

BKWBKW FMB ENERGIE AG
KERNKRAFTWERK
3203 MÜHLEBERG**KKM**

Dokumentenart

Aktennotiz

Klassifizierung

Verfasser / Organisationseinheit

Datum

29.03.2012

Revisionsindex

Seite

1 von 10

Dokumenten-Nummer

AN-AM-2012/058

Schlagworte

Stauanlage, Erdbeben, Pegasos

Titel

Deterministischer Nachweis der Beherrschung der Kombination von Erdbeben und Hochwasser für das KKM

Inhalt

1	Veranlassung	2
2	Erdbebengefährdung	3
2.1	Erdbebengefährdung Mühleberg	3
2.2	Erdbebengefährdung Stauanlagen Schiffenen und Rossens	5
3	Erdbebennachweise der Stauanlagen (Variante 1)	7
3.1	Stauanlage Mühleberg	7
3.2	Bogenstaumauer Schiffenen und Rossens	8
4	Erdbebennachweise des KKM bei Annahme der Versagen der Stauanlagen (Variante 2) ...	10
5	Zusammenfassung	10

Das Urheberrecht an diesem Dokument verbleibt im Besitz der BKW FMB Energie AG. Ohne ausdrückliche Genehmigung dürfen diese Schriftstücke weder kopiert, noch vervielfältigt, noch Drittpersonen mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden.

Name:

Datum:

Unterschrift:

Name:

Datum:

Unterschrift:

Name:

Datum:

Unterschrift:

erstellt

geprüft

freigegeben

Beilagen

Verteiler

Extern: ENSI
Intern: AL, KL,

1 Veranlassung

In seiner Verfügung vom 1. April 2011 hat das ENSI gefordert, dass das KKM verschiedene Nachweise zur Beherrschung von Erdbeben- und Überflutungsereignissen führt [1, 2, 3]. Die vorliegende Aktennotiz führt den Nachweis zum Punkt 3.3 der Verfügung. Im Folgenden ist der für diese Nachweisführung relevante Teil der Verfügung zitiert:

3. Entscheid

Für die 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) vorzunehmende Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung und für den Nachweis zur Einhaltung der Dosisgrenzwerte gemäss Art.3 der obigen Verordnung gelten folgende Vorgaben:

3.3 Kombination von Erdbeben und Hochwasser

Die Beherrschung der Kombination von Erdbeben und dem durch das Erdbeben ausgelöste 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 Störfalls 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.*

Auf der Basis der in der Verfügung genannten Randbedingungen wird in der vorliegenden Aktennotiz eine Zusammenfassung der Erdbebennachweise der Stauanlagen, die das KKM gefährden könnten (Mühleberg, Rossens und Schifflenen), gegeben.

In Kapitel 2 wird zunächst die massgebende Erdbebengefährdung, die für den Nachweis verwendet wird, dargestellt und bewertet.

Kapitel 3 bildet den zentralen Teil dieser zusammenfassenden Aktennotiz. In diesem Kapitel werden die Erdbebennachweise der Stauanlagen Mühleberg, Rossens und Schifflenen zusammengefasst und die zugehörigen Referenzdokumente angegeben. Obwohl die Beherrschung der Kombination von Erdbeben und dem durch das Erdbeben ausgelöste Versagen der Stauanlagen gemäss der Varian-

te 1 nachgewiesen wird, weist das Kapitel 4 auf die Möglichkeit der Beherrschung des betrachteten Ereignisses im KKM nach der Variante 2 im Sinne von „Defense-in-Depth“ hin.

Die Aktennotiz schliesst in Kapitel 5 mit einer Zusammenfassung und abschliessenden Bewertung.

Referenzen zu Kapitel 1

- [1] Verfügung: Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung. Verfügung des ENSI vom 1. April 2011.
- [2] Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken. SR732.114.5, 1. Mai 2008.
- [3] Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G14, Ausgabe Februar 2008, Revision 1 vom 21. Dezember 2009.

2 Erdbebengefährdung

Die Stauanlage Mühleberg befindet sich 1.5 km oberwasserseitig des KKM an der Aare und könnte bei erdbebeninduziertem 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 erdbebeninduziertes Versagen könnte an dem 3 km unterwasserseitig liegenden Zusammenfluss der Saane mit der Aare zu einem Rückstau führen und das Areal des KKM überfluten. Aus diesem Grund wurden diese drei Stauanlagen detailliert untersucht.

2.1 Erdbebengefährdung Mühleberg

Wegen ihrer unmittelbaren Nähe zum Kernkraftwerk wurde die weitaus detaillierter bestimmte Erdbebengefährdung des KKM als Basis für die Stauanlage WKW Mühleberg angesetzt. Zunächst wird die Bestimmung der Erdbebengefährdung des Standorts KKM bestimmt. Anschliessend wird die Anpassung dieser Erdbebengefährdung auf den Standort der Stauanlage Mühleberg diskutiert.

2.1.1 Erdbebengefährdung Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Die Erdbebengefährdung für den Standort des KKM wurde 1967 auf Basis der Seismizität in den Schweizer Alpen und benachbarter Regionen in Frankreich und Deutschland festgelegt [1]. Die zur Verfügung stehende Datenbasis umfasste Erdbeben während des Beobachtungszeitraums von 1295 (Churwalden Erdbeben in Graubünden) bis 1946 (Sierre Erdbeben in Wallis) mit makroseismischer Intensität von VII und grösser nach der Rossi-Forel Skala [2]. Das am nächsten zum KKM lokalisierte Erdbeben im Betrachtungszeitraum war 56 km entfernt. Das stärkste in der Schweiz lokalisierte Erdbeben, das Erdbeben in Basel von 1356, war etwa 80 km vom KKM entfernt. Als Referenzerdbeben wurde wegen dessen grosser Distanz zum KKM nicht das Basel Erdbeben von 1356, sondern das 50 km entfernte Erdbeben mit Intensitäten von IX bis X nach der Rossi-Forel Skala gewählt.

Basierend auf in-situ geophysikalischen Messungen wurde eine horizontale Bodenbeschleunigung von 0.12 g und eine vertikale Bodenbeschleunigung von 0.08 g als Auslegungsbasis auf Reaktorgebäudefundamentniveau für sicherheitsrelevante Systeme, Strukturen und Komponenten (SSC) festgelegt.

Eine erste Aktualisierung der Erdbebengefährdung in der Schweiz veranlasste die Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (ASK) in 1975 [3]. Die Erdbebengefährdung sollte hierbei mit probabilistischen Methoden erfasst werden, indem die zu erwartenden Erdbebenstärken als Funktion der Wahrscheinlichkeit angegeben werden.

Für die Studie wurden sämtliche Erdbeben in der Schweiz und den angrenzenden Regionen in einem Bereich bis etwa 150 km über die Landesgrenze hinaus berücksichtigt. Über 2'000 Erdbeben aus einer Beobachtungszeit von rund 2'000 Jahren bildeten die Datenbasis. Diese Erdbebendatenbank diente als Basis zur Ermittlung der zeitlichen und örtlichen Häufigkeitsbeziehungen, der seismotektonischen Quellencharakteristiken und der Erdbebenwellenausbreitungscharakteristiken. Auf dieser Grundlage wurden die jährlichen mittleren Eintrittshäufigkeiten (einmal in 100, 1'000 und 10'000 Jahren) einer Erdbebenwirkung ermittelt. Als Mass für die Erdbebenstärke wurden makroseismische Intensitäten gemäss der MSK-64 Skala [4] gewählt, was eine vollumfängliche Verwendung der historischen Daten ermöglichte.

Basierend auf den Erdbebenrisikokarten und Korrelationen von Intensitäten mit Bodenbeschleunigungen wurde die standortspezifische Erdbebengefährdung für das KKM ermittelt [5]. Die Bodenbeschleunigungskennwerte (horizontal 0.15 g, vertikal 0.10 g) auf Reaktorgebäudefundamentniveau für eine jährliche mittlere Eintretenshäufigkeit von $1E-04$ wurde als Auslegungserdbeben definiert [6]. Die Erdbebenbemessung des Notstandsgebäudes SUSAN in 1984 basierte hierauf.

Mit der Einführung der Probabilistischen Sicherheitsanalysen in den 1980er-Jahren ergaben sich weitere Anforderungen an die Erdbebengefährdung. Eine explizite Erfassung der Unsicherheit in den Gefährdungskurven wurde notwendig. Die Unterscheidung der Unsicherheit in einen durch erweitertes Wissen und vergrösserte Datenbasis reduzierbaren epistemischen Anteil und den restlichen aleatorischen Anteil wurde ebenfalls erforderlich. Darüber hinaus hat die Einführung der PSA dazu geführt, dass auch sehr seltene Erdbeben (einmal in 10'000'000 Jahren) berücksichtigt werden müssen.

Die Schweizer Kernkraftwerksbetreiber erhielten die Auflage der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) eine entsprechende Erdbebengefährdungsuntersuchung an den Schweizer KKW Standorten durchzuführen, welche den SSHAC Stufe 4 Kriterien [7] genügen würde. Organisiert im Unterausschuss Kernenergie (UAK) der Überlandwerke (UeW) beauftragten die Schweizer Kernkraftwerksbetreiber die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA) mit der Planung, Organisation und Durchführung der Studie. Die Untersuchungen wurden im Rahmen des PEGASOS-Projektes durchgeführt [8].

PEGASOS ist die erste in Europa durchgeführte Erdbebengefährdungsstudie in diesem Umfang und dieser Art (weltweit gibt es nur eine weitere Studie dieser Art und Tiefe für das geologische Tiefenlager Yucca Mountain in den USA). Dazu wurden renommierte Fachleute von unabhängigen erdwissenschaftlichen und weiteren fachtechnischen Organisationen aus dem In- und Ausland beigezogen. Hauptunterschied zu allen früheren Studien war, dass bei den Gefährdungsanalysen systematisch alle Unsicherheiten erfasst wurden. Dies umfasst sowohl die Unsicherheit der Datenlagen als auch die Ungenauigkeit der verwendeten Modelle zur Berechnung der durch das Erdbeben verursachten Auswirkungen. Da die im PEGASOS-Projekt verwendeten Methoden erstmalig weltweit so rigoros eingesetzt wurden, haben die Kernkraftwerksbetreiber und die Fachwelt in den Folgejahren die Resultate intensiv diskutiert. Diverse Zusatzuntersuchungen zur Qualitätsüberprüfung wurden durchgeführt. Die HSK hat das PEGASOS-Projekt eng begleitet und sowohl die Ergebnisse als auch die Zusatzuntersuchen genau geprüft. 2007 wurden die Ergebnisse und das weitere Vorgehen von der HSK veröffentlicht [9].

Die Diskussionen mündeten in der Einsicht, dass insbesondere die Handhabung der Unsicherheiten differenzierter behandelt werden sollte. Die Datenbasis sollte durch Messungen zwecks realistischer Erfassung der Unsicherheiten erweitert werden. Mehrfach berücksichtigte Unsicherheiten sollten zudem eliminiert werden. In diesem Zuge sollten auch neuere Erkenntnisse in der Forschungswelt berücksichtigt werden. Aus diesen Gründen beschlossen die Kernkraftwerksbetreiber das PEGASOS-Projekt zu verfeinern. Neben der Aktualisierung und Neuauswertung des Schweizerischen Erdbebenkataloges durch den SED wird dabei auch ein erstes, durch den SED für die Schweiz erstelltes Abminderungsmodell berücksichtigt. Zudem werden die in 2010 durchgeführten umfangreichen Baugrunduntersuchungen an sämtlichen Schweizer Kraftwerksstandorten zur Analyse des Untergrundes herangezogen.

Nach den Ereignissen in Japan wurde Ende Mai 2011 eine Aktualisierung der standortspezifischen Erdbebengefährdung für eine mittlere Eintretenshäufigkeit von einmal in 10'000 Jahren für den Standort des KKM erstellt [10], [11].

2.1.2 Erdbebengefährdung Stauanlage WKW Mühleberg

Die standortspezifische Erdbebengefährdungsanalyse erfordert die Bestimmung der seismischen Quellencharakteristiken, der Ausbreitungscharakteristiken und der Standortcharakteristiken. Wegen der unmittelbaren Nähe der Stauanlage zum Kernkraftwerk sind die ersten beiden Charakteristiken für beide Standorte weitestgehend identisch. Lediglich die Standortcharakteristiken erfordern eine gründliche Überprüfung und gegebenenfalls Anpassung.

Die umfangreichen Baugrunduntersuchungen zwischen Juli und Oktober 2011 mit unter Anderem 16 Sondierungsbohrungen ergaben hierüber Aufschluss [12]. Ein Vergleich mit den Ergebnissen aus den Baugrunduntersuchungen am Standort des KKM zeigte, dass die Bedingungen des Standortes des KKM auf Reaktorgebäudefundamentniveau bei -14 m unter Geländeoberkante vergleichbar ist mit dem Fels auf Stauanlagenfundamentniveau. Neben dem Schichtaufbau bestätigte dies auch der Vergleich der Scherwellengeschwindigkeiten [13]. Aus diesen Gründen wird das Gefährdungsspektrum des Standortes des KKM auf Reaktorgebäudefundamentniveau bei -14 m unter Geländeoberkante als Gefährdungsspektrum zur Bestimmung der Referenzerdbeben für den Erdbebennachweis der Stauanlage Mühleberg herangezogen. Das nach den Ereignissen in Japan Ende Mai 2011 aktualisierte, auf den Bodenbeschleunigungswert normierte Gefährdungsspektrum auf Reaktorgebäudefundamentniveau bei -14 m für eine jährliche mittlere Eintretenshäufigkeit von $1E-04$ ist in Abbildung 1, links dargestellt. Dieses Gefährdungsspektrum wird für den Erdbebennachweis der Stauanlage Mühleberg verwendet.

2.2 Erdbebengefährdung Stauanlagen Schiffenen und Rossens

Im gleichen Zuge wie die Aktualisierung der standortspezifischen Erdbebengefährdung für die Kernkraftwerksstandorte nach den Ereignissen in Japan Ende Mai 2011, wurden die standortspezifischen Erdbebengefährdungen für eine mittlere Eintretenshäufigkeit von einmal in 10'000 Jahren auch für Standorte von Stauanlagen ermittelt [10]. Im Unterschied zu den Kernkraftwerksstandorten liegen für diese Standorte jedoch keine umfassenden Standortuntersuchungen vor. Dies ist in diesen Fällen nicht erforderlich, da die untersuchten Standorte von Stauanlagen Felsstandorte sind und eine geringe Bodenamplifizierung erwarten lassen. Es wurde eine über die ersten 30 Meter gemittelte, generische Scherwellengeschwindigkeit von 1000 m/s angenommen, konsistent mit der Scherwellengeschwindigkeitscharakterisierung für weiche Felsformationen, zu denen auch die an beiden Standorten vorhandene Untere Süswassermolasse gehört. Für die Stauanlagenstandorte mit weitaus höheren Scherwellengeschwindigkeiten in den ersten 30 Metern stellt diese Annahme eine zusätzliche Konservativität bezüglich der Erdbebengefährdungsbestimmung dar. Die auf den Bodenbeschleunigungswert normierten Gefährdungsspektren für die Standorte der Stauanlagen Schiffenen und Rossens sind in Abbildung 1, rechts angegeben.

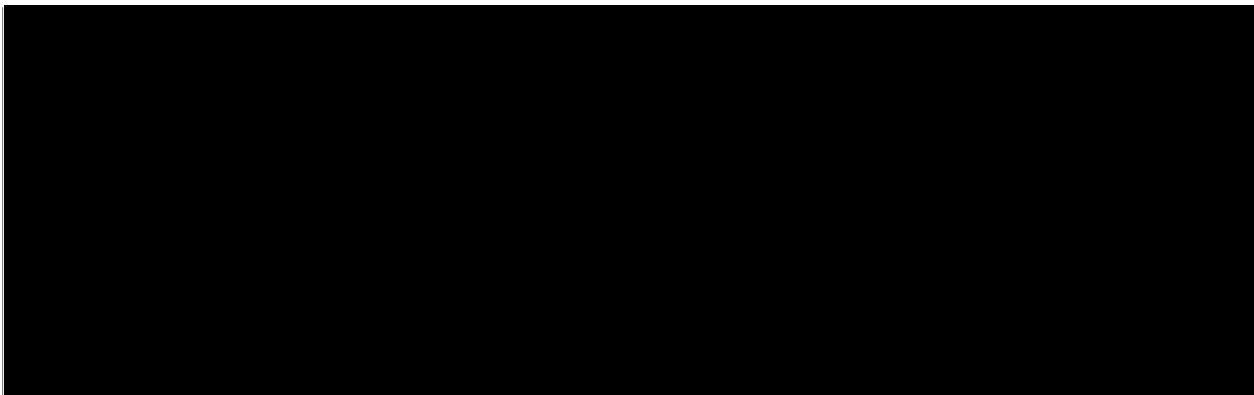


Abbildung 1: Gefährdungsspektren für die Fundation der Stauanlage Mühleberg (links) und für die Fundationen der Stauanlagen Schiffenen und Rossens (rechts).

Referenzen zu Kapitel 2:

- [1] ██████████ Recommended Earthquake Criteria, Muehleberg Nuclear Power Plant, prepared for General Electric Company, San Francisco, CA, 1967.
- [2] ██████████ 1883, Programma dell'osservatorio ed archivio centrale geodinamico presso il R. Comitato Geologico d'Italia. *Bullettino del Vulcanismo Italiano*, **10**, 3-128.
- [3] Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Erdbebenrisikokarten der Schweiz, ██████████
██████████ Schweizer Erdbebendienst, September, 1977.
- [4] ██████████ 1964, Neue seismische Skala Intensity scale of earthquakes, 7. Tagung der Europäischen Seismologischen Kommission vom 24.9. bis 30.9.1962. In: Jena, Veröff. Institut für Bodendynamik und Erdbebenforschung in Jena, Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, **77**, 69-76.
- [5] ██████████ Erdbeben-Risiko am Standort des Kernkraftwerkes Mühleberg, Aktennotiz AN 777-11 für HSK, 2. November, 1978.
- [6] Bernische Kraftwerke AG, Kernkraftwerk Mühleberg, Sicherheitsbericht 1989, Ausgabe 31. August 1990.
- [7] Senior Seismic Hazard Analysis Committee, Recommendations for probabilistic seismic hazard analysis: Guidance on uncertainty and use of experts, NUREG/CR-6372, U.S. Nuclear Regulatory Commission, April 1997.
- [8] Nagra, Probabilistic seismic hazard analysis for Swiss nuclear power plant sites, Final report, Unterausschuss Kernenergie der Überlandwerke (UAK), Juli 2004.
- [9] Hauptabteilung der Sicherheit der Kernanlagen HSK, Neubestimmung der Erdbebengefährdung an den Kernkraftwerkstandorten in der Schweiz (Projekt PEGASOS), HSK-AN-6252, Würenlingen, Juni 2007.
- [10] Swissnuclear (2011) Intermediate Seismic Hazard (May 2011) – Evaluation of an Intermediate Seismic Hazard for the Existing Swiss Nuclear Power Plants, Technical Report FGK-11-039.GS, Rev. 1.
- [11] ██████████ (2011) Intermediate Soil Hazard Results for Mühleberg – July 2011. Technical report IO11-TA0389, Rev. 1.
- [12] ██████████ (2012) Geologisch-geotechnische Untersuchungen 2011, Bericht Nr. 1511 096.1.
- [13] ██████████ (2012) Evaluation of the Strength of the Foundation Materials at Wasserkraftwerk Mühleberg, Project No. 0140660000.00012.

3 Erdbebennachweise der Stauanlagen (Variante 1)

Die betrachteten Stauanlagen sind der Verordnung über die Sicherheit der Stauanlagen vom 7. Dezember 1998 (Stauanlagenverordnung, StAV) unterstellt. Die Erdbebennachweise werden folglich nach einheitlichen Kriterien gemäss den BWG-Richtlinien durchgeführt [1, 2, 3]. Abweichend hierzu ist lediglich die Erdbebengefährdung, welche, wie in Kapitel 2 detailliert beschrieben, auf Basis von aktuellsten Ergebnissen aus den laufenden Erdbebengefährdungsanalysen in der Schweiz bestimmt wurde.

3.1 Stauanlage WKW Mühleberg

Die Stauanlage Mühleberg wurde zwischen 1917 und 1920 erbaut. Es handelt sich um eine Gewichtsmauer. Sie besteht aus dem Wehr mit einem oberen und einem unteren Abfallboden, dem Maschinenhaus und einem Maschinenhausanbau. Das Überfallwehr und die Wehrbrücke wurden von 2004 bis 2006 umgebaut. Der Standort liegt in einem ca. 100 m tiefen U-förmigen Erosionstal, das von der Aare in das Molasseplateau eingeschnitten wurde. Die Foundation liegt in den Gesteinen der Unteren Süsswassermolasse (USM), welche eine nahezu horizontale Schichtung aufweisen.

Die Anlagenteile Wehr und Maschinenhaus sind auf der ganzen Länge im anstehenden Fels der Unteren Süsswassermolasse fundiert. Abgestimmt auf die Baugrundverhältnisse sind bis zu fünf Meter tiefe Spore in den Felsuntergrund eingelassen.

Bei der Modellierung der Anlage für diesen Nachweis wurden die Anlagenteile mitsamt des mitschwingenden Felsuntergrundes modelliert. Dabei wurden auch die ebenfalls mitschwingenden Wassermassen berücksichtigt. Die zur Modellierung des Felsuntergrundes notwendigen Daten wurden mittels umfangreicher Baugrunduntersuchungen zwischen Juli und Oktober 2011 erhoben [4]. Die erhobene Datenbasis wurde von einer Expertengruppe bewertet. Die Auswertung der Datenbasis und die Auswahl der notwendigen Parameter zur Modellierung des Felsuntergrundes sind in [5] zusammengefasst.

Neben der ordentlichen Kontrollen in Rahmen der Stauanlagenüberwachung wurde der Zustand der Anlagenteile von Expertenteams (bestehend aus einem Anlageningenieur und zwei externen Erdbebeningenieurern) in den Jahren 2007 und 2008 erfasst [6]. Eine weitere Informationsquelle über den dem aktuellen Zustand bietet die letzte Jahreskontrolle der Stauanlagenüberwachung vom 19. Dezember 2011 [7].

Die Erdbebennachweise für die Integrität und Stabilität der Anlagenteile Wehr und Maschinenhaus wurden getrennt geführt. Diese Einzelmodelle spiegeln auch das realistische Verhalten der Anlage in einem Erdbebenfall wieder.

Die Nachweise wurden mit detaillierten Finite-Elemente-Modellen mittels dynamischer Zeitverlaufsrechnungen geführt. Für diese dynamischen Berechnungen wurden jeweils drei Referenzbeben in drei Richtungen, kompatibel mit den in Kapitel 2 angegebenen Gefährdungsspektren und konform mit den in den BWG-Richtlinien aufgelisteten Vorgaben, bestimmt [8]. Bei den Zeitverlaufsrechnungen wurden die erzeugten Spannungen in den Anlagenteilen mit einer Auflösung von 10 ms berechnet.

Die dynamischen Berechnungen mittels zweier voneinander unabhängigen dreidimensionalen Finite-Elemente-Modelle für das Maschinenhaus und das Wehr des WKW Mühleberg und seiner Foundation zeigen, dass die Spannungen in den für die Wasserrückhaltung erforderlichen Strukturen des Maschinenhauses und des Wehrs über den ganzen Zeitverlauf geringer als die zulässigen Druck- und Zugfestigkeiten sind. Die kurzzeitigen Spannungsspitzen in den Wehrpfeilern sind durch die starke Bewehrung in diesen Bauteilen abgedeckt. Somit ist der dynamische Spannungsnachweis sowohl für Druck- als auch für Zugspannungen erbracht. Folglich ist die Integrität der Anlagenteile für die Referenzbeben gewährleistet, Schäden an der Staumauer werden nicht erwartet [9].

Für den Nachweis der Stabilität gegen Gleiten wurden ebenfalls dynamische Zeitverlaufsrechnungen für die drei Referenzbeben durchgeführt. Alle drei Berechnungen für beide Anlagenteile zeig-

ten, dass auch bei ungünstigen Parameter- und konservativen Modell-Annahmen in jedem berechneten Zeitschritt die rückhaltenden Kräfte um mindestens 30 % grösser als die treibenden Kräfte sind. Ferner zeigte sich, dass am wasserseitigen Fuss der Anlagenteile mit den geringen Zugspannungen, welche unterhalb des Materialkennwerte liegen, kein Kipprisiko besteht. Somit ist für die Stauanlage Mühleberg die Gleit- und Kippsicherheit gemäss den Vorgaben der BWG Richtlinie mit den neuen Gefährdungsannahmen gewährleistet [9].

Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit der Sicherheitsorgane (Stauklappen, Plungerkolben und Grundablass) ist ebenfalls erbracht [9].

3.2 Bogenstaumauer Schiffenen und Rossens

Die Nachweise wurden mit detaillierten Finite-Elemente-Modellen mittels dynamischer Zeitverlaufsrechnungen geführt. Für diese dynamischen Berechnungen wurden jeweils drei Referenzerdbeben in drei Richtungen, kompatibel mit den in Kapitel 2 angegebenen Gefährdungsspektren und konform mit den in den BWG-Richtlinien aufgelisteten Vorgaben, bestimmt [10]. Während bei Gewichtsmauern die Standsicherheit meist durch die Gleitsicherheit bestimmt ist, sind für Bogenstaumauern im Allgemeinen die Spannungsnachweise massgebend.

3.2.1 Erdbebennachweis Bogenstaumauer Schiffenen

Die dreidimensionale numerische Berechnung mit dynamischen Zeitverlaufsrechnungen haben gezeigt, dass sich im Erdbebenfall zwei massgebende Beanspruchungsmechanismen ergeben. Es kommt zum Einen zu tangentialen Zugspannungen im Bereich der Mauerkrone, welche eine lokale und kurzzeitige partielle Öffnung der vertikalen Blockfugen zur Folge haben könnte. Dies ist allerdings für die Stabilität der Mauer nicht weiter von Bedeutung, da nur der obere Bereich der Mauerkrone betroffen ist und eine allfällige Öffnung nur lokal begrenzt auftritt.

Desweiteren hat sich gezeigt, dass beim wasserseitigen Mauerfuss Zugspannungen senkrecht zur Foundation auftreten, welche die theoretisch zulässige dynamische Betonzugfestigkeit überschreiten. In diesem Fall ist eine Öffnung der Basisfuge (Konstruktionsfuge auf Höhe der Foundation) zu erwarten. Anhand einer Zusatzberechnung konnte aber nachgewiesen werden, dass die Mauer auch in diesem Fall einen Gleichgewichtszustand finden kann. Die horizontalen Lasten werden dabei massgeblich über die Bogenwirkung der Mauer in die seitlichen Widerlager, die bis in die Meeresschicht reichen, eingeleitet.

Die Stabilität der seitlichen Widerlager gegenüber Gleiten der Mauer ist auch bei offener Basisfuge nachgewiesen.

Die Nebenanlagen der Bogenstaumauer, wie Wasserfassung, Grundablässe und Hochwasserentlastung, wurden nicht betrachtet, da diese keine Signifikanz bezüglich der Hochwassersicherheit des KKM haben. Bei einer Beschädigung würde die austretende Wassermasse maximal derjenigen im Falle eines Hochwassers, und somit einem Betriebszustand der Anlage, entsprechen.

Der Nachweis der Erdbebensicherheit ist für die Bogenstaumauer Schiffenen somit für die neuen Gefährdungsannahmen erbracht [11].

3.2.2 Erdbebennachweis Bogenstaumauer Rossens

Im Falle der Bogenstaumauer Rossens wird die dynamische Druckfestigkeit des Betons unter statischer und dynamischer Beanspruchung in keinem Fall überschritten. Die maximalen Druckspannungen liegen beim ungünstigsten Lastfall für die Referenzerdbeben bei Wintertemperaturen und vollem Stausee weit unter der dynamischen Druckfestigkeit des Mauerbetons. Die vertikalen Zugspannungen hingegen weisen lokal höhere Werte als die dynamische Zugfestigkeit auf. Eine mögliche Rissentwicklung am wasserseitigen Mauerfuss wurde eingehender analysiert. Die Resultate zeigen, dass

sich keine Risse über die ganze Breite entwickeln können. Die verminderte Tragfähigkeit wird durch Bogenwirkung mit Vergrößerung der Druckspannungen kompensiert.

Im zentralen Bereich der oberen Hälfte der Mauer werden sowohl wasser- wie auch luftseitig Zugspannungen in tangentialer Richtung leicht über der Zugfestigkeit der Fugen erreicht. Aufgrund der vertikalen Blockfugen führt dies aber nicht zu einer Rissbildung. Mit Ausnahme von lokal erhöhten Zugspannungen ist die Beanspruchung der Mauer im Erdbebenfall als gering einzustufen und weist genügende Reserven auf.

Die Gleitsicherheit konnte mittels Analyse der Aufstandsflächen nachgewiesen werden.

Die Nebenanlagen der Bogenstaumauer, wie Wasserfassung, Grundablässe und Hochwasserentlastung, wurden nicht betrachtet, da diese keine Signifikanz bezüglich der Hochwassersicherheit des KKW Mühleberg haben. Bei einer Beschädigung würde die austretende Wassermasse maximal derjenigen im Falle eines Hochwassers, und somit einem Betriebszustand der Anlage, entsprechen.

Der Nachweis der Erdbebensicherheit ist für die Bogenstaumauer Rossens somit für die für die neuen Gefährdungsannahmen erbracht [12].

Referenzen zu Kapitel 3

- [1] BWG, Sicherheit der Stauanlagen – Basisdokument zur konstruktiven Sicherheit, Berichte des BWG, Serie Wasser, Version 1.0, August 2002.
- [2] BWG, Sicherheit der Stauanlagen – Richtlinien des BWG, Berichte des BWG, Serie Wasser, Version 1.1, November 2002.
- [3] BWG, Sicherheit der Stauanlagen – Basisdokument zu dem Nachweis der Erdbebensicherheit, Berichte des BWG, Serie Wasser, Version 1.2, März 2003.
- [4] ██████████ (2012) Geologisch-geotechnische Untersuchungen 2011, Bericht Nr. 1511 096.1.
- [5] ██████████ (2012) Evaluation of the Strength of the Foundation Materials at Wasserkraftwerk Mühleberg, Project No. 0140660000.00012.
- [6] ██████████ Seismic Walkdown of the Mühleberg Nuclear Power Plant, Report No. 088074-R-01, Revision 3, April 2012.
- [7] BKW FMB Energie AG Bern, Engineering Kraftwerke (2012). WKW Mühleberg / Stauanlage Mühleberg Überwachung Talsperre, Protokoll Jahreskontrolle 2011.
- [8] ██████████ (2011) Development of Earthquake Acceleration Time Histories Compatible with the Interim PEGASOS Revision Project Uniform Hazard Spectra for Deterministic Seismic Evaluation of the Mühleberg Dam, Technical Report 088074-CA-133.
- [9] ██████████ (2012). Wasserkraftwerk Mühleberg, Überprüfung der Erdbebensicherheit, Bericht Nr. CSE/TM/JO 5092/4003, März 2012.
- [10] ██████████ (2011). „Development of Earthquake Acceleration Time Histories Compatible with the Interim PEGASOS Revision Project Uniform Hazard Spectra for the Rossens and Schiffenen Dams”, Technical Report 088074-CA-134.
- [11] ██████████ Erdbebensicherheitsnachweis, Bogenstaumauer Schiffenen, Berechnungsbericht Nr. 7009.R-3-03A, März 2012.
- [12] ██████████ Erdbebensicherheitsnachweis, Bogenstaumauer Rossens, Berechnungsbericht Nr. 7009.R-3-02A, März 2012.

4 Erdbebennachweis des KKM (Variante 2)

In Kapitel 3 wurde nachgewiesen, dass aufgrund der mit neuen seismischen Gefährdungsannahmen bestimmten 10'000-jährlichen Erdbeben eine unkontrollierte Wasserabgabe für Stauanlagen, die das KKM gefährden könnten (Mühleberg, Rossens und Schiffenen), ausgeschlossen ist.

Bei auslegungsüberschreitenden Szenarien für Erdbeben und Überflutung kann jedoch der Ausfall der regulären Kühlwasserversorgung bzw. der Verlust der Wärmesenke nicht ausgeschlossen werden. Damit – im Sinne von Defense-in-Depth – auch in einer solchen ausserordentlichen Situation der Safe-Shutdown-Zustand bis zur Wiederherstellung der Kühlwasserversorgung stabil gehalten werden kann, wurde eine betriebliche Fahrweise entwickelt, die dem Betriebspersonal als Accident-Management-Massnahme zur Verfügung gestellt wird. Mit dieser Fahrweise ist die Kühlwasserversorgung im Reaktorkern und die Abfuhr der Nachzerfallswärme bis mindestens 72 Stunden nach Ereigniseintritt gewährleistet, ohne dass der Kernbrennstoff abgedeckt wird. Während dieser Zeit kann das Betriebspersonal die Wiederherstellung der regulären Kühlwasserversorgung bzw. Alternativen dazu vorbereiten.

Die genannte Fahrweise basiert auf dem erdbebensicheren Hochdruckeinspeisesystem und wird über die ebenfalls erdbebensicheren SUSAN-Notstrombatterien versorgt. Eine nach den Ereignissen in Fukushima bereitgestelltes, erdbeben- und überflutungssicher gelagertes Notstromdieselaggregat ermöglicht das Nachladen der Batterien. Zur Abfuhr der Nachzerfallswärme wird der Frischdampf in die Kondensatoren geleitet und ins Maschinenhaus freigesetzt.

Die mit der entsprechenden Freisetzung von Radioaktivität verbundene Folgedosis für die Bevölkerung bleibt, gemäss einer sehr konservativen Rechnung auf Basis der ENSI-Richtlinie G-14, auch in dieser auslegungsüberschreitenden Situation während 72 Stunden unterhalb des Grenzwertes der Störfallkategorie 3.

5 Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Aktennotiz wird der deterministische Nachweis der Beherrschung der Kombination von Erdbeben und Hochwasser für das KKM gemäss den Vorgaben aus der Verfügung des ENSI vom 1. April 2011 erbracht.

Dazu wurde in Kapitel 2 zunächst die Erdbebengefährdung für das zu betrachtende Referenzerdbeben festgelegt. In Kapitel 3 wurden die erforderlichen Erdbebennachweise der Stauanlagen Mühleberg, Rossens und Schiffenen zusammengefasst und die zugehörigen Referenzdokumente angegeben. Die Nachweise wurden nach der BWG-Richtlinie geführt. Es konnte gezeigt werden, dass für die in Kapitel 2 festgelegte neue Erdbebengefährdung die Integrität und Stabilität der Staumauern Mühleberg, Rossens und Schiffenen gewährleistet ist. Für die Staumauer Mühleberg wurden weiter die für die KKM Sicherheitssysteme relevanten Nebenanlagen untersucht und es konnte gezeigt werden, dass diese funktionsfähig bleiben.