



## Aktennotiz

Datum: 27.01.2021

Seiten: 24

Anhänge: -

Beilagen: -

Verteiler intern:

Verteiler extern:

Sachbearbeiter:

Visum

Visum Vorgesetzte

Klassifizierung keine  
Aktenzeichen 11KEX.SEG15, 11/18/020  
Referenz ENSI 11/2611

## Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbeben- nachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks  
Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Gegenstand</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Bewertung der Gefährdungsannahmen</b>	<b>4</b>
	2.1 Erdbebengefährdung	4
	2.2 Gefährdung Erdbeben in Kombination mit Hochwasser	7
<b>3</b>	<b>Methodik zur Überprüfung der Erdbebenauslegung</b>	<b>8</b>
	3.1 Methodische Vorgaben	8
	3.2 Prüfverfahren des ENSI	9
	3.3 Nachweisführung durch den Betreiber	10
<b>4</b>	<b>Erdbebennachweis für die Kernkühlung</b>	<b>10</b>
	4.1 Erforderliche Bauwerke und Systeme	10
	4.2 Erdbebengefährdung für die Bauwerke und Ausrüstungen	11
	4.3 Erdbebenfestigkeit der erforderlichen Bauwerke und Ausrüstungen	12
	4.3.1 Bauwerke	12
	4.3.2 Mechanische und elektrische Ausrüstungen	13
	4.4 Radiologische Auswirkungen	14
<b>5</b>	<b>Erdbebennachweis für die Brennelementbeckenkühlung</b>	<b>15</b>
	5.1 Erforderliche Bauwerke und Systeme	15
	5.2 Erdbebenfestigkeit der erforderlichen Bauwerke und Systeme	16
	5.2.1 Bauwerke	16
	5.2.2 Mechanische und elektrische Ausrüstungen	16
	5.3 Radiologische Auswirkungen	16
<b>6</b>	<b>Nachweis Kombination von Erdbeben und Hochwasser</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerung</b>	<b>18</b>
	7.1 Zusammenfassung	18
	7.2 Schlussfolgerung	20
<b>8</b>	<b>Referenzen</b>	<b>21</b>



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:



## 1 Veranlassung und Gegenstand

Mit der Verfügung vom 26. Mai 2016 /20/ legte das ENSI unter der Dispositivziffer 1 fest, dass für die Standorte der Schweizer Kernkraftwerke neu die Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 gelten. Mit Forderung 2.A) in /20/ verlangte das ENSI von der BKW das Konzept /19/ zur Erarbeitung von Sicherheitsnachweisen hinsichtlich der neuen Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015. Das Konzept wurde vom ENSI mit der Stellungnahme vom 27. April 2017 /21/ kommentiert. In der Fassung des Konzepts vom 21. Juni 2017 /19/ sind die Kommentare des ENSI aus der Stellungnahme /21/ berücksichtigt worden. Mit den Forderungen 2.B) und 3 in /20/ verlangte das ENSI, dass die BKW unter Berücksichtigung der neuen Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 die nach Fukushima durchgeführten Erdbebennachweise aktualisieren (Forderung 2.B) und die Etagenantwortspektren (Forderung 3) neu berechnen muss.

### **Forderung 2.B) aus der Verfügung vom 26. Mai 2016 /20/**

*Auf den 21. Dezember 2018 sind die nach Fukushima vom ENSI verlangten Nachweise "Erdbeben" (Abschnitt 3.1) /22/ und "Kombination von Erdbeben und Hochwasser" (Abschnitt 3.3) /22/ zu aktualisieren. Die Nachweise sind für den Betriebszustand "Leistungsbetrieb" zu führen. Die Vorgabe B entfällt, falls innerhalb der Frist der Vorgabe B die Vorgaben C bis E unter Mitberücksichtigung des Betriebszustands „Leistungsbetrieb“ erfüllt werden.*

### **Forderung 3 aus der Verfügung vom 26. Mai 2016 /20/**

*Die Kraftwerkspraxis und die Freigabeanträge sind auf die Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 abzustellen, sobald neue qualitätsgesicherte auf den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 basierende Etagenantwortspektren verfügbar sind. Die Etagenantwortspektren sind dem ENSI auf den 21. Dezember 2018 einzureichen und treten in Kraft, sobald sie vom ENSI geprüft und akzeptiert sind. Zuvor sind absehbare Auswirkungen der Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 angemessen zu berücksichtigen.*

In seiner Verfügung /20/ bezieht sich das ENSI auf den Art. 22 Abs. 2 Bst. d des Kernenergiegesetzes (SR 732.1 / Aktueller Stand 1. Januar 2020), wonach der Bewilligungsinhaber während der ganzen Lebensdauer der Kernanlage unter anderem Nachprüfungen und systematische Sicherheitsbewertungen durchzuführen hat. Zusätzlich gilt gemäss Art. 13 der Verordnung über die Gefährdungsannahmen (SR 732.112.2 / Aktueller Stand 1. Februar 2019), dass der Bewilligungsinhaber die deterministische Störfallanalyse und die probabilistische Sicherheitsanalyse durchzuführen und das Risiko zu bewerten hat, sobald neue Gefährdungsannahmen vorliegen.

Zur Erfüllung der Forderung 2.B) aus der Verfügung /20/ reichte die BKW dem ENSI mit Brief vom 29. November 2018 /1/ die Unterlagen /3/ bis /15/ fristgerecht ein. Mit Brief vom 19. Dezember 2018 /2/ reichte die BKW dem ENSI zur Erfüllung der Forderung 3 aus der Verfügung /20/ die Berichte /16/ und /17/ mit der Ermittlung der Etagenantwortspektren für das Reaktorgebäude (RG) und das SUSAN-Gebäude (SG) ein. Die Standsicherheitsnachweise der Stauanlagen /25/ bis /27/ hat die BKW im Juli 2018 im Rahmen von MUSA2018 - Probabilistische Sicherheitsanalyse KKM - eingereicht.

Das ENSI hat die Unterlagen /3/ bis /17/ einer Grobprüfung unterzogen. Hierbei überprüfte das ENSI insbesondere die Vollständigkeit der Unterlagen und die Einhaltung der Vorgaben aus dem Konzept /19/. Mit Brief vom 26. April 2019 /46/ hat das ENSI eine Stellungnahme zu den Unterlagen /3/ bis /17/ abgegeben. In dieser Stellungnahme hat das ENSI 4 Forderungen gestellt. Die Forderungen betrafen die Einreichung von zusätzlichen Unterlagen in digitaler Form und ergänzende Angaben zur Containment- und Primärkreisisolierung sowie zur radiologischen Sicherheitsanalyse.



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:



Mit dem Brief vom 16. Mai 2019 /40/ hat die BKW dem ENSI die verlangten digitalen Daten zugestellt und damit 2 der 4 Forderungen erfüllt. Mit dem Brief vom 26. Juni 2019 /41/ hat die BKW dem ENSI die Aktennotiz AN-TM-2019/061 /43/ mit den ergänzenden Angaben zur Containment- und Primärkreisisola-tion eingereicht. Mit Brief vom 25. Juli 2019 /42/ sind die verlangten Bewertungen zur radiologischen Sicherheitsanalyse nachgereicht worden. Mit den Briefen vom 27. August 2019 /47/ und 17. September 2019 /48/ hat das ENSI die Erfüllung aller 4 Forderungen bestätigt. Mit der Erfüllung aller Forderungen lagen dem ENSI alle Unterlagen vor, um die Detailprüfung der Aktualisierung der Fukushima-Erdbe-bennachweise und der Etagenantwortspektrern durchzuführen.

Gegenstand dieser Stellungnahme sind die aktualisierten Fukushima-Nachweise der BKW gemäss For-derung 2.B) aus der Verfügung /20/. Zur Diskussion der Detailprüfung von den mit den Erdbebenge-fährdungsannahmen ENSI-2015 ermittelten Etagenantwortspektrern für das Reaktorgebäude (RG) /16/ und das SUSAN-Gebäude (SG) /17/ fand am 20. August 2019 eine Besprechung mit der BKW statt. Aufgrund der Prüfkomentare des ENSI reichte die BKW im November 2019 die revidierten Berichte /44/ und /45/ ein. In der Stellungnahme vom 28. Januar 2020 /49/ hat das ENSI die Etagenantwortspektrern für das Reaktorgebäude (RG) /44/ und das SUSAN-Gebäude (SG) /45/ vorbehaltlos genehmigt. Zur Information wird die Dokumentation und Berechnung der EAS sowie deren Überprüfung durch das ENSI in dieser Stellungnahme verkürzt wiedergegeben.

## 2 Bewertung der Gefährdungsannahmen

### 2.1 Erdbebengefährdung

#### Ausgangslage

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 Me-thode wurde in diesem Projekt die Erdbebengefährdung unter umfassender Berücksichtigung des Kenntnisstandes der internationalen Fachwelt ermittelt. Dazu wurden Fachleute von erdwissenschaftli-chen und unabhängigen fachtechnischen Organisationen aus dem In- und Ausland beigezogen. Mit dem Projekt PEGASOS betrat die Schweiz Neuland.

Das Projekt wurde vom ENSI von Anfang an mit einem Expertenteam begleitet. Das ENSI kam zum Schluss, dass mit dem Projekt PEGASOS die methodischen Vorgaben erfüllt wurden und dass hinsichtlich der Qualitätssicherung sowie der Erweiterung der Methode auf die Charakterisierung des Standorteinflus-ses sogar ein neuer Stand der Technik erzielt wurde. Doch stellte das ENSI auch fest, dass die in den PEGASOS-Ergebnissen ausgewiesene Bandbreite der Unsicherheiten recht gross war und durch wei-tere Untersuchungen verkleinert werden konnte.

Mit dem Ziel, die Unschärfe der PEGASOS-Ergebnisse zu reduzieren, starteten die Kernkraftwerksbe-treiber im Jahr 2008 das von der Swissnuclear geleitete PEGASOS Refinement Project (PRP). Das PRP berücksichtigte neu vorliegende Erkenntnisse aus der Erdbebenforschung und die Resultate aus neuen Messungen der seismologischen Bodenkennwerte an den Kernkraftwerkstandorten. Ende 2013 reichte die Swissnuclear dem ENSI den Schlussbericht zum PRP ein.



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:

Infolge des schweren Seebebens vor Japan vom 11. März 2011 und den katastrophalen Auswirkungen auf das Kernkraftwerk Fukushima-Daiichi verfügte das ENSI am 18. März 2011 /57/, dass das KKM die Sicherheit bezüglich Erdbeben sowie der Kombination von Erdbeben und Hochwasser nachzuweisen hat. Das ENSI hat sich in seinen Verfügungen /57/ und /22/ auf den Art. 2 Abs. 1 Bst. d der Ausserbetriebnahmeverordnung (SR 732.114.5 / Aktueller Stand 1. Februar 2019) gestützt, wonach der Bewilligungsinhaber die Auslegung des Kernkraftwerks unverzüglich zu überprüfen hat, wenn dies die Behörde anordnet sowie auf den inzwischen gestrichenen Art. 3 der damaligen Fassung der Ausserbetriebnahmeverordnung, wonach das Kernkraftwerk vorläufig ausser Betrieb zu nehmen sei, wenn die Einhaltung der Dosiswerte nach Strahlenschutzverordnung nicht nachgewiesen werden kann. Anstelle des erwähnten Art. 3 der Ausserbetriebnahmeverordnung gilt heute der Art. 44 Abs. 1 Bst. a der Kernenergieverordnung (SR732.11 / Aktueller Stand 1. Februar 2019), wonach der Dosiswert bei einem Auslegungsstörfall nach Art. 8 Abs. 2 und 3 der Kernenergieverordnung nicht überschritten werden darf. Da sich der Art. 2 und der damalige Art. 3 der Ausserbetriebnahmeverordnung nur auf die Kernkühlung einschliesslich Integrität des Primärkreislaufs und des Containments beziehen, forderte das ENSI in seiner Verfügung vom 5. Mai 2011 /58/, dass die BKW zusätzlich zur Kernkühlung auch die Auslegung der Brennelementlagerbecken, -gebäude sowie -kühlsysteme zu überprüfen hat. Der von der BKW eingereichte ursprüngliche Fukushima-Nachweis /23/ wurde vom ENSI in der Stellungnahme vom 9. Juli 2012 /28/ beurteilt.

Die zur Nachweisführung erforderlichen, in der Folge als PRP Intermediate Hazard (PRP-IH) bezeichneten, seismischen Gefährdungsannahmen waren laut der Verfügung vom 1. April 2011 /22/ auf der Grundlage der im PRP bereits erhobenen Standortdaten und des neuen Erdbebenkatalogs des Schweizerischen Erdbebendienstes zu ermitteln. Die Prüfung des PRP durch das ENSI zeigte, dass insgesamt bedeutende Weiterentwicklungen erzielt wurden und das Projekt hinsichtlich der Bearbeitung der hauptsächlichen Projektschwerpunkte, der Verfeinerung der Teilprojekte 2 (Erschütterungsausbreitung) und 3 (Baugrundeinfluss am Standort), einen bedeutenden Fortschritt darstellte. Im Teilprojekt 1 (Charakterisierung der Erdbebenherde) wurden zwar ebenfalls Fortschritte erzielt, es gelang jedoch nicht mehr, die vom ENSI bereits im Verlauf des Projekts insbesondere in Bezug auf die Bearbeitungstiefe geäusserten Vorbehalte zu beseitigen.

Im Juli 2015 initiierte das ENSI eigene Berechnungen, wobei im Rechenmodell des PRP die nicht akzeptierte Modellierung zum Teilprojekt 1 sicherheitsgerichtet durch jene des Schweizerischen Erdbebendienstes (SED) ersetzt wurde. Die für die Standorte der Schweizer Kernkraftwerke derart erzielten Erdbebengefährdungsergebnisse wurden unter der Bezeichnung Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 per Verfügung vom 26. Mai 2016 /20/ in Kraft gesetzt.

#### Angaben des Betreibers

Die Erdbebengefährdung wird gemäss der Verfügung des ENSI vom 26. Mai 2016 /20/ mit den Uniform Hazard Spectra (UHS) der Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 /18/ angesetzt. Massgebend für die Aktualisierung der Erdbebennachweise sind die Mean-Werte der UHS auf Fundamentniveau des Reaktorgebäudes (-14 m) mit einer Überschreitungshäufigkeit von  $10^{-4}$  pro Jahr und 5 % Dämpfung (siehe Abbildung 1).



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg

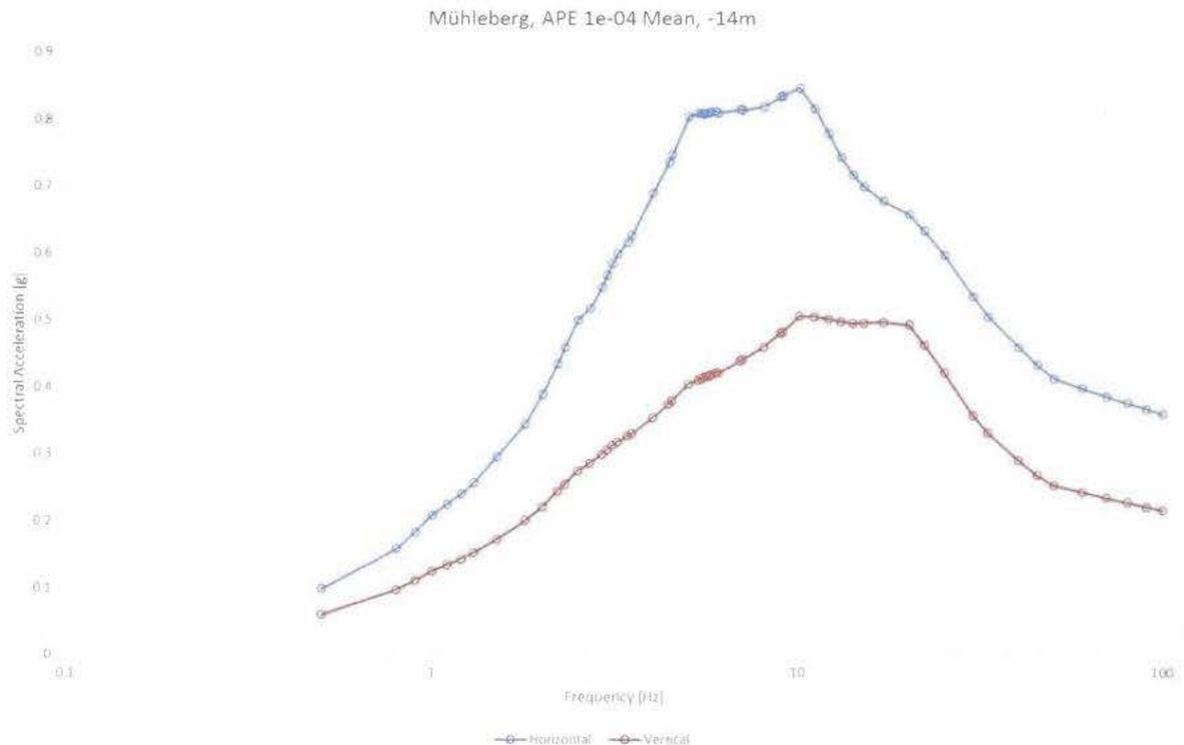


Abbildung 1: Horizontales und vertikales UHS auf Fundamentniveau des Reaktorgebäudes (-14 m), Mean-Werte, Überschreitungshäufigkeit  $10^{-4}$  pro Jahr und 5 % Dämpfung.

Aus dem Vergleich (Abbildung 2) der Erdbebengefährdungsannahmen PRP und ENSI-2015 für die Horizontalkomponente auf dem Fundamentniveau des Reaktorgebäudes (-14 m) resultiert, dass die Erdbebengefährdungsannahmen nach ENSI-2015 im Mittel um 12,6 % über den Gefährdungsannahmen von PRP liegen.



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg

Mühleberg, APE 1e-04, Reactor Bldg Foundation (-14m), Horizontal

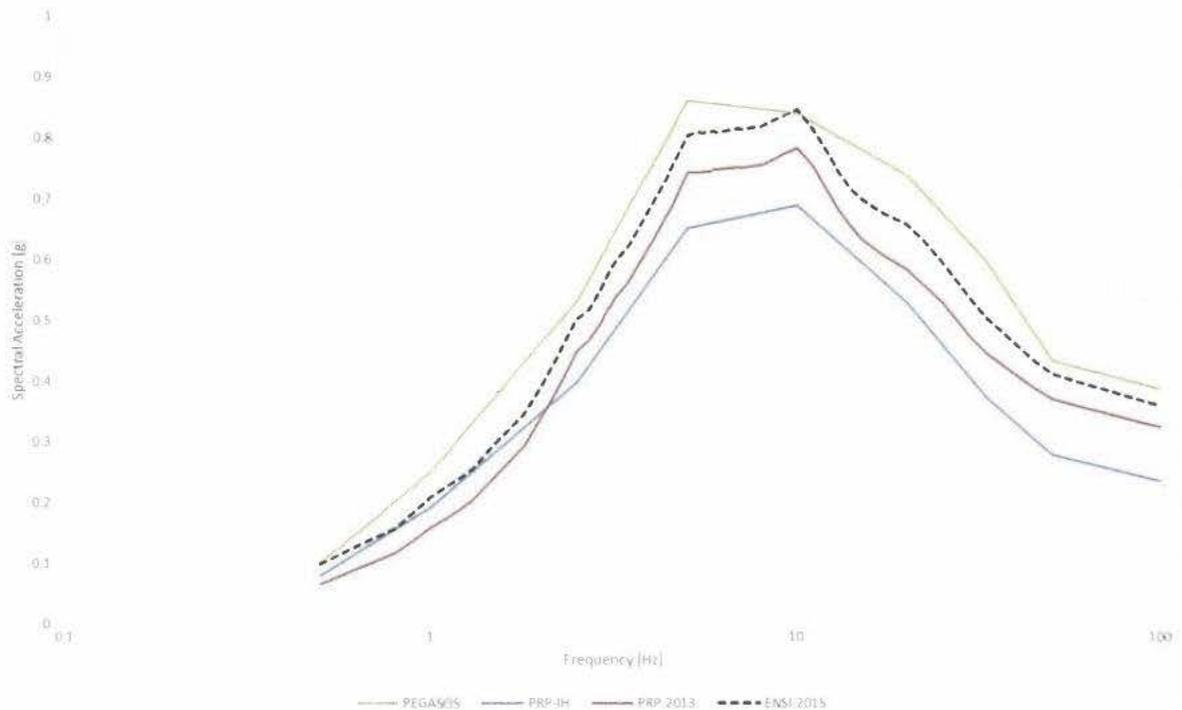


Abbildung 2: Horizontale UHS auf Fundamentniveau des Reaktorgebäudes (-14 m), Mean-Werte, Überschreitungshäufigkeit  $10^{-4}$  pro Jahr und 5 % Dämpfung für verschiedene Erdbebengefährdungsannahmen.

### Beurteilung des ENSI

Die von der BKW angegebenen UHS /3/ sind korrekt. Die UHS für die Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 sind korrekt aus dem gemäss der Verfügung vom 26. Mai 2016 vorgegebenen Bericht /18/ übernommen worden. Der für den Erdbebennachweis massgebende PGA-Wert der Horizontalkomponente auf Fundamentniveau (-14 m) des Reaktorgebäudes beträgt 0,36 g.

## 2.2 Gefährdung Erdbeben in Kombination mit Hochwasser

### Angaben des Betreibers

Die BKW hat die Beherrschung der Kombination von Erdbeben und dem durch das Erdbeben ausgelösten Versagen der im Einflussbereich des Kernkraftwerks Mühleberg liegenden Stauanlagen durch den Standsicherheitsnachweis der Stauanlagen unter den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 nachgewiesen. Die Standsicherheitsnachweise der Stauanlagen Mühleberg, Rossens und Schiffenen werden in den Berichten /25/ bis /27/ geführt.

### Beurteilung des ENSI

Die Beherrschung der Kombination von Erdbeben und dem durch das Erdbeben ausgelösten Versagen der Stauanlagen im Einflussbereich des Kernkraftwerks kann gemäss der Verfügung vom 1. April 2011 /22/ auf zwei verschiedene Arten geführt werden. Bei der Variante 1 ist für alle Stauanlagen, welche die Kernkraftwerke potenziell gefährden können, deterministisch nachzuweisen, dass beim 10'000-



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:

jährlichen Erdbeben eine unkontrollierte Wasserabgabe ausgeschlossen werden kann. Bei der Variante 2, bei der beim 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.

Die BKW führt den Nachweis gemäss der Variante 1. Der Umfang der betrachteten Stauanlagen ist aus der Sicht des ENSI korrekt. Die Stauanlage Mühleberg befindet sich 1,5 km oberwasserseitig des KKM an der Aare und könnte bei einem Versagen zu Überflutungen auf dem Areal des KKM führen. Zwei Stauanlagen an der Saane haben Entfernungen zum KKM von ca. 11 km (Stauanlage Schiffenen) bzw. von ca. 30 km (Stauanlage Rossens). Deren Versagen könnte an dem 3 km unterwasserseitig liegenden Zusammenfluss der Saane mit der Aare zu einem Rückstau führen und das Areal des KKM überfluten.

Mit den drei Stauanlagen Mühleberg, Rossens und Schiffenen werden somit sämtliche in Anlagennähe befindlichen Stauanlagen, welche das KKM potenziell gefährden können, berücksichtigt. Da die BKW die Erdbebensicherheit der Stauanlagen Mühleberg, Rossens und Schiffenen unter den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 deterministisch nachweist, kann eine durch Erdbeben ausgelöste, unkontrollierte Wasserabgabe ausgeschlossen werden. Es sind somit keine erdbebeninduzierten Überflutungen für die Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 zu unterstellen.

Die Beurteilungen des ENSI und der Sektion Aufsicht Talsperren vom BFE zum Erdbebennachweis der Stauanlagen Mühleberg, Rossens und Schiffenen befinden sich im Kapitel 6 dieser Stellungnahme.

### **3 Methodik zur Überprüfung der Erdbebenauslegung**

#### **3.1 Methodische Vorgaben**

In der Forderung 2.B) aus der Verfügung /20/ wird verlangt, dass die Nachweise für Erdbeben (Abschnitt 3.1 aus der Verfügung vom 1. April 2011 /22/) und für die Kombination von Erdbeben und Hochwasser (Abschnitt 3.3 aus der Verfügung vom 1. April 2011 /22/) zu aktualisieren sind. Im Abschnitt 3.1 der Verfügung /22/ wurde für den Nachweis der Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens unter anderem festgelegt, dass:

- nur Strukturen, Systeme und Komponenten (SSK) mit nachgewiesener, ausreichender Festigkeit kreditiert werden dürfen;
- ein Ausfall der externen Stromversorgung zu unterstellen ist;
- die Anlage ohne Zuhilfenahme externer Notfallschutzmittel in einen sicheren Zustand überführt und für mindestens 3 Tage im sicheren Zustand gehalten werden muss; und
- die Berechnung der resultierenden Dosis aufgrund der während der Dauer des Analysezeitraums emittierten radioaktiven Stoffe nach Vorgaben der Richtlinie ENSI-G14 zu erfolgen hat.

Der Nachweis für die Kombination Erdbeben und Hochwasser kann gemäss Abschnitt 3.3 der Verfügung /22/ und den im Kapitel 2.2 dieser Stellungnahme beschriebenen zwei Varianten geführt werden.

- Die in der Forderung 2.B) aus der Verfügung /20/ verlangte Aktualisierung der Fukushima-Nachweise bezieht sich hauptsächlich auf die Neuberechnung der Fragilities der SSK auf Grundlage der mit /20/ in Kraft gesetzten Gefährdungsannahmen ENSI-2015. Aufbauend auf



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg

den neuen Fragilities sollen die Nachweise der ausreichenden seismischen Robustheit der Abfahrpfade und Einhaltung des radiologischen Dosiswerts von 100 mSv geführt werden.

Nicht gefordert waren insbesondere:

- Nachweise für ein 1'000-jährliches Erdbeben;
- Anwendung der Aktennotiz ENSI-AN-8567 /59/ inkl. numerischer Analyse mit einem gekoppelten Gesamtmodell des Reaktorgebäudes und der druckführenden Umschliessung des Reaktorkühlsystems oder normbasierte deterministische Nachweise für eine Auswahl von Komponenten.

In der Verfügung vom 26. Mai 2016 /20/ ist festgelegt, dass diese Aspekte von der BKW im Rahmen der deterministischen Störfallanalyse gemäss Forderung 2.D) aus der Verfügung /20/ zu berücksichtigen sind.

In seiner Verfügung vom 1. April 2011 /22/ akzeptiert das ENSI, dass der Nachweis der Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens mit Hilfe der Erdbebenfestigkeitsnachweise (Fragilities) geführt werden kann.

Die Fragility beschreibt die seismisch bedingte Versagenswahrscheinlichkeit einer SSK in Abhängigkeit der Bodenbeschleunigung, wobei als Bezugsparameter die Spitzenbodenbeschleunigung PGA (Peak Ground Acceleration) dient. Die BKW hat für die vorliegenden Analysen den PGA-Wert am Fundamentniveau des Reaktorgebäudes gewählt.

Definiert ist die Fragility in ihrer gebräuchlichen Form durch die drei Parameter  $A_m$ ,  $\beta_U$ ,  $\beta_R$ . Die Mediantragfähigkeit  $A_m$  entspricht dem 50 %-Fraktile der (z. B. in Funktion der PGA ausgedrückten) Belastbarkeit der SSK. Die Unsicherheit von  $A_m$  wird durch die beiden logarithmischen Standardabweichungen repräsentiert. Diese berücksichtigen sowohl die Unsicherheit der Modellierung (epistemische Unsicherheit  $\beta_U$ ) als auch die zufällige Variation der betrachteten Grössen (aleatorische Unsicherheit  $\beta_R$ ).

Aus der Fragility lässt sich der HCLPF-Tragfähigkeitswert (High Confidence of Low Probability of Failure) ableiten. Entspricht der HCLPF-Wert dem geforderten PGA-Wert beträgt die Versagenswahrscheinlichkeit der SSK 1 %. Der HCLPF-Tragfähigkeitswert berechnet sich wie folgt:

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

Die ermittelten HCLPF-Werte beziehen sich auf die PGA auf Kote -14 m (Fundamentniveau Reaktorgebäude). Der nach Forderung 2.B) aus /20/ zu führende Erdbebennachweis für die SSK gilt als erbracht, wenn die HCLPF-Werte mindestens die PGA von 0,36 g erreichen.

### 3.2 Prüfverfahren des ENSI

Das ENSI hat geprüft, ob die Aktualisierung der Erdbebennachweise der SSK mit der aktuellen Erdbebengefährdung ENSI-2015 entsprechend dem vom ENSI mit Brief vom 27. April 2017 /21/ genehmigten Konzept /19/ durchgeführt wurde. Im Rahmen der Detailprüfung hat das ENSI stichprobenartige Prüfungen von ausgewählten Fragility-Analysen durchgeführt. Das vom ENSI akzeptierte Vorgehen zur Bestimmung der Fragilities ist in der Richtlinie ENSI-A05 /53/ dargelegt. Zusätzlich diente dem ENSI insbesondere der EPRI-Bericht /60/ aus dem Jahr 2018 zur Orientierung hinsichtlich des aktuellen Stands der Technik. Es gilt jedoch zu beachten, dass dieser Bericht erst wenige Monate vor der Einreichung des hier geprüften Nachweises erschien. Die Beurteilung der Erdbebenfestigkeiten wird im Kapitel 4.3 dieser Stellungnahme geführt.



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks  
Mühleberg

Die Bauexperten der Firma Basler & Hofmann haben zur Kontrolle der Etagenantwortspektren für das Reaktorgebäude und SUSAN-Gebäude unabhängige Gebäudeanalysen durchgeführt. Der detaillierte Prüfablauf und die Resultate sind im Kapitel 4.2 dieser Stellungnahme zu finden.

### **3.3 Nachweisführung durch den Betreiber**

Wie im Konzept /19/ vorgesehen, sind die Erdbebennachweise der SSK für den Leistungsbetrieb und die Phase 1 der Stilllegung anhand von Fragility-Analysen mit Bestimmung der HCLPF-Werte durchgeführt worden. Die HCLPF-Werte sind für alle SSK, welche im Modell der Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA-Modell) für den Leistungsbetrieb und im PSA-Modell für die Stilllegungsphase 1 berücksichtigt werden bzw. für die deterministische Störfallbeherrschung erforderlich sind, bestimmt worden.

Im Bericht /11/ wird das Vorgehen für die im Rahmen der Aktualisierung der Erdbebennachweise neu zu bestimmenden Fragilities beschrieben. Das Vorgehen entspricht den Empfehlungen vom Electric Power Research Institute (EPRI). Für die Berechnungen der neu zu bestimmenden Fragilities werden als Grundlage die mit der PRP-Erdbebengefährdung ermittelten Etagenantwortspektren gemäss dem Bericht /12/ verwendet.

Im Rahmen der PSA wurden bereits umfangreiche Fragilityanalysen, basierend auf den Erdbebengefährdungen PEGASOS und PRP, durchgeführt. Aufgrund der ähnlichen UHS-Spektralformen der Erdbebengefährdungen ENSI-2015, PEGASOS und PRP können die im Rahmen der PSA ermittelten Fragilities skaliert werden, und zwar aufgrund der Verhältnisse der Spektralbeschleunigungen von ENSI-2015 zu PEGASOS bzw. von ENSI-2015 zu PRP. Die Methode ist ähnlich zu dem in /13/ verwendeten Skalierungsansatz.

Die Ergebnisse der Fragility-Analysen mit der Erdbebengefährdung ENSI-2015 werden im Bericht /14/ für den Leistungsbetrieb und im Bericht /15/ für die Stilllegungsphase 1 zusammengefasst. In den Tabellen 1 bis 12 von /3/ werden die berechneten Sicherheitsmargen für die im Leistungsbetrieb relevanten SSK angegeben. In der Tabelle 13 von /3/ sind Sicherheitsmargen für die ergänzenden SSK der Stilllegungsphase 1 enthalten. Die detaillierten Berechnungen sind in den Berichten /4/ bis /10/ aufgeführt.

## **4 Erdbebennachweis für die Kernkühlung**

### **4.1 Erforderliche Bauwerke und Systeme**

#### Angaben des Betreibers

In der Aktennotiz /3/ listet die BKW die für die Anlagensicherheit relevanten Systeme und Bauwerke auf. Für den Leistungsbetrieb wird zur Festlegung des Umfangs der SSK auf die Aktennotiz /23/ von 2012 verwiesen. Die SSK der Stilllegungsphase 1 sind gemäss der Aktennotiz in der Systemliste SP1 /24/ bestimmt worden. Aufgrund der Forderung 1 aus der Stellungnahme vom 26. April 2019 /46/ hat die BKW in der Aktennotiz /43/ den ergänzenden Nachweis der Primärkreislaufisolation mit den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 geführt. In den eingereichten Unterlagen sind auch Komponenten der Drywell-Isolation aufgeführt, bei denen der Nachweis nicht geführt wurde, die aber keine aktivitätsführenden Leitungen betrafen. Nach Wertung der BKW war hierfür auch kein Nachweis notwendig.



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg

### Beurteilung des ENSI

Hinsichtlich der Abfahrpfade und des Umfangs der betrachteten SSK im Leistungsbetrieb bei Erdbeben bezieht sich die BKW auf die Aktennotiz /23/ von 2012, die vom ENSI im Rahmen der Stellungnahme vom 9. Juli 2012 /28/ bewertet worden ist. Das ENSI hat den eingereichten Umfang gemäss /3/ anhand der Aktennotiz /23/ von 2012 überprüft und stellt fest, dass der Umfang unverändert ist. In den Tabellen 1 bis 11 der Aktennotiz /3/ der BKW werden alle Gebäude und Einrichtungen genannt, die im Zusammenspiel mit dem SUSAN-Notstandssystem eine sichere Abschaltung des Reaktors erlauben, die Isolation des Reaktordruckbehälters gewährleisten und die Nachwärmeabfuhr aus dem Torus sowie mit dem Hoch- und Niederdrucksystem eine ausreichende Überdeckung des Kerns sicherstellen.

In der nachgereichten Aktennotiz /43/ zur Forderung 1 weist die BKW die seismische Robustheit der Primärkreislaufisolation nach. Hinsichtlich der Drywell-Isolation verzichtet die BKW auf einen vertieften Nachweis. Der Nachweis erfolgt analog zur Aktennotiz von 2012 /37/. Das ENSI stellt fest, dass der Umfang der zu berücksichtigenden Drywell- und Primärkreislauf-Isolationsarmaturen vollständig abgedeckt ist. Das ENSI kann der BKW folgen, dass die Komponenten der Drywellisolation für die kein vertiefter Nachweis geführt wurde, für die Nachwärmeabfuhr nicht relevant sind. Ferner stimmt das ENSI der BKW zu, dass die Komponenten der Drywellisolation mit ungenügender Erdbebensicherheit für die Nachwärmeabfuhr und hinsichtlich des Schadenbildes nicht relevant sind. Hinsichtlich des Einschlusses radioaktiver Stoffe beurteilt die BKW für wenige Isolationsarmaturen die Marge als nicht ausreichend, zeigt aber, dass der Einschluss radioaktiver Stoffe durch die Integrität des Rohrleitungssystems gegeben ist. Darüber hinaus weist die BKW für die Armaturen der Reaktorgebäudeisolation ausreichende Sicherheitsmargen aus. Das ENSI kommt in seiner Beurteilung zu dem Ergebnis, dass allein durch die Funktion der Reaktorgebäudeisolation keine nennenswerten Freisetzungen, die den Erdbebennachweis in Frage stellen könnten, möglich sind.

Der Betrieb während den Jahresrevisionen (Brennelementwechsel) ist im Wesentlichen durch den Leistungsbetrieb mit abgedeckt, wobei die Kühlung der Brennelemente im Reaktordruckbehälter und im Brennelement-Lagerbecken (BEB) (Damm Balken entfernt) durch eine besondere erdbebensichere Fahrweise mittels SUSAN-Notstandssystem möglich ist. Im Rahmen der Änderung der Technischen Spezifikation ETNB /51/ wurde diese Fahrweise vom ENSI bewertet. Mit der Nachrüstung des BEB-Notfallkühlsystems im Jahre 2017 wurde eine zusätzliche Möglichkeit geschaffen, mittels SUSAN-Systemen und dem BEB-Notfallkühlsystem (Einstellkühler im BEB) Wärme aus dem Brennelement-Lagerbecken (BEB) erdbebensicher abzuführen. Für das BEB-Notfallkühlsystem wurde bereits in der Auslegung eine erhöhte Erdbebengefährdung berücksichtigt.

Die Analysen der BKW zeigen, dass die Anlage im Leistungsbetrieb unter Berücksichtigung von konservativen Randbedingungen die Schutzziele «Kontrolle der Reaktivität» und «Kühlung der Brennelemente» mit den einzelfehlersicheren und erdbebenfesten Notstandssystemen gewährleistet hat. Die Sicherheitssysteme im KKM sind auf Dauerbetrieb ausgelegt und hätten in den ersten 72 Stunden nach dem 10'000-jährlichen Erdbeben den sicheren Anlagenzustand halten können.

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

### Angaben des Betreibers

Die Gebäudeanalysen werden für das Reaktorgebäude (RG) /44/ und das SUSAN-Gebäude (SG) /45/ mit dreidimensionalen Finite-Element-Modellen aus Balken-, Schalen- und Volumenelementen durchgeführt. Für die Modellierung der Gebäude wird das FE-Programm ANSYS verwendet. Die Berechnung der Boden-Bauwerks-Interaktion wird mit dem Programm ACS SASSI durchgeführt. Um Steifigkeit und



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

keine  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks  
Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:

Dämpfung des Baugrunds wirklichkeitsnah zu erfassen, wird das Gebäudemodell mit dem Baugrundmodell gekoppelt. Die Streubreite der Baugrundeigenschaften wird durch Berechnungen mit unteren, mittleren und oberen Baugrundsteifigkeiten erfasst. Die Bodenkennwerte werden der geotechnischen Analyse der Firma AMEC /30/ entnommen. Die Erdbebenzeitverläufe werden dem technischen Bericht /31/ entnommen. Die Berechnung der Etagenantwortspektren erfolgt deterministisch.

### Beurteilung des ENSI

Die Methoden für die Gebäudeanalysen in /44/ und /45/ entsprechen den Vorgaben aus dem Konzept /19/. Die Erdbebenzeitverläufe für den Standort KKM /31/ hat das ENSI vor Einreichung der Gebäudeanalysen geprüft und dazu in den Briefen vom 12. Juli 2017 /33/ und 9. November 2017 /34/ Stellungnahmen abgegeben. Das ENSI hat bestätigt, dass die Zeitverläufe kompatibel zu den UHS der Erdbebengefährdung ENSI-2015 /18/ sind und ohne Vorbehalte für die dynamischen Bauwerksanalysen angewandt werden können.

Bei der Prüfung der Gebäudeanalysen vom Reaktorgebäude und SUSAN-Gebäude ist das ENSI stufenweise vorgegangen. In einem ersten Schritt wurden die Berichte /16/ und /17/ geprüft und die darin ermittelten Etagenantwortspektren mit den bisher angewandten Etagenantwortspektren verglichen. Aus diesen Prüfschritten haben sich dann in Form von Fragen zusammengestellte Prüfkommentare ergeben, welche im Fachgespräch vom 20. August 2019 mit der BKW diskutiert wurden. Aufgrund der ergänzenden Angaben der BKW Energie AG im Fachgespräch vom 20. August 2019 konnten die Bauexperten der Firma Basler & Hofmann die unabhängigen Berechnungen für das Reaktorgebäude und SUSAN-Gebäude fertigstellen. In den revidierten Berichten /44/ und /45/ sind die am Fachgespräch vom 20. August 2019 besprochenen Kommentare eingeflossen und korrekt umgesetzt worden. Die unabhängigen Berechnungen durch den Bauexperten wurden mit dem Boden-Bauwerks-Interaktionsprogramm SASSI2010 durchgeführt.

Der in der ersten Prüfstufe durchgeführte Vergleich der neuen, mit den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 ermittelten Etagenantwortspektren hat ergeben, dass diese in erklärbarem Ausmass von den Spektren der alten Erdbebengefährdungen abweichen. Aufgrund dieses positiven Spektrenvergleichs konnten die unabhängigen Berechnungen stichprobenartig und mit zweckmässigen Vereinfachungen durchgeführt werden. Die Vereinfachungen sind auch durch den Umstand gerechtfertigt, dass die von der BKW angewandten Strukturmodelle auf den bereits geprüften Modellen aus den Jahren 2012 bis 2014 basieren. Mit den unabhängigen Berechnungen konnten die von der BKW Energie AG in /44/ und /45/ berechneten Etagenantwortspektren bestätigt werden. Die Abweichungen zwischen den Etagenantwortspektren von Basler & Hofmann und der BKW sind durch die unterschiedlichen Berechnungsmethoden gut zu begründen. In der Stellungnahme des ENSI vom 28. Januar 2020 /49/ sind die mit den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 berechneten Etagenantwortspektren für das Reaktorgebäude und das SUSAN-Gebäude vorbehaltlos genehmigt worden.

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

### **4.3.1 Bauwerke**

#### Angaben des Betreibers

Die Resultate der Fragility-Analysen für die Bauwerke werden in der Tabelle 1 der Aktennotiz /3/ dargestellt. Sie sind auf der Basis von Strukturanalysen und dem Skalierungsverfahren bestimmt worden. Bei



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks  
Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:

sämtlichen Bauwerken ist der HCLPF-Wert grösser als der erforderliche PGA-Wert von 0,36 g. Die kleinste Sicherheitsmarge hat der Drywell mit einem HCLPF von 0,38 g.

#### Beurteilung des ENSI

Das ENSI beurteilt die ausgewiesenen Erdbebenfestigkeiten als plausibel. Es hat die Aktualisierung der Fragility-Werte der Drywellstruktur wegen der geringsten Sicherheitsmarge im Detail geprüft.

Nach den Berechnungen der BKW /14/ resultiert der massgebende Versagensmechanismus des Drywells aus dem Versagen der Decke auf Niveau +12,6 m infolge der Kippbewegung (rocking) der Innenstruktur. Im vorliegenden Fall führte die BKW eine neue nichtlineare Strukturanalyse /8/ mit einem verfeinerten Deckenmodell durch. Das ENSI beurteilt diese Modellierung als zweckmässig und die resultierenden Fragility-Werte als plausibel.

Das ENSI stellt fest, dass die Bauwerke unter den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 eine ausreichende Standsicherheit haben.

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

##### Angaben des Betreibers

Die Resultate der Fragility-Analysen für die im Leistungsbetrieb relevanten mechanischen und elektrischen Komponenten sind in den Tabellen 2 bis 11 der Aktennotiz /3/ dargestellt. Bei sämtlichen Komponenten ist der HCLPF-Wert grösser als der erforderliche PGA-Wert von 0,36 g. Die Sicherheitsmarge liegt im Minimum bei 1,1. Bei den meisten Komponenten ist sie grösser als 1,3. Weil die HCLPF-Werte aller sicherheitsrelevanten Komponenten grösser als die erforderlichen 0,36 g sind, ist der Nachweis der Erdbebensicherheit unter Berücksichtigung der Erdbebengefährdungsannahme ENSI-2015 erbracht.

Im Rahmen der Umsetzung der Richtlinie ENSI-A01 wurden in der radiologischen Sicherheitsanalyse (RSA) /29/ von 2015 die radiologischen Folgen des 10'000-jährlichen Erdbebens neu analysiert und berechnet sowie im Kapitel 14 des Sicherheitsberichts 2015 /38/ bewertet. Wie in der Aktennotiz /3/ dargestellt, gewährleisten die neu bestimmten Erdbebenfestigkeiten der sicherheitsrelevanten SSK auch unter Berücksichtigung der Erdbebengefährdungsannahme ENSI-2015 den 2012 in Kapitel 3 von /23/ aufgeführten Nachweis, dass die Anlage in einen sicheren Zustand überführt werden kann. Daraus ergibt sich für den Leistungsbetrieb, dass der für die radiologischen Folgen des Erdbebens unterstellte gleichzeitige Bruch einer Frischdampfleitung (FD-Leitungsbruchs) wie auch einer Speisewasserleitung (SpW-Leitungsbruch) ausserhalb des Reaktorgebäudes auch unter den neuen Gefährdungsannahmen ENSI-2015 abdeckend bleibt.

##### Beurteilung des ENSI

Im aktualisierten Nachweis sind die Fragilityanalysen der mechanischen und elektrischen Komponenten im Vergleich zum ursprünglichen Nachweis bedeutend weiterentwickelt. Generell gelten die in den Fragilityanalysen der aktualisierten Nachweise verwendeten Ansätze als Stand der Technik. Im Einzelnen zeichnen sich die nun kreditierten Fragilityanalysen durch folgende spezifische Aspekte aus:



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

keine  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks  
Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:

- Neue Fragilityanalysen wurden erstellt und bestehende in grösserem Umfang überarbeitet.
- Neue Anlagenbegehungen wurden durchgeführt und deren Ergebnisse in den Fragilityanalysen mitberücksichtigt.
- Das vom ENSI bei früheren Prüfungen der PSA des KKM identifizierte Verbesserungspotenzial der Fragilityanalysen wurde vom KKM zufriedenstellend bearbeitet.
- Basierend auf früheren Erdbebengefährdungsergebnissen berechnete Fragilitywerte wurden unter Berücksichtigung der Spektralbeschleunigungsverhältnisse sachgerecht auf das  $10^{-4}/a$ -UHS der Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 skaliert.
- Die Erdbebengefährdungsannahmen der Fragilityanalysen des aktualisierten Nachweises entsprechen der Festlegung des ENSI.

Basierend auf der stichprobenartigen Prüfung gelangt das ENSI zum Schluss, dass die Fragility- und HCLPF-Werte der im aktualisierten Nachweis kreditierten mechanischen und elektrischen Komponenten insgesamt in plausiblen Bereichen liegen. Gegenüber den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 verfügen diese Komponenten über eine ausreichende Erdbebenfestigkeit. Daher ist auch unter Berücksichtigung der Erdbebengefährdungsannahme ENSI-2015 gewährleistet, dass die Anlage in einen sicheren Zustand überführt werden kann und das von der BKW unterstellte Schadensbild abdeckend bleibt.

#### 4.4 Radiologische Auswirkungen

##### Angaben des Betreibers

Da die Anlage in einen sicheren Zustand überführt werden kann, ergibt sich für den Leistungsbetrieb, dass der für die radiologischen Folgen des Erdbebens unterstellte gleichzeitige Bruch einer Frischdampfleitung wie auch einer Speisewasserleitung ausserhalb des Reaktor Gebäudes abdeckend bleibt. Wie der radiologischen Sicherheitsanalyse (RSA) /29/ zu entnehmen ist, beträgt die maximale Folgedosis für die meistbetroffene Bevölkerungsgruppe 0,14 mSv und liegt unter dem für die Störfallkategorie 3 geltenden Dosiswert von 100 mSv.

Aufgrund der Forderung 4 aus der Stellungnahme vom 26. April 2019 /46/ hat die BKW mit Brief vom 25. Juli 2019 /42/ ergänzende Angaben geliefert. Unter Berücksichtigung aller in /23/ als relevant identifizierten Beiträge und bei Verwendung der Resultate der aktuellen radiologischen Sicherheitsanalyse vom 15. Dezember 2015 /29/ ergibt sich für die maximale Folgedosis aus dem Erdbeben anstelle des in /3/ ausgewiesenen Wertes von 0,14 mSv neu ein Wert von 0,16 mSv. Das Kapitel 14.4.9.3 wurde im KKM Sicherheitsbericht 2015 /38/ entsprechend angepasst. Werden alle Beiträge zur Folgedosis aus der ENSI Aktennotiz 11/2379 /39/ berücksichtigt, so ergibt sich eine maximale Folgedosis von 3,3 mSv.

##### Beurteilung des ENSI

Im Sicherheitsbericht 2015 /38/ wird in Kap. 14.4.9.3 ausgeführt, dass sich die Folgedosis des Störfalles Erdbeben aus den beiden Beiträgen des FD-Leitungsbruchs und des SpW-Leitungsbruchs zusammensetzt. Die Kombination dieser beiden Fälle wurde in Kap. 4.6 der RSA /29/ analysiert. Das ENSI hatte im Rahmen der Abarbeitung der PSÜ-Forderung 6.1-1 in seiner Stellungnahme /39/ diese Kombination nicht akzeptiert und die Fälle separat analysiert. Die beiden Störfälle halten separat den Dosiswert der für die beiden Störfälle relevanten Störfallkategorie 2 ein, in Kombination liegt die Folgedosis leicht darüber, hält aber den Dosiswert der Störfallkategorie 3 ein.



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

keine  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks  
Mühleberg

Im Gegensatz zum Nachweis in /23/ werden von der BKW in der Aktennotiz /3/ mögliche radiologische Folgen aus dem Integritätsverlust weiterer Komponenten nicht berücksichtigt, resp. es wird nicht erläutert, inwiefern diese durch die ausgewiesene Folgedosis abgedeckt sind. In den mit Brief vom 25. Juli 2019 /42/ nachgereichten Ergänzungen, wird der Integritätsverlust weiterer Komponenten korrekt berücksichtigt. Der Dosishöchstwert für die Störfallkategorie 3 von 100 mSv wird deutlich eingehalten.

## 5 Erdbebennachweis für die Brennelementbeckenkühlung

### 5.1 Erforderliche Bauwerke und Systeme

#### Angaben des Betreibers

Die Kühlung der Brennelemente im Brennelement-Lagerbecken basiert auf der Integrität der Strukturen und anschliessenden Leitungen sowie auf der Funktion der Brennelementbeckenkühlung. Für den Erdbebennachweis der Brennelementbeckenkühlung hat die BKW die relevanten SSK gemäss den Tabellen 12 und 13 in /3/ untersucht. Dabei handelt es sich um das Reaktorgebäude, den Drywell, den Abluftkamin einschliesslich Interaktion zwischen Reaktorgebäude und SUSAN-Gebäude, das Brennelementbecken, die Damplatte, die Entleerungsleitungen bei geflutetem Zustand der Reaktorgrube und des Einbautenbeckens, die Komponenten des BEB-Notfallkühlsystems (System119) sowie die SUSAN-Komponenten, die für die Kühlwasserversorgung des BEB-Notfallkühlsystems notwendig sind.

Die Komponenten des BEB-Notfallkühlsystems werden auch in der Stilllegungsphase 1 für die erdbebensichere Brennelementbeckenkühlung (Arbek-S) genutzt.

#### Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat den eingereichten Umfang gemäss /3/ anhand der Aktennotiz /52/ von 2012 überprüft und stellt fest, dass der Umfang abgedeckt ist und um das BEB-Notfallkühlsystem erweitert wurde. Das ENSI stellt fest, dass in den Tabellen 12 bis 13 der Aktennotiz /3/ der BKW alle Gebäude und Einrichtungen genannt werden, die die Integrität der Becken sowie die Kühlung der Brennelemente im BEB-Lagerbecken im Zusammenspiel mit dem SUSAN-Notstandssystem gewährleisten. Für das BEB-Notfallkühlsystem wurde eine Kühlkapazität von etwa 1,2 MW bei der Inbetriebnahme nachgewiesen, die ausreichend ist, um am Beginn des Zyklus die zu unterstellende Nachzerfallsleistung bei geschlossenem Dammbalken von 0,5 MW /52/ sicher abzuführen.

Für die Stilllegungsphase 1 wurde während der Etablierung des technischen Nachbetriebes im Jahre 2020 das BEB-Notfallkühlsystem zu einem vollwertigen Sicherheitssystem (autarkes BEB-Kühlsystem ARBEK-S) umgebaut, wobei für die neuen Systeme und Komponenten die Beherrschung einer erhöhten Erdbebengefährdung eine Auslegungsanforderung war. Die Funktion des BEB-Notfallkühlsystems bleibt nach dem Umbau erhalten. ARBEK-S basiert auf den Systemen des SUSAN, deren Erdbebenfestigkeit für den Leistungsbetrieb nachgewiesen wurden. Beim Umbau wurden die erhöhten Erdbebenanforderungen berücksichtigt. Damit sind auch alle Systeme, Komponenten und Strukturen im Nachweis enthalten, die für die Beherrschung des Erdbebens in der Stilllegungsphase1 notwendig sind.



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:



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

### **5.2.1 Bauwerke**

#### Angaben des Betreibers

Die Erdbebenfestigkeiten für die erforderlichen Bauwerke sind in der Tabelle 12 der Aktennotiz /3/ dargestellt. Sie sind auf der Basis von Strukturanalysen und dem Skalierungsverfahren bestimmt worden. Der geforderte HCLPF-Wert von 0,36 g wird von allen Bauwerken übertroffen. Die geringste Marge besteht beim Drywell mit einem HCLPF von 0,38 g.

#### Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat die Erdbebenfestigkeiten mit unabhängigen Berechnungen stichprobenartig geprüft und stellt fest, dass die Berechnungen korrekt sind. Der Nachweis der Standsicherheit der Bauwerke unter den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 ist damit erbracht.

### **5.2.2 Mechanische und elektrische Ausrüstungen**

#### Angaben des Betreibers

Die Erdbebenfestigkeitsnachweise der notwendigen SSK werden in den Tabellen 12 und 13 der Aktennotiz /3/ aufgeführt. Der geforderte PGA von 0,36 g wird von den SSK übertroffen. Die geringste Marge besteht bei den Entleerungsleitungen im gefluteten Zustand der Reaktorgrube und des Einbautenbeckens sowie beim Lagergestell für die Eintauchkühler des BEB-Notfallkühlsystems mit einem HCLPF von 0,38 g. Damit wird mindestens ein Sicherheitsfaktor von 1,1 gegen die Erdbebengefährdung ausgewiesen.

#### Beurteilung des ENSI

Die Feststellungen des ENSI in Kapitel 4.3.2 der vorliegenden Stellungnahme gelten auch für die aktualisierten Fragility- und HCLPF-Werte der relevanten Komponenten der BEB-Kühlung.

Nach Beurteilung des ENSI ist mit den ausgewiesenen Sicherheitsfaktoren für die SSK zur Gewährleistung der Kühlung der Brennelemente eine ausreichende Marge nachgewiesen. Der Nachweis der Brennelementbeckenkühlung wird mit den SSK für das BEB-Notkühlsystem der Aktennotiz /23/ geführt und ist korrekt. Das alternative BEB-Kühlsystem Arbek-S ist unter Berücksichtigung erhöhter Erdbebengefährdungsannahmen ausgelegt und vom ENSI freigegeben worden. Die Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 sind damit abgedeckt.

## **5.3 Radiologische Auswirkungen**

#### Angaben des Betreibers

Der aktualisierte deterministische Erdbebennachweis /3/ enthält keine aktualisierte radiologische Analyse zur BEB-Kühlung. Im Jahr 2012 wurde ein abdeckender Fall mit komplett ausgelagertem Kern ca. sieben Tage nach Abschalten des Reaktors (Revision) analysiert. Für die Freisetzung wird unterstellt, dass das gesamte Iodinventar im verdampfenden Anteil des Beckenwassers freigesetzt wird und die übrigen Stoffe (Cobalt, Antimon, Cäsium) entsprechend dem Übertraganteil des verdampften Brennelementbeckeninventars. Die BKW folgerte in der Aktennotiz /54/, dass mit einer Folgedosis von etwa 0,002 mSv zu rechnen ist.



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:



### Beurteilung des ENSI

Das ENSI hatte die radiologische Analyse bereits 2012 bewertet und den Quellterm betreffend I-132 und der Verdampfungsrate kritisiert. Daran hat sich nichts geändert. Das ENSI stellt fest, dass die eigenen Abschätzungen zum Quellterm zwar etwas grösser als die der BKW ausfallen, die resultierenden Dosiswerte im Vergleich zu 100 mSv aber immer noch sehr klein sind.

## **6 Nachweis Kombination von Erdbeben und Hochwasser**

### Angaben des Betreibers

Eine Kombination von Erdbeben und Hochwasser ist für das Kernkraftwerk Mühleberg nicht zu unterstellen, da die Standsicherheit der Stauanlagen Mühleberg, Rossens und Schiffenen mit den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 in den Berichten /25/ bis /27/ nachgewiesen wird.

### Beurteilung des ENSI

Das Vorgehen entspricht den Angaben im Konzept /19/. Mit dem Nachweis der Standsicherheit der Stauanlagen ist kein durch ein Erdbeben induziertes Hochwasser zu unterstellen. Die Detailprüfung der Standsicherheitsnachweise /25/ bis /27/ für die Stauanlagen durch das ENSI und die Sektion Aufsicht Talsperren des BFE bestätigt, dass alle drei Stauanlagen den Einwirkungen der Erdbebengefährdung ENSI-2015 (10'000-jährliches Ereignis) widerstehen und im Hinblick auf die Sicherheit des Kernkraftwerks Mühleberg keine Bedenken bestehen.

Die Erdbebenzeitverläufe für den Standort KKM /31/ und die Stauanlagen Rossens und Schiffenen /32/ hat das ENSI vor Einreichung der Standsicherheitsnachweise geprüft und dazu in den Briefen vom 12. Juli 2017 /33/ und 9. November 2017 /34/ Stellungnahmen abgegeben. Das ENSI hat bestätigt, dass die Zeitverläufe kompatibel zu den UHS der Erdbebengefährdung ENSI-2015 /18/ sind und ohne Vorbehalte für Standsicherheitsnachweise der Stauanlagen angewandt werden können.

Die Sektion Aufsicht Talsperren hat die Berichte /25/ bis /27/ hinsichtlich der Anforderungen des BFE an Erdbebensicherheitsnachweise von Stauanlagen /55/ geprüft. In der Stellungnahme /56/ stellt das BFE fest, dass die Nachweise in den Berichten /25/ bis /27/ nachvollziehbar sind und weitestgehend den Anforderungen des BFE entsprechen. Zur Vervollständigung der Nachweise bedarf es gemäss der Richtlinie über die Erdbebensicherheit der Stauanlagen /55/ bei den Stauanlagen Rossens, Schiffenen und Mühleberg noch einzelner Ergänzungen. Die in /56/ im Detail beschriebenen Ergänzungen stellen die Erfüllung des Nachweises der Kombination von Erdbeben und Hochwasser nicht in Frage. Die Ergänzungen sind dem ENSI und dem BFE bis Ende April 2021 einzureichen (**Forderung 1**).



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

keine  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg

## 7 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

### 7.1 Zusammenfassung

#### Gegenstand und Grundlage der Beurteilung

Zur Erfüllung der Forderung 2.B) aus der Verfügung vom 26. Mai 2016 /20/ reichte die BKW dem ENSI mit Brief vom 29. November 2018 /1/ die Unterlagen /3/ bis /15/ ein. Mit Brief vom 19. Dezember 2018 /2/ reichte die BKW dem ENSI zur Erfüllung der Forderung 3 aus der Verfügung /20/ die Gebäudeanalysen mit der Ermittlung der Etagenantwortspektren für das Reaktorgebäude (RG) /16/ und das SUSAN-Gebäude (SG) /17/ ein. Die Standsicherheitsnachweise der Stauanlagen /25/ bis /27/ hat die BKW im Juli 2018 eingereicht.

Im aktualisierten deterministischen Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens /3/ hat die BKW dargelegt, dass der gemäss Art. 8 Abs. 4bis Bst. b der Kernenergieverordnung geltende Dosishöchstwert von 100 mSv mit grosser Reserve eingehalten wird. Eine Kombination von Erdbeben und Hochwasser ist für das Kernkraftwerk Mühleberg nicht zu unterstellen, da die Standsicherheit der Stauanlagen Mühleberg, Rossens und Schiffenen mit den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 in den Berichten /25/ bis /27/ nachgewiesen wird.

#### Prüfverfahren des ENSI

Das ENSI hat die Unterlagen /3/ bis /17/ einer Grobprüfung unterzogen. Hierbei überprüfte das ENSI insbesondere die Vollständigkeit der Unterlagen und die Einhaltung der Vorgaben aus dem Konzept /19/. Mit Brief vom 26. April 2019 /46/ hat das ENSI eine Stellungnahme zu den Unterlagen /3/ bis /17/ abgegeben. In dieser Stellungnahme hat das ENSI 4 Forderungen gestellt. Die Forderungen betrafen die Einreichung von zusätzlichen Unterlagen in digitaler Form und ergänzende Angaben zur Containment- und Primärkreisolation sowie zur radiologischen Sicherheitsanalyse. Mit den Briefen vom 27. August 2019 /47/ und 17. September 2019 /48/ hat das ENSI die Erfüllung aller 4 Forderungen bestätigt.

Durch die Erfüllung aller Forderungen hat das ENSI über alle Unterlagen verfügt, um die Detailprüfung der Aktualisierung der Fukushima-Erdbebennachweise und der Etagenantwortspektren durchzuführen. In der Detailprüfung hat das ENSI geprüft, ob die Aktualisierung der Erdbebennachweise der SSK mit der aktuellen Erdbebengefährdung ENSI-2015 entsprechend dem vom ENSI mit Brief vom 27. April 2017 /21/ genehmigten Konzept /19/ durchgeführt wurde. Im Rahmen der Detailprüfung hat das ENSI stichprobenartige Prüfungen von ausgewählten Fragility-Analysen durchgeführt.

Zur Kontrolle der Etagenantwortspektren für das Reaktorgebäude und SUSAN-Gebäude hat das ENSI unabhängige Gebäudeanalysen durchgeführt. In der Stellungnahme vom 28. Januar 2020 /49/ hat das ENSI die Etagenantwortspektren für das Reaktorgebäude (RG) /44/ und das SUSAN-Gebäude (SG) /45/ vorbehaltlos genehmigt.

#### Bewertung der Gefährdungsannahmen

Die von der BKW im aktualisierten Erdbebennachweis angesetzten Erdbebengefährdungsannahmen erfüllen die in der Verfügung vom 26. Mai 2016 /20/ definierten Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015.

Für das 10'000-jährliche Erdbeben gemäss den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 liegt die maximale horizontale Bodenbeschleunigung (PGA) auf Fundamentniveau des Reaktorgebäudes (-14 m) bei 0,36 g. Dieser Wert gilt als Referenz für die Erdbebenfestigkeitsnachweise.



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:



### Bestimmung der Erdbebenfestigkeiten und Nachweisführung

Für die Bestimmung der Erdbebenfestigkeiten der Strukturen, Systeme und Komponenten (SSK) hat die BKW gemäss dem vom ENSI genehmigten Konzept /19/ probabilistische Methoden nach EPRI (Fragility-Analysen) angewendet. Eine Struktur, ein System oder eine Komponente hält den Erdbebeneinwirkungen stand und darf bei der Störfallanalyse für den Fukushima-Nachweis kreditiert werden, wenn der HCLPF-Wert grösser oder gleich dem erforderlichen Referenzwert von 0,36 g ist.

Für die zur Kern- und Beckenkühlung während 72 h erforderlichen SSK weist die BKW die ausreichenden Erdbebenfestigkeiten mit einer minimalen Sicherheitsmarge von 1,1 nach. Im Rahmen der Detailprüfung hat das ENSI kontrolliert, ob die Erdbebenfestigkeiten gemäss dem genehmigten Konzept ermittelt wurden. Das ENSI hat bei ausgewählten Fragility-Analysen stichprobenartige Kontrollen durchgeführt.

Die Überprüfung durch das ENSI bestätigt, dass die Tragsicherheit der in der Störfallanalyse kreditierten SSK beim 10'000-jährlichen Erdbeben, mit PGA von 0,36 g bezogen auf das Fundamentniveau des Reaktorgebäudes (-14 m), gewährleistet ist.

### Erforderliche SSK für die Kernkühlung und die Brennelementbeckenkühlung

Die BKW hat dargelegt, dass zur Sicherstellung der Kernkühlung primär die besonders gegen äussere Einwirkungen geschützten Notstandssysteme eingesetzt werden. Für den Leistungsbetrieb wird der Umfang der SSK wie beim Nachweis im Jahr 2012 gemäss der Aktennotiz /23/ festgelegt. Die Funktionstüchtigkeit der Notstandssysteme wurde unter Berücksichtigung eines unabhängigen Einzelfehlers und unter Annahme des Ausfalls der externen Stromversorgung beim 10'000-jährlichen Erdbeben gemäss den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 bestätigt. Die Wasserfassung für die Kühlwasserversorgung der Notstandssysteme ist nicht gefährdet, da ein erdbebenbedingtes Versagen des Wasserkraftwerks Mühleberg und eine damit verbundene Flutwelle ausgeschlossen werden kann.

Für die Brennelementbeckenkühlung sind innerhalb von 72 Stunden keine Massnahmen notwendig, danach kann die Kühlung mit internen Notfallschutzmassnahmen aufrechterhalten werden.

Die BKW 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 der BKW eingehend geprüft und kommt zur Schlussfolgerung, dass die von der BKW 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.

### Nachweis der Kombination von Erdbeben und Hochwasser

Beim Nachweis der Beherrschung der Kombination von Erdbeben und dem durch das Erdbeben ausgelöste Versagen der Stauanlagen im Einflussbereich des Kernkraftwerks Mühleberg hat der Betreiber die in der Verfügung vom 1. April 2011 /22/ beschriebene Nachweisvariante 1 gewählt. Für die drei Stauanlagen, welche das Kernkraftwerk Mühleberg potenziell gefährden können (Mühleberg, Schiffenen, Rossens), wurde deterministisch nachgewiesen, dass beim 10'000-jährlichen Erdbeben eine unkontrollierte Wasserabgabe ausgeschlossen werden kann. Die vom ENSI und dem BFE durchgeführte Überprüfung konnte diese Aussage bestätigen. Zur Vervollständigung der Nachweise bedarf es bei den Stauanlagen Rossens, Schiffenen und Mühleberg noch einzelner Ergänzungen zur Erfüllung aller Anforderungen der Richtlinie über die Erdbebensicherheit der Stauanlagen /55/. Die in /56/ im Detail



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:



beschriebenen Ergänzungen stellen die Erfüllung des Nachweises der Kombination von Erdbeben und Hochwasser nicht in Frage.

### Radiologische Auswirkungen

Die radiologischen Berechnungen der BKW berücksichtigen Dosisbeiträge aus dem Integritätsverlust der nicht gegen das betrachtete Erdbeben ausgelegten Teile der Abgasanlage, Frischdampf- und Speisewasserleitungen. Sie weisen eine Dosis weit unterhalb des nachweislich einzuhaltenden Dosishöchstwerts von 100 mSv aus. Ferner hat der Betreiber zusätzliche Dosisbeiträge aus dem Integritätsverlust weiterer Komponenten sowie weitere Dosisbeiträge aus den Analysen für das BE-Becken ermittelt. Das ENSI hat die Berechnungen der BKW überprüft und kommt zur Schlussfolgerung, dass der Dosishöchstwert von 100 mSv gemäss der Kernenergieverordnung deutlich eingehalten wird.

## **7.2 Schlussfolgerung**

Aufgrund der Prüfung der von der BKW eingereichten Unterlagen zur Aktualisierung der Fukushima-Erdbebennachweise mit den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 für den Betriebszustand "Leistungsbetrieb" kommt das ENSI zur Schlussfolgerung, dass die Kernkühlung und die Kühlung des Brennelementlagerbeckens unter Einwirkung des 10'000-jährlichen Erdbebens und der Kombination von Erdbeben und erdbebenbedingtem Hochwasser einzelfehlersicher bis zur endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebes Ende 2019 gewährleistet war. Der Dosishöchstwert von 100 mSv wäre bei diesen Störfällen mit grosser Marge eingehalten gewesen.

Die geforderten Ergänzungen der Erdbebensicherheitsnachweise der Stauanlagen stellen die Prüfergebnisse des ENSI nicht in Frage.

**Forderung 1:** *Der Betreiber hat die Berechnungen der Erdbebensicherheit für die Stauanlagen im Einflussbereich des Kernkraftwerks Mühleberg gemäss der Stellungnahme des BFE /56/ zu ergänzen. Die Ergänzungen sind dem BFE und dem ENSI bis zum 30. April 2021 einzureichen.*



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

keine  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks  
Mühleberg

## 8 Referenzen

- /1/ Brief BKW Energie AG "Forderung B der Verfügung «Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 für die Standorte der Schweizer Kernkraftwerke»", BR-FM-2018/286 [REDACTED], 29.11.2018
- /2/ Brief BKW Energie AG "Etagenantwortspektren basierend auf den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015", BR-FM-2018/314 [REDACTED], 19.12.2018
- /3/ Aktennotiz Nr. AN-TM-2018/096: Aktualisierung der deterministischen Nachweise zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens und zur Beherrschung der Kombination von Erdbeben und Hochwasser mit den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 für das KKM, BKW Energie AG, 12.11.2018
- /4/ Bericht Nr. 088074-CA112: Seismic Fragilty Evaluation of SUSAN Ventilators, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 3 vom 24.03.2017
- /5/ Bericht Nr. 088074-CA181: Development of Seismic Fragilities for the Hybrid Ground Motion Uniform Hazard Spectra at Elevation (-) 14 m, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 0 vom 23.03.2017
- /6/ Bericht Nr. 088074-CA182: Seismic Fragilities for the Hybrid Earthquake Ground Motion Obtained by Scaling Fragilities for Final PEGASOS Refinement Project Earthquake Ground Motion, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 1 vom 31.05.2017
- /7/ Bericht Nr. 088074-CA184: Seismic Fragilty Evaluation of the Fuel Storage Rack Housing New Cooling Modules, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 0 vom 30.05.2017
- /8/ Bericht Nr. 088074-CA186: Seismic Fragilty Evaluation Refinement for the Reactor Building Internal Structure, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. A vom Mai 2017
- /9/ Bericht Nr. 088074-CA188: Seismic Fragilty Evaluation of Fuel Pool Cooling System Components, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 0 vom 30.05.2017
- /10/ Bericht Nr. 088074-CA189: Seismic Fragilty Evaluation of SUSAN Diesel Generators 190A 0001A and 290A 0001B with Backfits, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 0 vom 29.11.2017
- /11/ Bericht Nr. 088074-CD-01: Criteria Document for Seismic Fragilty Evaluation of the Mühleberg Nuclear Power Plant, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 6 vom 03.07.2014
- /12/ Bericht Nr. 088074-R-02: Seismic Response Analysis of Mühleberg Nuclear Power Plant Structures, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 3 vom 25.06.2014
- /13/ Bericht Nr. 088074-R-08: Mühleberg Nuclear Power Plant Seismic Fragilities for June 2011 Interim PEGASOS Refinement Project Earthquake Ground Motion, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 0 vom 21.10.2015
- /14/ Bericht Nr. 088074-R-09: Mühleberg Nuclear Power Plant Seismic Fragilities for Hybrid Earthquake Ground Motion, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 0A vom November 2017
- /15/ Bericht Nr. 088074-R-10: Seismic Fragilty Evaluation for the Mühleberg Nuclear Power Plant Decommissioning Probabilistic Safety Assessment, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 1 vom 23.06.2017
- /16/ Arbeitsbericht Nr. Se 018/05/18: Ermittlung der Etagenantwortspektren für das Reaktorgebäude entsprechend den Erbebengefährdungsannahmen ENSI-2015, KAE, 18.05.2018



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:  
Datum / Sachbearbeiter:

keine  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks  
Mühleberg

- /17/ Arbeitsbericht Nr. Se 007a/02/18: Ermittlung der Etagenantwortspektren für das SUSAN Gebäude entsprechend der Erbebengefährdungsannahmen ENSI-2015, KAE, Rev a vom 18.09.2018
- /18/ Bericht Nr. PS-TA-1587: Calculation of the Seismic Hazard at the Four NPP Sites Based on the Hybrid SED - PRP Model, Proseis AG, September 2015
- /19/ Aktennotiz Nr. AN-FM-2016/087: Konzept für Aktualisierung der Erdbeben Nachweise für KKM - AThENA, BKW Energie AG, Rev. a vom 21.06.2017 (Rev. 0 vom 25.10.2016)
- /20/ Brief ENSI "Verfügung: Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 für die Standorte der Schweizer Kernkraftwerke", ENSI - 10KGX.PEG, 26.05.2016
- /21/ Brief ENSI "Stellungnahme zum Konzept des KKM für die Sicherheitsnachweise zu den Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015", [REDACTED] - 11KEX.SEG15, 11/16/026, 27.04.2017
- /22/ Brief ENSI "Verfügung: Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung", [REDACTED] - 17/11/014, 01.04.2011
- /23/ Aktennotiz Nr. AN-UM-2012/052: Deterministischer Nachweis des 10'000-jährlichen Erdbebens für das KKM, BKW FMB Energie AG, 28.03.2012
- /24/ Aktennotiz Nr. STT-AN-0322: SP1 Systemliste, BKW Energie AG, Rev. c, 13.12.2018
- /25/ Bericht Nr. 7079.1-R-01A: Bogenstaumauer Schiffenen, Projekt AThENA, Erdbebennachweis der Stauanlage, Lombardi AG, Rev. A, 29.03.2018
- /26/ Bericht Nr. 7079.1-R-02A: Bogenstaumauer Rossens, Projekt AThENA, Erdbebennachweis der Stauanlage, Lombardi AG, Rev. A, 29.03.2018
- /27/ Bericht Nr. 5092/4008: Wasserkraftwerk Mühleberg, Überprüfung der Erdbebensicherheit, Stucky AG, 29.03.2018
- /28/ Aktennotiz Nr. ENSI 11/1562: Stellungnahme des ENSI zum deterministischen Nachweis des KKM zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens, 10KEX.APFUKU1, 09.07.2012
- /29/ Aktennotiz Nr. AN-UM-2015/188: Radiologische Sicherheitsanalyse des KKM (RSA), BKW Energie AG, 15.12.2015
- /30/ Bericht Nr. 14066.16RP.01: Geotechnical Evaluation, 2014 Probabilistic Safety Assessment, Kernkraftwerk Mühleberg, AMEC Environment & Infrastructure Inc., Rev. 2 vom 18.07.2014
- /31/ Technischer Bericht Nr. FGK-AN-17.094: UHS compatible 30 acceleration time histories for hazard level 1E-4, respectively for soil surface (0 m), -7 m and -14 m elevation, based on ENSI-2015 hazard, for Mühleberg nuclear power plant site (KKM), swissnuclear, Rev. 0, 28.03.2017
- /32/ Technischer Bericht Nr. FGK-AN-17.099: UHS compatible 3 acceleration time histories for hazard level 1E-4 and 2E-4 based on ENSI-2015 hazard, for Rossens and Schiffenen Dams, swissnuclear, Rev. 0, 28.03.2017
- /33/ Brief ENSI "Kernkraftwerk Mühleberg, Stellungnahme zu den ENSI-2015-kompatiblen Zeitverläufen für die Standorte KKM und Stauanlagen Schiffenen und Rossens", [REDACTED] - 11KEX.SEG15, 12.07.2017
- /34/ Brief ENSI "Kernkraftwerk Mühleberg, Stellungnahme zur Fragenbeantwortung betreffend ENSI-2015-kompatiblen Zeitverläufen für die Standorte KKM und Stauanlagen Schiffenen und Rossens", [REDACTED] - 11KEX.SEG15, 09.11.2017



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

keine  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks  
Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:

- /35/ Bericht Nr. 088074-CA\_07: Mühleberg Nuclear Power Plant, Median-Centered Seismic Response Analysis of the Reactor Building, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 2 vom 27.05.2014
- /36/ Bericht Nr. 088074-CA-04: Mühleberg Nuclear Power Plant, Median-Centered Seismic Response Analysis of the SUSAN Building, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 2 vom 16.05.2014
- /37/ Aktennotiz Nr. AN-AM-2012/117: Stellungnahme zur seismischen Robustheit der Isolation des Primärkreislaufes, BKW FMB Energie AG, 18.09.2012
- /38/ KKM Sicherheitsbericht 2015, BKW Energie AG, Dezember 2016
- /39/ Aktennotiz Nr. ENSI 11/2379: KKM: Stellungnahme des ENSI zur Erfüllung der PSÜ-Forderung 6.1-1, Bewertung der radiologischen Sicherheitsanalysen (Geschäft 11/13/068), 09.07.2018
- /40/ Brief BKW Energie AG "Projekt AThENA; Aktualisierung der Fukushima-Erdbebennachweise und Etagenantwortspektren, Ergebnisse der Grobprüfung, ENSI-Geschäft 11/18/020", BR-MFS-2019/131 [REDACTED] 16.05.2019
- /41/ Brief BKW Energie AG "Projekt AThENA; Aktualisierung der Fukushima-Erdbebennachweise und Etagenantwortspektren, Ergebnisse der Grobprüfung, ENSI-Geschäft 11/18/020, Forderung 1", BR-MFS-2019/170 [REDACTED] 26.06.2019
- /42/ Brief BKW Energie AG "Projekt AThENA; Aktualisierung der Fukushima-Erdbebennachweise und Etagenantwortspektren, Ergebnisse der Grobprüfung, ENSI-Geschäft 11/18/020, Stellungnahme zur Forderung 4", BR-MUK-2019/197 [REDACTED] 25.07.2019
- /43/ Aktennotiz Nr. AN-TM-2019/061: Seismische Robustheit der Isolation des Primärkreislaufes, BKW Energie AG, 25.06.2019
- /44/ Arbeitsbericht Nr. Se 018a/05/18: Ermittlung der Etagenantwortspektren für das Reaktorgebäude entsprechend den Erbebengefährdungsannahmen ENSI-2015, KAE, Rev. a vom 11.11.2019
- /45/ Arbeitsbericht Nr. Se 007b/02/18: Ermittlung der Etagenantwortspektren für das SUSAN Gebäude entsprechend der Erbebengefährdungsannahmen ENSI-2015, KAE, Rev. b vom 11.11.2019
- /46/ Brief ENSI "BKW Energie AG, Kernkraftwerk Mühleberg, Aktualisierung der Fukushima-Erdbebennachweise und Etagenantwortspektren, Ergebnisse der Grobprüfung, ENSI-Geschäft 11/18/020", [REDACTED] - 11/18/020, 26.04.2019
- /47/ Brief ENSI "Aktualisierung der Fukushima-Erdbebennachweise und Etagenantwortspektren, Ergebnisse der Grobprüfung, ENSI-Geschäft 11/18/020, Erfüllung Forderung 1", CNI/SAS - 11/18/020, 27.08.2019
- /48/ Brief ENSI "BKW Energie AG, Kernkraftwerk Mühleberg, Aktualisierung der Fukushima-Erdbebennachweise und Etagenantwortspektren, Bestätigung Erfüllung der Forderungen aus der Stellungnahme vom 26. April 2019, ENSI-Geschäft 11/18/020", [REDACTED] - 11/18/020, 17.09.2019
- /49/ Brief ENSI "BKW Energie AG, Kernkraftwerk Mühleberg, Projekt AThENA, Stellungnahme zu den auf den neuen Erbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 basierenden Etagenantwortspektren für das Reaktorgebäude (RG) und das SUSAN-Gebäude (SG), ENSI-Geschäft 11/18/020", [REDACTED] - 11/18/020, 28.01.2020
- /50/ Bericht Nr. 088074-CA141: Development of Seismic Fragilities for the Interim PEGASOS Revision Project Uniform Hazard Spectra at Elevation (-) 14 m, Simpson Gumpertz & Heger, Rev. 0 vom 28.03.2012



**Klassifizierung:**  
Aktenzeichen/Referenz:  
Titel:

**keine**  
11KEX.SEG15, 11/18/020 / ENSI 11/2611  
Stellungnahme des ENSI zu den aktualisierten Fukushima-Erdbebennachweisen des Kernkraftwerks  
Mühleberg

Datum / Sachbearbeiter:



- /51/ ENSI Aktennotiz Nr. 71/96: Stellungnahme zum Freigabeantrag der BKW für die Änderungen der Technischen Spezifikationen KKM für den Zeitraum von der EELB bis zur EABN (ETNB), LOD/GUJ, Rev. 1 vom 12.08.2019
- /52/ Aktennotiz Nr. AN-NT-2012/055: Bericht zur Verfügung des ENSI vom 5. Mai 2011, Überprüfung der Auslegung der Brennelementlagerbecken,-gebäude und -kühlsysteme, BKW Energie AG, 28.03.2012
- /53/ Richtlinie ENSI-A05, «Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang», Januar 2018
- /54/ Aktennotiz Nr. AN-CH-2012/081: Ergänzende Angaben zu unserer Stellungnahme zur Forderung 3.1 aus der Verfügung vom 1. April 2011 betreffend Folgedosen aus radioaktiven Abgaben aus dem Brennelementbecken, BKW Energie AG, 14.06.2012
- /55/ Richtlinie des BFE über die Sicherheit der Stauanlagen, Teil C3 "Erdbebensicherheit", Stand 1. Februar 2016
- /56/ Stellungnahme zur Standsicherheit der Stauanlagen Mühleberg, Schiffenen und Rossens unter den Gefährdungsannahmen ENSI-2015, Bundesamt für Energie BFE, Sektion Aufsicht Talsperren, Aktenzeichen BFE-313.4-16-7, 04.12.2019
- /57/ Brief ENSI "Verfügung: Massnahmen aufgrund der Ereignisse in Fukushima", [REDACTED] - 11/11/003, 18.03.2011
- /58/ Brief ENSI "Verfügung: Stellungnahme zu Ihrem Bericht vom 31. März 2011", [REDACTED] - 11/11/003, 05.05.2011
- /59/ ENSI Aktennotiz ENSI-AN-8567: Methodik deterministischer Nachweise der Schweizer Kernkraftwerke für Erdbeben der Störfallkategorien 2 und 3, 03.03.2014
- /60/ EPRI-3002012994, "Seismic Fragility and Seismic Margin Guidance for Seismic Probabilistic Risk Assessments", 27.09.2018