of Calculations FRAGI 2007, 1480423, Rev. 0 vom 27.03.2012
- /30/ ABS Consulting; Probabilistic Seismic Response Analyses of Beznau Safety Related Buildings, 1480423-R-003, Rev. 1 vom 31.10.2007
- /31/ ABS Consulting; Report on Seismic Walkdown of Beznau Unit 2, 1480423-R-004, Rev. 2 vom 31.10.2007
- /32/ ABS Consulting; Probabilistic Evaluation of Soil Related Failures at Beznau NPP Site, 1480423-R-005, Rev. 0 vom 22.05.2007
- /33/ ABS Consulting; Seismic Fragility Evaluation of Structures and Equipment at Beznau Unit 2, 1480423-R-006, Rev. 1 vom 20.12.2007
- /34/ ABS Consulting; Probabilistic Soil-Structure Interaction Analysis Methodology, 1480423-C-001, Rev. 0 vom 14.08.2006
- /35/ ABS Consulting; Development of Median Acceleration Time Histories, 1480423-C-002, Rev. 0 vom 14.08.2006
- /36/ ABS Consulting; UHS-1E-05, 1480423-C-002, Rev. 0 vom 14.08.2006
- /37/ ABS Consulting; Development of Median Soil Properties , 1480423-C-003, Rev. 0 vom 14.08.2006
- /38/ ABS Consulting; degradation, sassi-soil-E-05, soil-comparision, soil-degraded-E-05, soil-pegasos, soil-pegasos-mod, shake-daten, 1480423-C-003, Rev. 0 vom 14.08.2006
- /39/ ABS Consulting; Development of Probabilistic Acceleration Time Histories, 1480423-C-004, Rev. 0 vom 14.08.2007
- /40/ ABS Consulting; Development of Latin Hypercube Multipliers, 1480423-C-005, Rev. 0 vom 14.08.2007
- /41/ ABS Consulting; Development of SASSI Structural Model – Reactor Building, 1480423-C-006, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /42/ ABS Consulting; Soil-Structure Interaction Analysis – Reactor Building, 1480423-C-007, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /43/ ABS Consulting; Development of SASSI Structural Model – Auxiliary C Building, 1480423-C-008, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /44/ ABS Consulting; Soil-Structure Interaction Analysis – Auxiliary C Building, 1480423-C-009, Rev. 0 vom 29.05.2007



- /45/ ABS Consulting; Development of SASSI Structural Model – BOTA Building, 1480423-C-010, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /46/ ABS Consulting; Soil-Structure Interaction Analysis – BOTA Building, 1480423-C-011, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /47/ ABS Consulting; Development of SASSI Structural Model – ERGES Building, 1480423-C-012, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /48/ ABS Consulting; Soil-Structure Interaction Analysis – ERGES Building, 1480423-C-013, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /49/ ABS Consulting; Development of SASSI Structural Model – Intermediate D Building, 1480423-C-014, Rev. 0 vom 07.07.2006
- /50/ ABS Consulting; Soil-Structure Interaction Analysis – Intermediate D Building, 1480423-C-015, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /51/ ABS Consulting; Development of SASSI Structural Model – Intermediate E Building, 1480423-C-016, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /52/ ABS Consulting; Soil-Structure Interaction Analysis – Intermediate E Building, 1480423-C-017, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /53/ ABS Consulting; Development of SASSI Structural Model – Auxiliary A Building, 1480423-C-018, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /54/ ABS Consulting; Soil-Structure Interaction Analysis – Auxiliary A Building, 1480423-C-019, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /55/ ABS Consulting; Development of SASSI Structural Model – Auxiliary B Building, 1480423-C-020, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /56/ ABS Consulting; Soil-Structure Interaction Analysis – Auxiliary B Building, 1480423-C-021, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /57/ ABS Consulting; Development of SASSI Structural Model – Turbine Building East, 1480423-C-022, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /58/ ABS Consulting; Soil Structure Interaction Analysis – Turbine Building East, 1480423-C-023, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /59/ ABS Consulting; Development of SASSI Structural Model – Notstand Building, 1480423-C-024, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /60/ ABS Consulting; Soil-Structure Interaction Analysis – Notstand Building, 1480423-C-025, Rev. 0 vom 29.05.2007
- /61/ ABS Consulting; Fragility of Seismic Safety Class I Electrical and I&C Cabinets with no Seismic Qualification, 1480423-C-026, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /62/ ABS Consulting; Fragility of Reactor Coolant System, 1480423-C-027, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /63/ ABS Consulting; Fragility of Control Rod Drive System and Fuel Assembly, 1480423-C-028, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /64/ ABS Consulting; Fragility of REQUAL II Piping, Supports, and Valves, 1480423-C-029, Rev. 1 vom 31.10.2007
- /65/ ABS Consulting; Fragility of Notstand Piping, Supports, and Valves, 1480423-C-030, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /66/ ABS Consulting; Fragility of Service Water and Component Cooling Piping in Containment, 1480423-C-031, Rev. 2 vom 20.12.2007



- /67/ ABS Consulting; Fragility for Notstand and LSE Electrical and I&C Equipment, 1480423-C-032, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /68/ ABS Consulting; Fragility for Notstand and LSE Mechanical Equipment, 1480423-C-033, Rev. 2 vom 20.12.2007
- /69/ ABS Consulting; Fragility of Seismically Qualified Electrical and I&C Equipment in Buildings D, E and UME, 1480423-C-034, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /70/ ABS Consulting; Fragility of Non-Seismically Qualified Equipment That Meets 2.0 g Spectral Acceleration Screening Caveats, 1480423-C-035, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /71/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Reactor Building, 1480423-C-036, Rev. 1 vom 20.12.2007
- /72/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Auxiliary Building A, 1480423-C-037, Rev. 1 vom 31.10.2007
- /73/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Auxiliary Building B, 1480423-C-038, Rev. 1 vom 31.10.2007
- /74/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Auxiliary Building C, 1480423-C-039, Rev. 1 vom 20.12.2007
- /75/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Auxiliary Building D, 1480423-C-040, Rev. 1 vom 31.10.2007
- /76/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Auxiliary Building E, 1480423-C-041, Rev. 1 vom 31.10.2007
- /77/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Notstand Building, 1480423-C-042, Rev. 1 vom 31.10.2007
- /78/ ABS Consulting; Seismic Fragility of BOTA Building, 1480423-C-043, Rev. 1 vom 31.10.2007
- /79/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Emergency Feedwater Building (LSE, ERGES), 1480423-C-044, Rev. 1 vom 31.10.2007
- /80/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Turbine Building, 1480423-C-045, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /81/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Intake Structure, 1480423-C-048, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /82/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Hydroplant East, 1480423-C-049A, Rev. 1 vom 20.12.2007
- /83/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Hydroplant West, 1480423-C-049B, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /84/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Hydroplant Turbine Hall, 1480423-C-049C, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /85/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Weir Dam, 1480423-C-050, Rev. 1 vom 31.10.2007
- /86/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Cable Crossing Bridge, 1480423-C-051, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /87/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Building D Masonry Wall (2E411), 1480423-C-052A, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /88/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Building E Masonry Wall (2E408), 1480423-C-052B, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /89/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Building E Masonry Walls in MCR 2E506 North and 2E506 West (Main Control Room), 1480423-C-052C, Rev. 1 vom 20.12.2007



- /90/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Masonry Wall (2E407) 2E 407 West (Cable Spreading Room), 1480423-C-052D, Rev. 2 vom 20.12.2007
- /91/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Masonry Wall 2E512 2E512 Diesel Generator Room (+7.0 m), 1480423-C-052E, Rev. 1 vom 31.10.2007
- /92/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Building E MCR Ceiling, 1480423-C-053, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /93/ ABS Consulting; Miscellaneous Tanks (BOTA, LSE and Feedwater), 1480423-C-054, Rev. 1 vom 31.10.2007
- /94/ ABS Consulting; Miscellaneous Cranes and Structural Elements, 1480423-C-055, Rev. 1 vom 31.10.2007
- /95/ ABS Consulting; Seismic Fragility of Intake Structure, 1480423-C-056, Rev. 0 vom 31.07.2007
- /96/ ABS Consulting; Shear and Overturning Moments, 1480423-C-057, Rev. 0 vom 06.11.2006
- /97/ Pegasos Refinement Projekt; PEGASOS Refinement Project Soil model for the Beznau site (KKB), TP3-TN-1068, Rev. 4 vom 07.05.2010
- /98/ Axpo; Forderung aus ENSI-Verfügung vom 1. April 2011: Deterministischer Nachweis der Beherrschung des 10000-jährlichen Erdbebens ENSI-Geschäftsnummer 14/11/015, KBR-A 021/511 mir/smk, Rev. 0 vom 30.03.2012
- /99/ Axpo; Deterministischer Sicherheitsnachweis für das 10 000-jährliche Erdbeben , TM-511-RA12014, Rev. 0 vom 30.03.2012
- /100/ Axpo; Analyse der Dichtheit der Containment-Absperrung nach einem Erdbeben mit nachfolgendem Hochwasser, TM-511-RA12010, Rev. 0 vom 30.03.2012
- /101/ Axpo; Einzelfehlersicherheit des KKB-Notstandsystems bei Einwirkungen von Aussen, TM-511-RA12015, Rev. 0 vom 30.03.2012
- /102/ Axpo; Radiologische Analyse des 10 000-jährlichen Erdbebens, TM-511-RA12016, Rev. 0 vom 30.03.2012
- /103/ Axpo; Radiologische Untersuchung durch Austrag aus Behältern nach einem Erdbeben mit nachfolgendem Hochwasser, TM-511-RM 2009, Rev. 0 vom 30.03.2012
- /104/ Gubler; Quellterme KKB für Störfälle bei Hilfssystemen, KKB511D0288, Rev. 1 vom 01.02.2012
- /105/ Gubler; Quellterme KKB Hilfssysteme - Primärseite, KKB511D0290, Rev. 2 vom 19.03.2012
- /106/ Gubler; Quellterme KKB Hilfssysteme - Sekundärseite, KKB511D0289, Rev. 2 vom 19.03.2012
- /107/ Gubler; Radiologische Analyse primärseitiges Bleed & Feed, KKB511D0291, Rev. 2 vom 20.03.2012
- /108/ Axpo; Forderung aus ENSI-Verfügung vom 5. Mai 2011: Deterministischer Sicherheitsnachweis für das Brennelement-Lagerbecken ENSI-Geschäftsnummer 14/11/015 , KBR 021/511 ri/smk vom 30.03.2012
- /109/ Axpo; Deterministischer Sicherheitsnachweis für das Brennelement-Lagerbecken , TM-511-R 12011, Rev. 0 vom 30.03.2012
- /110/ Axpo; Radiologische Freisetzung bei Wärmeabfuhr des BE-Beckens über Verdampfung des Beckeninventars, TM-511-RA12008, Rev. 0 vom 30.03.2012
- /111/ Axpo; DVD-Nano-Probabilistic, Rev. 0 vom 24.02.2012



- /112/ Axpo; DVD-Nano-Probabilistic, Rev. 0 vom 24.02.2012
- /113/ Axpo / Gubler; Excel-Tabellen Radiologie, Rev. 0 vom 16.05.2012
- /114/ Axpo; Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2, Ankündigung einer Inspektion zum deterministischen Nachweis des 10 000-jährlichen Erdbebens, ENSI Geschäft Nr. 14/11/067, KBR-N 021 prd/smk vom 30.05.2012
- /115/ Westinghouse; Specification No. 1964-SS-5, Reactor Plant Containment, KKB 233 D 65, Rev. 0 vom 21.06.1968
- /116/ SMA; Structural fragility calculation for the Reactor Building, KKB511D0141, Rev. 0 vom 22.05.1984
- /117/ EQE; Seismic Fragility Evaluation of Selected Buildings and Equipment at Beznau Unit 2, KKB511D0142, Rev. 0 vom 02.04.1996
- /118/ Westinghouse; Structural Evaluation of the Control Rod Drive Mechanism and of Their Access Plattform for the KKB1 and 2 Nuclear Power Plant, KKB530D0056, Rev. 0 vom 01.01.1999
- /119/ Westinghouse; Structural Analysis of the Reactor Coolant System for the NOK Nuclear Power Plant Beznau Unit 1 and 2, KKB570D0019, Rev. 1 vom 01.10.1992
- /120/ Westinghouse; Structural Analysis of the Safety Injection Line to Cold Leg Loop B of KKB 11 (2SI-P5), KKB 581 D 43, Rev. 0 vom 01.02.1990
- /121/ Westinghouse; Structural Analysis of the Safety Injection Line to Upper Plenum A of KKB II (2SI-P3), KKB 581 D 44, Rev. 0 vom 01.02.1990
- /122/ Westinghouse; Structural Analysis of the Safety Injection Line to Upper Plenum B of KKB II (2SI-P4), KKB 581 D 45, Rev. 0 vom 01.02.1990
- /123/ Westinghouse; Structural Analysis of the Main Safety Injection Header of KKB II (2SI-P1), KKB 581 D 46, Rev. 0 vom 01.02.1990
- /124/ Westinghouse; Structural Analysis of the Safety Injection Line to Cold Leg Loop A of KKB II (2SI-P2), KKB 581 D 47, Rev. 0 vom 01.02.1990
- /125/ Westinghouse; Structural Analysis of the Residual Heat Removal (RHR) Return Line to Cold Leg Loop A of KKB II (2RHRR), KKB 581 D 53, Rev. 0 vom 01.03.1990
- /126/ Westinghouse; Structural Analysis of the RCP Seal Cooling Line to Reactor Coolant Pump Loop B of KKB II (2SCB), KKB 581 D 55, Rev. 0 vom 01.03.1990
- /127/ Westinghouse; Stress Analysis Report for the Auxiliary Class Two Piping of the RCP Seal Return System, KKB581 D0100, Rev. 1 vom 20.12.1994
- /128/ Westinghouse; Stress Analysis Report for the Auxiliary Class One Piping of the Spray, Aux. Spray and CVCS Charing Lines, KKB581 D0101, Rev. 1 vom 01.10.2000
- /129/ Westinghouse; Stress Analysis Report for the New CVCS Letdown Line and Excess Letdown Line, KKB581 D0120, Rev. 0 vom 10.12.1991
- /130/ Westinghouse; Stress Analysis Report for Auxiliary Class 2 Piping of Feedwater System Inside Reactor Containment, KKB581 D0126, Rev. 2 vom 13.02.1998
- /131/ Westinghouse; Stress Analysis Report for the Auxiliary Class Two Piping of the Steam Generator Blowdown System Inside Reactor Containment, KKB581 D0131, Rev. 1 vom 14.10.1994
- /132/ Westinghouse; Stress Analysis Report for the Auxiliary Class 2 Piping of the Main Steam and Feedwater Piping System Outside Reactor Containment, KKB581 D0202, Rev. 0 vom 14.10.1993
- /133/ Westinghouse; Stress Analysis Report for Auxiliary Class 2 Piping of Main Steam System Inside Reactor Containment, KKB581 D0249, Rev. 1 vom 17.02.1998



- /134/ Westinghouse; Project NANO - Beznau II, VPU 225-06 Piping and Supports Volume 4 Stress analysis report for (JSI and JNA), KKB662D0086, Rev. 2 vom 17.02.1992
- /135/ Axpo; Spannungsanalyse PRW service water piping inside containment stressanalysis for seismic fragility calculation SA-M-070, TM-628-MB07021, Rev. 1 vom 26.09.2007
- /136/ Axpo; Nachtrag zur ENSI-Inspektion am 23. Mai 2012, Screening Worksheets, 29.05.2012
- /137/ Axpo; Access-Datenbank Walkdown, EPRI\_SEWS\_L1, eingereicht am 29.05.2012
- /138/ Axpo; Fotos der Inspektion vom 23.05.2012, eingereicht 29.05.2012
- /139/ Axpo; 47 Systemschaltpläne, eingereicht am 29.05.2012
- /140/ Axpo; Ergänzung Fragility-Tabelle aus TM-511-RN11048, TM-511-RN11048, eingereicht am 29.05.2012
- /141/ Axpo; Folien der Vorträge während der Inspektion vom 23.05.2012, eingereicht am 29.05.2012
- /142/ Axpo; Schlussbericht des Kernkraftwerkes Beznau zum EU-Stresstest, TM-511-R11043, Rev. 0 vom 28.10.2011
- /143/ Axpo; KKB 1 und 2, Nachrüstungen BE-Lagergebäude gemäss Verfügung vom 05.05.2011, Freigabeantrag H1 gemäss Artikel 40, KEV, KBM 021/622 buh/haei vom 23.12.2011
- /144/ Axpo; Nachweis der Beherrschung des Sicherheitserdbebens im KKB, AN-511-RA06002, Rev. 1 vom 30. 10. 2006
- /145/ TK Consult AG; Überflutung Beznau, Szenarien zur Untersuchung der Überflutung der Beznau-Insel, TKC1618, KKB 211D0053 vom März 2011
- /146/ TK Consult AG; Überflutung KKW Beznau, Szenarien zur Untersuchung der Überflutung der Beznau-Insel, TKC0918, KKB 21100052 vom September 2008
- /147/ Axpo; Sicherheitstechnischer Nachweis für das 10 000-jährliche Hochwasser, KKB TM-511-R 11029 vom 30.6.2011
- /148/ Axpo; Brennelement-Lagergebäude, Nebengebäude UN(B), Zustandsanalyse und Massnahmenempfehlung, Zustandserfassung und Beurteilung der aktuellen Erdbebensicherheit, KKB 234 D0144, Rev. 0 vom 30.08.2011
- /149/ Axpo; Antrag auf Rotkorrektur in der LCO 34.10 der Technischen Spezifikationen und Stellungnahme zu den radiologischen Auswirkungen einer 10-fach erhöhten Primärkühlmittelaktivität, KBR-A 021 vom 12.06.2012
- /150/ BERA-2009: Full Probabilistic Risk Assessment (BERA), Beznau Unit 2, KKB511D0127
- /151/ Axpo; Evaluation of the Application of Seismic Fragilities of Building of Unit 1 to Building of Unit 2, KKB 511 D0265, March 2008. (BERA-2009, Appendix I.3)
- /152/ AREVA; KKB 1+2: Nachweis der Framatome-Brennelementstrukturen für Belastung infolge Sicherheitserdbeben unter Berücksichtigung von Bestrahlungseinflüssen (Horizontalanalyse), A1C-1314686-1 vom 24.03.2004
- /153/ ENSI; Verfügung: Massnahmen aufgrund der Ereignisse in Fukushima, FLP/SAN-14/11/015 vom 18.03.2011
- /154/ ENSI; Verfügung: Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung, SGE/FLP-14/11/015 vom 01.04.2011
- /155/ ENSI; Verfügung: Stellungnahme zu Ihrem Bericht vom 31. März 2011, FLP-14/11/015 vom 05.05.2011





- /156/ ENSI; Nachforderungen zu den aktualisierten Erdbeben-Grenztragfähigkeitsnachweisen (Fragilities) des KKB, ENSI Geschäft Nr. 14/11/067, BUU/THK/SAS-14/11/067 vom 19.03.2021
- /157/ ENSI; Verfügung: Stellungnahme zu Ihrem Bericht zum EU-Stresstest, SGE-10KEX.Stresstest vom 10.01.2012
- /158/ ENSI; Nachweis der Beherrschung des Sicherheitserdbebens, Geschäfts-Nr. 14/05/037, TK/VB-14/05/037 vom 19.12.2006
- /159/ ENSI; Stellungnahme zu den vom KKB eingereichten Verbesserungsmassnahmen zur Erfüllung der Forderungen aus der Verfügung vom 5. Mai 2011, ENSI 14/1563 vom 10.11.2011
- /160/ ENSI; EU Stresstest; Swiss National Report, ENSI-AN-7798 vom Dezember 2011
- /161/ SR 732.114.5; Verordnung des UVEK vom 16. April 2008 über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken, Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)
- /162/ SR 732.112.2; Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009 (Stand am 1. August 2009)
- /163/ SR 814.501; Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994 (Stand am 1. Januar 2008)
- /164/ SR 732.11; Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004 (Stand am 1. Mai 2012)
- /165/ IAEA Safety Standard; Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installations, Safety Guide No. NS-G-2.13
- /166/ Richtlinie ENSI-A01; Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse, Ausgabe Juli 2009
- /167/ Richtlinie ENSI-A05; Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang, Ausgabe Januar 2009
- /168/ Richtlinie ENSI-A08; Quelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen, Ausgabe Februar 2010
- /169/ Richtlinie G14; Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen, Ausgabe Februar 2008, Revision 1 vom 21. Dezember 2009
- /170/ Richtlinie HSK-R-48/d; Periodische Sicherheitsüberprüfung von Kernkraftwerken, 1. November 2001
- /171/ EPRI; A Methodology for Assessment of Nuclear Power Plant Seismic Margin (Revision 1), EPRI NP-6041-SL, Revision 1, August 1991
- /172/ EPRI; Methodology for Developing Seismic Fragilities, TR-103959, June 1994
- /173/ EPRI; Seismic Fragility Applications Guide, 1002988, December 2002
- /174/ KTA; Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen;  
Teil 1: Grundsätze, KTA 2201.1, Fassung 2011-11  
Teil 2: Baugrund, KTA 2201.2, Fassung 06/90  
Teil 3: Auslegung der baulichen Anlagen, KTA 2201.3, Fassung Juni 1990, Entwurf  
Teil 4: Anforderungen an Verfahren zum Nachweis der Erdbebensicherheit für maschinen- und elektrotechnische Anlagenteile. KTA2201.4, Fassung 06/90



- /175/ IEEE; IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations, IEEE 344-2004 vom 13. Juni 2005
- /176/ American Society of Mechanical Engineers, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III