



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Industriestrasse 19
5200 Brugg
Tel.: 056 / 480 84 00
Fax: 056 / 480 84 99

435



AN-Nummer

ENSI 11/1481

Datum

31. August 2011

Aktenzeichen

11KEX

Typ/Charakter

Aktennotiz

Klassifikation

öffentlich

Bearbeiter

[REDACTED] /
[REDACTED]

Visum

Sachbearbeiter: [REDACTED]

Vorgesetzter [REDACTED]

Projekt, Thema, Gegenstand (Schlagwörter)

KKM, Verfügung Fukushima, deterministischer Nachweis
10'000-jährliches Hochwasser

Seiten 23

Beilagen -

Zeichnungen -

Stellungnahme des ENSI zum deterministischen Nachweis des KKM zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers

Inhaltsverzeichnis:

1	Anlass	2
1.1	Ausgangslage	2
1.2	Gegenstand und Grundlage der Beurteilung	2
1.3	Aufbau der Aktennotiz	4
2	Neubewertung der Hochwassergefährdung	4
2.1	Gefährdungsannahmen	4
2.2	Auswirkungen auf die Stauanlagen	5
2.3	Auswirkungen auf die Anlage	8
3	Deterministischer Sicherheitsnachweis	16
3.1	Überführung der Anlage in den sicheren Zustand	16
3.2	Einhaltung der Dosisgrenzwerte	19
4	Zusammenfassung	20
5	Referenzen	22

Verteiler:

ENSI: GL, KASI, [REDACTED], Archiv

Extern: KKM



1 Anlass

1.1 Ausgangslage

Vor dem Hintergrund der Ereignisse in Japan hat das ENSI gestützt auf Art. 2 Abs. 1 Bst. d der Verordnung des UVEK vom 16. April 2008 über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken (SR 732.114.5) /1/ am 18. März 2011 verfügt, dass die Auslegung der Kernkraftwerke in der Schweiz bezüglich Erdbeben und Überflutung unverzüglich zu überprüfen ist /3/.

Die Randbedingungen für diese Überprüfung sowie der terminliche Rahmen wurden vom ENSI in einer 2. Verfügung vom 1. April 2011 /4/ festgelegt. Bezüglich der Gefährdung durch Hochwasser sind insbesondere die Folgeschäden wie Verstopfung oder Zerstörung von Einlaufbauwerken durch mitgeführtes Geschiebe und Schwemmgut im Detail zu untersuchen. Konkret fordert das ENSI:

„Der deterministische Nachweis für die Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers ist basierend auf den für die Rahmenbewilligungsgesuche neu bestimmten Hochwassergefährdungen (unter Berücksichtigung der ENSI-Forderungen aus den entsprechenden Gutachten) bis zum 30. Juni 2011 zu führen. Dafür gelten folgende Randbedingungen:

- Für den Nachweis der Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers sind nur Ausrüstungen und Strukturen zu kreditieren, deren Hochwasserfestigkeit für die Gefährdungsannahmen nachgewiesen wurde.
- Es ist der Ausfall der externen Stromversorgung zu unterstellen.
- Es ist der deterministische Nachweis zu führen, dass eine Verstopfung oder eine Schädigung der Flusswassereinlaufbauwerke ausgeschlossen werden kann. Falls nicht gezeigt werden kann, dass die Hochwasserentlastung der vorgelagerten Stauanlagen ausreichend dimensioniert ist, darf keine Rückhaltung von Geschiebe und Schwemmgut durch diese Stauanlagen kreditiert werden. Kann der deterministische Nachweis, dass eine Verstopfung oder Schädigung der Flusswassereinlaufbauwerke ausgeschlossen werden kann, nicht erbracht werden, ist der Ausfall der vom Hochwasser betroffenen Kühlwasserfassungen zu unterstellen.
- Es ist nachzuweisen, dass die Anlage in einen sicheren Zustand überführt 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 auf nach einem 10'000-jährlichen Hochwasser zur Verfügung stehen.
- Die Berechnung der aus dem Störfall resultierenden Dosis erfolgt aufgrund der während des Analysezeitraums emittierten radioaktiven Stoffe und richtet sich nach der Richtlinie ENSI-G14.“

1.2 Gegenstand und Grundlage der Beurteilung

Mit Brief vom 30. Juni /5/ hat das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) dem ENSI die KKM-Aktennotiz „Deterministischer Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers“ /6/ eingereicht. Die KKM-Aktennotiz umfasst im Wesentlichen die Gefährdungsannahmen für das 10'000-jährliche Hochwasser und die Auswirkung auf die umliegenden Stauanlagen, auf die Gebäude



des KKM, auf die Verfügbarkeit der Betriebs- und Sicherheitssysteme sowie Massnahmen zur Verbesserung der Verfügbarkeit der Kühlwassersysteme. Die Verfügbarkeit der Kühlwassersysteme wurde unter Berücksichtigung der bis zum geplanten Wiederaufstart der Anlage umgesetzten Nachrüstungen bewertet. Weiter wurde der Sicherheitsnachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers sowie die resultierende Dosis aus dieser Störfallkombination dargelegt.

Da das KKM nach der Erstellung der KKM-Aktennotiz zum deterministischen Nachweis der Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers /6/ noch zwei Freigabeanträge und eine Meldung für die Anlagenänderungen eingereicht hat, wurden diese bei der Beurteilung ebenfalls berücksichtigt. Dabei handelt es sich um die folgenden Dokumente:

- KKM-Freigabeantrag BR-BT-2011/271 SDL/ULRNI: „Massnahmen Ertüchtigung SUSAN-Einlaufbauwerk“ vom 8. August 2011 /7/
- KKM-Freigabeantrag BR-BT-2011/276 SDL/ULRNI: „Zusätzliche Einspeiseleitung SUSAN-Einlaufbauwerk“ vom 10. August 2011 /8/
- KKM-Brief BR-UM-2011/309 BIEUL / TANEL: „Verfügbarkeit der Siebbandmaschine bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser“ vom 30. August 2011 /9/

Die Beurteilung des ENSI stützt sich auf folgende rechtliche Grundlagen ab:

Für den Nachweis des ausreichenden Schutzes sind gemäss Art. 5 Abs. 4 der UVEK-Verordnung über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (SR 732.112.2) /2/ Gefährdungen mit einer Häufigkeit grösser gleich 10^{-4} pro Jahr zu berücksichtigen.

Der Nachweis für das 10'000-jährliche Hochwasser ist gemäss Art. 2 Abs. 1 der UVEK-Verordnung (SR 732.112.2) /2/ anhand deterministischer Störfallanalysen zu führen, indem die Einhaltung der grundlegenden Schutzziele aufgezeigt wird. Zusätzlich zum auslösenden Ereignis ist ein unabhängiger Einzelfehler gemäss Art. 8 Abs. 4 der KEV /13/ zu unterstellen.

Die Auswirkungen des 10'000-jährlichen Hochwassers müssen mit den getroffenen Schutzmassnahmen so begrenzt bleiben, dass das Kernkraftwerk in einen sicheren Anlagenzustand überführt werden kann. Dieser ist erreicht, wenn die Einhaltung der technischen Kriterien gemäss Art. 11 der UVEK-Verordnung (SR 732.112.2) /2/ und im Hinblick auf die Frage der Ausserbetriebnahme die radiologischen Kriterien gemäss Art. 3 der UVEK-Verordnung über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken (732.114.5) /1/ nachgewiesen sind.

Mit der Verfügung vom 01. April 2011 /4/ hat das ENSI zusätzliche Randbedingungen für den deterministischen Sicherheitsnachweis vorgegeben, die im Abschnitt 1 dieser Aktennotiz genannt sind. Zur weiteren Bewertung der deterministischen Störfallanalysen werden die Richtlinien ENSI-A01, ENSI-A08 und ENSI-G14 herangezogen.

Für die Bestimmung der standortspezifischen Gefährdung durch externe Überflutungen sind Anforderungen in der Richtlinie ENSI-A05 "Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang" /14/ vorgegeben.

Eine weitere Beurteilungsgrundlage ist der IAEA Safety Guide No. NS-G-3.5 „Flood Hazard for Nuclear Power Plants on Coastal and River Sites“ /15/.



1.3 Aufbau der Aktennotiz

Das Kapitel 1 der vorliegenden Aktennotiz enthält allgemeine Angaben zum Anlass der Überprüfung, zu den eingereichten technischen Unterlagen sowie den Beurteilungsgrundlagen des ENSI.

In Kapitel 2 wird auf die Neubewertung der Hochwassergefährdung durch das 10'000-jährliche Hochwasser und insbesondere auf die Gefährdungsannahmen, die Auswirkungen auf die für das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) relevanten Stauanlagen und die wesentlichen Auswirkungen auf die Anlage eingegangen. Gegenstand von Kapitel 3 ist der deterministische Sicherheitsnachweis mit besonderem Augenmerk auf die Massnahmen zur Überführung und Halten der Anlage in einen sicheren Zustand sowie auf die Einhaltung der Dosisgrenzwerte. In Kapitel 4 werden eine Zusammenfassung des KKM-Nachweises sowie der Beurteilung des ENSI gegeben. Die im Rahmen der Überprüfung verwendeten Referenzdokumente sind in Kapitel 5 aufgeführt.

2 Neubewertung der Hochwassergefährdung

2.1 Gefährdungsannahmen

Angaben des Betreibers

Das KKM bezieht sich in der Aktennotiz vom 30.06.2011 /6/ für die Bestimmung der Gefährdung der Anlage durch ein 10'000-jährliches Hochwasser auf den Sicherheitsbericht des Ersatzkernkraftwerks Mühleberg (EKKM) /10/. Aufgrund der Bewertung des ENSI in seinem Gutachten zum Rahmenbewilligungsgesuch /11/ geht das KKM für die Gefährdungsannahmen vom im Sicherheitsbericht EKKM als Probable Maximum Flood (PMF) bezeichneten Szenario aus. Diesem war ein Aare-Durchfluss von 1'166 m³/s und ein Saane-Durchfluss von 2'110 m³/s zugrunde gelegt worden.

Für den Standort KKM ergibt sich daraus ein Wasserpegel von 466,25 m ü. M., der vom KKM als abdeckend für die Gefährdung durch ein 10'000-jährliches Hochwasser angesehen wird.

Über diese Betrachtungen hinaus hat das KKM weitere Untersuchungen eingereicht /12/, die unter anderem die Grundlage zu Aussagen über die zu erwartende Dauer der Überflutung des KKM-Geländes bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser bilden.

Beurteilung des ENSI

Bestimmung des 10'000-jährlichen Durchflusses

Das KKM zieht für die Bestimmung der Gefährdung durch ein 10'000-jährliches Hochwasser den Sicherheitsbericht von EKKM /10/ heran. Darin erfolgt die Bestimmung des bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser zu erwartenden Pegelstands anhand verschiedener Ansätze. Diese wurden vom ENSI in seiner Stellungnahme zum Rahmenbewilligungsgesuch EKKM /11/ mit Ausnahme des Probable-Maximum-Flood-(PMF)-Ansatzes insgesamt kritisch beurteilt. Das KKM hat seinem Nachweis /6/ deshalb den vom ENSI positiv bewerteten PMF-Ansatz zugrunde gelegt. Die herangezogenen Durchflusswerte der Aare und Saane sind verglichen mit einer Extrapolation der Messdaten der Pegelstationen Aare, Bern-Schönau und Saane, Laupen, konservativ (um Faktoren von mehr als 1,4 bei der Aare und mehr als 1,3 bei der Saane).

Das vom KKM ausgewählte Szenario berücksichtigt die Überlagerung der mit einem zeitlichen Verzug von 18 Stunden aufeinander treffenden Hochwasserspitzen von Aare und Saane. Es ist für die Abschätzung der mittleren, bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser zu erwartenden



Überflutungshöhe am Standort KKM geeignet. Entsprechend den Vorgehensvorgaben der Verfügung vom 1. April 2011 /3/ wird es vom KKM für die weiteren Nachweise verwendet.

Bestimmung von Wasserständen am Standort KKM

Das vom KKM genutzte Überflutungsmodell basiert auf dem für EKKM entwickelten und im Rahmenbewilligungsverfahren positiv beurteilten Modell. Es erlaubt eine belastbare Bestimmung des zu erwartenden Wasserstands am Standort KKM. Der ausgewiesene lokale Wasserstand von 466,25 m ü. M. entspricht einer Überflutung des Anlagengeländes um bis zu 25 cm. Die Verwendung dieses Werts für die mittlere, bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser zu erwartende Überflutungshöhe am Standort KKM ist aus Sicht des ENSI angemessen.

Die Gefahr von Verklausungen wurde in dem Überflutungsmodell entsprechend den ENSI-Vorgaben im Rahmenbewilligungsgesuch des EKKM berücksichtigt. Demgemäss wurde analog zu der so genannten (n-1)-Regel der Richtlinie "Sicherheit der Stauanlagen" des BWG unterstellt, dass das leistungsfähigste von "n" Entlastungsorganen einer Stauanlage nicht verfügbar ist. Diese Annahme hat potenziell grosse Auswirkungen auf die Überflutungshöhe, da bei vollständiger Verklausung mit einem signifikanten Rückstau bzw. bei vollständiger Verklausung und folgendem Aufbrechen der Verklausung mit einer dem Hochwasser überlagerten Flutwelle zu rechnen wäre. Die Möglichkeit einer vollständigen Verklausung stellt daher einen so genannten Cliff-Edge-Effekt dar. Die Sensibilität des KKM gegenüber solchen Cliff-Edge-Effekten wird im Rahmen des EU-Stresstests überprüft.

Weitergehende Untersuchungen des KKM

Da das KKM die zu erwartende Dauer der Überflutung des KKM-Geländes bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser für die Nachweisführung bezüglich der Beherrschung der Einwirkungen der Überflutung heranzieht, wird im Folgenden auch die ausgewiesene Überflutungsdauer beurteilt.

Das KKM bestimmt die Überflutungsdauer des KKM-Geländes für das Szenario, das abdeckend ist für die lokale Überflutungshöhe bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser. Es basiert auf der Annahme eines 2-tägigen Niederschlagsereignisses mit einem ganzflächigen Blockniederschlag von 250 mm für das Aare- und Saane-Einzugsgebiet /10/. Ein solches Ereignis ist aber nicht notwendigerweise auch abdeckend für die Bestimmung der Überflutungsdauer. So sind Situationen mit einem (pro Zeiteinheit) geringeren, dafür aber länger anhaltenden Niederschlag denkbar, die zu länger andauernden, wenn auch niedrigeren Hochwasserspitzen führen können. Folglich wird das KKM möglicherweise immer noch signifikant, wenn auch um weniger als bis zu einem Pegel von 466,25 cm, dafür aber länger als vom KKM angenommen, überflutet. Die mit maximal 24 Stunden angegebene Höchstdauer einer Überflutung des KKM-Geländes /11/ ist daher aus Sicht des ENSI nicht belastbar und wird bei den Störfallbetrachtungen des ENSI nicht berücksichtigt.

2.2 Auswirkungen auf die Stauanlagen

Angaben des Betreibers

Stauanlage Mühleberg

Die Stauanlage Mühleberg befindet sich ca. 1,5 km oberhalb des KKM und ist gegliedert in zwei Hauptabschnitte. Auf der Ostseite, beginnend beim rechten Widerlager, steht der ca. 70 m lange Wehrbereich, westlich davon hin zum linken Widerlager schliessen auf einer Länge von ca. 150 m das Maschinen- und Umformerhaus an. Bei Ausfall sämtlicher Maschinen wird die Mauerkrone des Staudamms Mühleberg unter dem zugrunde gelegten Hochwasser PMF (Probable Maximum Flood) mit einer Abflussmenge von 1'166 m³/s um 48 cm überströmt. Zusätzlich zum



Überfall über die Stauklappen strömt im Wehrbereich Wasser über die Wehrpfeiler. Die weiter nach oben führenden Brückenpfeiler werden infolge Strömung nur geringfügig belastet. Im Bereich des Maschinenhauses ist damit zu rechnen, dass Wasser durch Gebäudeöffnungen eintritt, Schäden an den Einrichtungen verursacht und unterwasserseitig durch herausgedrückte Fenster direkt, resp. beim Umformerhaus via Vorplatz, in den Auslaufbereich der Turbinen zurückfliesst. Da im Bericht /31/ keine Tragsicherheitsnachweise für die betonierten Fassadenwände des Maschinen- und Umformerhauses erbracht werden, wird zur Berechnung der Kipp- und Gleitsicherheit dieses Abschnitts eine vollständige Zerstörung der Gebäude vorausgesetzt. Anhand von Gegenüberstellungen mit früheren Erdbebeneinwirkungen wird in /31/ gezeigt, dass die Hochwassereinwirkungen im Vergleich zu den Erdbebeneinwirkungen nicht massgebend sind und die Kipp- und Gleitsicherheit des Dammes unter Hochwasser nachgewiesen ist.

Stauanlage Rossens

Die Stauanlage Rossens befindet sich an der Saane rund 39 km oberhalb der Mündung in die Aare und staut den Lac de Gruyère. Die Stauanlage ist aufgrund ihres Retentionsvermögens in der Lage, die Wassermassen infolge eines 10'000-jährlichen Hochwasserereignisses (HQ10'000) aufzunehmen und abzuleiten. Die unterstellten Wassermassen von 1'200 m³/s entsprechen dem gemäss Richtlinie des BWG (heute BFE) „Sicherheit der Stauanlagen“ definierten Sicherheitshochwasser und werden vom KKM einem HQ10'000 gleichgesetzt. Bei einem maximalen Abfluss durch die Ablassorgane von 909 m³/s erreicht der Wasserpegel vor der Stauwand eine maximale Höhe von 678 m ü. M. und liegt somit einen Meter unterhalb der Mauerkrone. Die Stauanlage Rossens kann daher ein Hochwasser HQ10'000 ohne Konsequenzen bewältigen.

Stauanlage Schiffenen

Die Stauanlage Schiffenen liegt an der Saane unterhalb der Anlage Rossens, rund 14 km von der Mündung in die Aare entfernt. Das Bemessungshochwasser (BHQ), welches einem 1'000-jährlichen Hochwasser (HQ1'000) entspricht, wurde für die Stauanlage Schiffenen mit zwei Szenarien berechnet. Vor dem Bau der Stauanlage Rossens bis 1948 lag der Abfluss beim HQ1'000 bei 1'070 m³/s, danach bei 781 m³/s. Multipliziert mit dem Faktor 1,5 resultiert beim Sicherheitshochwasser resp. HQ10'000 unter Berücksichtigung des Einflusses der Stauanlage Rossens ein Abfluss von 1'172 m³/s. Demgegenüber wurde für die Stauanlage Schiffenen eine maximale Abflusskapazität von 1'220 m³/s und nach jüngeren Berechnungen sogar eine Kapazität von 1'500 m³/s nachgewiesen. Die Stauanlage Schiffenen kann daher ein Hochwasser HQ10'000 ohne Konsequenzen bewältigen.

Beurteilung des ENSI

Stauanlage Mühleberg

Im Bericht /31/ zur Standsicherheit der Wehranlage Mühleberg sind Kennzahlen zur Stauanlage Mühleberg, Längs- und Querschnitte des Bauwerks, Gleit- und Kippsicherheitsnachweise, Abschätzungen zu den in der Baustruktur vorhandenen Spannungen sowie eine zusammenfassende Beurteilung zur Sicherheit des Stauwehrs Mühleberg unter Hochwassereinwirkung enthalten.

Auf Anfrage des ENSI wurden die Angaben im Bericht /31/ folgendermassen präzisiert:

- Die Wehranlage Mühleberg ist auf ein Sicherheitshochwasser, das 1,5-fache des 1'000-jährlichen Bemessungshochwassers HQ1'000, ausgelegt und kann die entsprechende Abflussmenge von 975 m³/s ohne Überströmen der Mauerkrone durch die Abflussorgane ableiten. Das dem Bericht zur Standsicherheit /31/ zugrunde gelegte Hochwasser PMF mit einem Abfluss von 1'166 m³/s überwiegt das Sicherheitshochwasser.



- Für die Berechnung der Wasserkote beim Hochwasser PMF wurde angenommen, dass kein Wasser turbiniert wird und dass die Stauanlage auf einer Länge von knapp 37 Laufmetern mit einem Volumen von gut $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ pro Laufmeter oder total ca. $19 \text{ m}^3/\text{s}$ während rund 12 Stunden überströmt wird. Die Abflüsse über den Stauklappen wurden gegenüber der Normalstaukote entsprechend den Überfallhöhen des Wassers erhöht, der Abfluss durch den Grundablass blieb unverändert.
- Für die Gleit- und Kippsicherheitsnachweise in /31/ wurden Last- und Sicherheitsbeiwerte von 1,0 eingesetzt. Somit sind die im Bericht /31/ berechneten Sicherheitsfaktoren als globale Sicherheiten zu verstehen.
- Auf Anfrage des ENSI reichte das KKM den Bericht /32/ ein, in welchem die den Berechnungen /31/ zugrunde gelegten Werte für den Reibungswinkel und für die Kohäsion des Baugrundes aus Sandstein bestätigt werden. Zur Bestimmung dieser Parameter wurden Kernbohrungen und Laborversuche durchgeführt. Momentan werden neue Arbeiten zur Bestimmung der felsmechanischen Parameter für die Wehranlage Mühleberg durchgeführt. Dem ENSI wird der Bericht zu den neuen Untersuchungen eingereicht.
- Das rechte und das linke Widerlager des Wehrs sind eingebettet in Sandstein. Dem Sandstein sind Betonbauten vorgelagert, rechtsseitig ein Pfeiler des Schiffskrans und linksseitig ein Brückenwiderlager. Rechtsseitig ist der Sandstein kaum von Lockergestein überlagert. Seitenerosion wird daher an dieser Stelle nicht berücksichtigt. Zur Berechnung von Geschiebetransporten wird die Seitenerosion am linken Widerlager beim Umformerhaus berücksichtigt.

Die Gleit- und Kippsicherheitsnachweise wurden unter der Annahme geführt, dass sich das Bauwerk resp. Segmente des Bauwerks nur über die Fundamentsohle im Felsuntergrund aus Sandstein abstützen. Eine Abstützung der Wehranlage an den seitlichen Widerlagern und die dadurch mögliche Aufnahme von Kräften in Längsrichtung der Wehranlage wurden nicht kreditiert. Generell ist aus den Berechnungen /31/ ersichtlich, dass das Gleiten entlang einer Gleitfuge im Felsuntergrund und nicht das Kippen der massgebende Versagensmechanismus für die Stauanlage ist. Die Berechnung zur Gleitsicherheit des Wehrbereichs wurde analog zu Berechnungen von 1977 unter Annahme einer sehr niedrigen Kohäsion durchgeführt, die deutlich unter dem im Bericht /32/ definierten Wert liegt. Zur Bestimmung des Gleitwiderstandes für das Umformerhaus, der auch abdeckend ist für das Maschinenhaus, wurde der aktuellere und nach Ansicht des ENSI auch besser abgestützte Kohäsionswert aus dem Bericht /32/ eingesetzt. Es wurde jedoch unterstellt, dass das Umformerhaus - obwohl geschützt durch eine oberwasserseitige Staumauer - bei Hochwasser vollständig zerstört wird. Sein bezüglich Gleitsicherheit positiv wirkendes Eigengewicht wurde somit vernachlässigt. Aus diesen Gründen beurteilt das ENSI die in /31/ ausgewiesenen Gleitsicherheiten als konservativ.

Seitenerosion bei den Widerlagern oder Erosion im Bereich des Unterwassers der Wehranlage wurden in /31/ nicht untersucht. Anhand von Zusatzinformationen des KKM ist ersichtlich, dass die Stauanlage bei den Widerlagern tief im Fels verankert ist, der Fels durch vorgelagerte Betonbauten geschützt wird und die Belastung infolge Überströmens des seitlichen Geländes relativ gering und von kurzer Dauer ist. Im Wehrbereich und im Bereich des Maschinenhauses ist die Flusssohle im Unterwasser durch betonierte Auslaufzonen geschützt. Der Auslauf des Grundablasses ist so weit vom Wehr entfernt, dass eine allfällige Erosion an dieser Stelle nicht zu einer Beeinträchtigung resp. Verkürzung der für die Berechnungen /31/ unterstellten Gleitfugen im Fels führt. Die Standsicherheit der Anlage wird daher weder durch Seitenerosion noch durch Erosion im Unterwasser beeinträchtigt.

Das zugrunde gelegte Hochwasser PMF deckt das 10'000-jährliche Hochwasser ab. Im Gegensatz zu den Gleit- und Kippsicherheitsnachweisen wurde zur Berechnung der Hochwasserkote



PMF unterstellt, dass die Wehranlage unter anderem auch im Bereich des Maschinen- und Umformerhauses nicht überströmt wird. Durch diese Reduktion der überströmten Länge resultiert eine erhöhte Hochwasserkote. Nach Ansicht des ENSI wird die berechnete Wasserkote infolge des betrachteten Hochwassers PMF somit eher überschätzt.

Insgesamt sind der Nachweis der Gleit- und Kippsicherheit sowie die Bestimmung der Wasserkoten unter Berücksichtigung des Hochwassers PMF für die Stauanlage Mühleberg plausibel und angemessen konservativ.

Stauanlagen Rossens und Schiffenen

Die Angaben vom KKM stützen sich bei der Stauanlage Rossens auf die Hochwasseranalyse /33/ und bei der Stauanlage Schiffenen auf die Hochwasseranalyse /34/ ab. Beide Berichte /33/ und /34/ sind auf Anfrage des ENSI bei der Sektion Talsperren des BFE die aktuell gültigen und geprüften Sicherheitsnachweise für Hochwasserereignisse. Das ENSI erachtet die Standsicherheit der Anlagen Rossens und Schiffenen unter Hochwasser daher als nachgewiesen.

Zusammenfassend kommt das ENSI zum Schluss, dass die Stauanlagen Mühleberg, Rossens und Schiffenen einem 10'000-jährlichen Hochwasser standhalten. Ein Bruch der Stauanlagen ist für den deterministischen Nachweis des KKM zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers somit nicht zu unterstellen. Andere Hochwasserszenarien, d. h. Szenarien mit geringerer oder höherer Eintretenswahrscheinlichkeit sind nicht Gegenstand der ENSI-Verfügung /4/ und sind folglich bei den Standsicherheitsnachweisen für die Stauanlagen auch nicht zu berücksichtigen.

2.3 Auswirkungen auf die Anlage

Bei den Auswirkungen durch Hochwasser auf die Anlage stand in der Vergangenheit die Überflutungshöhe auf dem Gelände mit dem Eindringen von Wasser in die Gebäude und den damit verbundenen Systemausfällen bzw. der Schutz der Systeme im Vordergrund. Neue Erkenntnisse bei den Folgewirkungen einer Überflutung mit ihren Auswirkungen auf die Wärmeabfuhr an die Aare erforderten eine Neubewertung. Insbesondere war davon die Beurteilung einer potentiellen Verstopfung der Kühlwasserversorgung der Sicherheits- und Notstandssysteme betroffen.

2.3.1 Gebäudeschutz

Angaben des Betreibers

Die für den sicheren Anlagenbetrieb wichtigen Gebäude erhalten bei einer Überschwemmung ihre Integrität. Das Reaktorgebäude, das SUSAN-Notstandsgebäude und das Zwischenlager sind für eine äussere Überflutung bis 472 m ü. M. ausgelegt und werden deshalb nicht beeinträchtigt.

Für das Pumpenhaus hat das KKM bis Ende Juni 2011 Vorrichtungen zur Errichtung von mobilen Hochwasserwänden installiert, mit denen ein Teil des Pumpenhauses gegen Überflutung bis zu einem Pegel von 466,90 m ü. M. gesichert ist. Etwa eindringendes Leckagewasser wird mittels mobiler Sumpfpumpen abgepumpt. Nach Angaben vom KKM /16/ dauert der Aufbau der mobilen Hochwasserwände mit zwei Personen der Betriebsfeuerwehr etwa 2 Stunden.

Bei den für die Störfallbeherrschung nicht relevanten Gebäuden kann ab einer Fluthöhe von 466 m ü. M. Wasser über die Gebäudeöffnungen eindringen. Das KKM legt dar, dass wegen der ergriffenen temporären Hochwasserschutzmassnahmen die einströmende Wassermenge klein



ist. Wo notwendig, werden mobile Sumpfpumpen installiert, deren Stromversorgung über mobile Notstromaggregate sichergestellt wird. Das KKM geht davon aus, dass es in den nicht relevanten Gebäuden nur zu Wasserständen in den Untergeschossen von einigen Zentimetern kommt.

Beurteilung des ENSI

Gemäss Sicherheitsbericht 2010 des KKM /18/ wird die Überflutung des Anlagengeländes bis zu einer Flutwellenkote von +6m (472 m ü. M.) durch das SUSAN-Notstandssystem beherrscht. Die Dichtheit der sicherheitsrelevanten Gebäude (Reaktor-, SUSAN- und Aufbereitungsgebäude) ist durch die Auslegung gewährleistet und war bei deren Errichtung Teil der Auslegung /19/. Sollte trotzdem Leckagewasser in das Reaktorgebäude eindringen, verfügt dieses über notstromversorgte Sumpfpumpen (Strang 1+2) und über das notstandsversorgte Containmentrückpumpensystem. Die auslegungsgemässe Funktion der Sicherheitssysteme im Reaktorgebäude und dessen Integrität beurteilt das ENSI damit für ein Überflutungsereignis als nachgewiesen. Das SUSAN verfügt je Division über eine Sumpfpumpe. Die Integrität des SUSAN-Gebäudes und die auslegungsgemässe Funktion der darin befindlichen Sicherheitseinrichtungen sind damit ausreichend gegen eindringendes Wasser bei einem Überflutungsereignis geschützt.

Aufgrund der neuen Erkenntnisse zur Verstopfung der SUSAN-Kühlwasserversorgung (siehe Abschnitt 2.3.2) hat das KKM zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers die Möglichkeit geschaffen, Teile des Pumpenhauses durch mobile Hochwassersperrn (bis 466,9 m ü. M.) und mobile Sumpfpumpen zu schützen. Das ENSI beurteilt die Massnahmen als geeignet und im Anforderungsfall als kurzfristig durchführbar. Mit diesen Massnahmen stehen im KKM bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser mit der Funktion des Hilfskühlwassersystems die Hilfskühlwasserpumpen zur Verfügung.

Die Abdichtung und Zugänglichkeit der übrigen Gebäude haben für die Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers nach Beurteilung des ENSI keine wesentliche Bedeutung. Die allenfalls in diesen Gebäuden notwendigen Operateurmassnahmen beschränken sich auf die -4,9-m-Ebene des Maschinenhauses und können vor einer möglichen Überflutung des betroffenen Bereiches durchgeführt werden.

Die temporären Hochwasserschutzmassnahmen bei den für die Störfallbeherrschung nicht relevanten Gebäuden werden vom ENSI für die Störfallbetrachtungen nicht kreditiert.

2.3.2 Gefährdung durch Verstopfung der Kühlwasserversorgung

Angaben des Betreibers

In /6/ stellt das KKM die Auswirkungen eines 10'000-jährigen Hochwassers auf die Kühlwasserversorgung dar. Dabei werden die beiden Fälle mit verfügbarem und mit ausgefallenem Hilfskühlwassersystem behandelt.

Verfügbares Hilfskühlwassersystem

Die Kühlwasserversorgung des Hilfskühlwassersystems erfolgt über das Hauptkühlwassereinlaufbauwerk. Dieses verfügt über einen etwa 7,5 m vom Grobrechen in die Aare hinreichenden Einlauf, der durch eine ins Aarewasser reichende Betonplatte gegen Schwemmholz geschützt ist. Einströmendes Kühlwasser fliesst nach Passieren des Grobrechens (18 m x 2 m) in eine Kammer, die mit drei notstromversorgten Siebbandmaschinen im Pumpenhaus verbunden ist. Von den Siebbandanlagen fliesst das Kühlwasser in eine gemeinsame Kammer, von der die Haupt- und Hilfskühlwasserpumpen versorgt werden. Im Normalbetrieb sind alle drei Siebbandmaschinen durchströmt. Nach den Hilfskühlwasserpumpen fliesst das Kühlwasser über die Verbraucher oder/und einen Bypass in das Auslaufbauwerk und kann von dort aus auch vom



SUSAN-Kühlwassersystem angesaugt werden. Zur Reinigung des Grobrechens verfügt das KKM ausserhalb des Pumpenhauses über zwei notstromversorgte Rechenreinigungsmaschinen.

Bei abgeschaltetem Hauptkühlwasser reduziert sich der vom Hilfskühlwassersystem angesaugte Volumenstrom auf ca. 3 % bis 5 % im Vergleich zum Volumenstrom im Leistungsbetrieb.

Für die weiteren Betrachtungen zur Verstopfung geht das KKM davon aus, dass das Hauptkühlwasser bereits abgeschaltet ist. Das KKM kommt auf der Basis der Analysen in /24/ zu dem Ergebnis, dass Geschiebe, insbesondere Kies, das Hauptkühlwassereinlaufbauwerk nicht oder nur in sehr geringem Masse erreicht. Gehölz, welches bei einem Hochwasser mobilisiert wird, treibt oberhalb des Grobrechens. Wasserpflanzen sind über den gesamten Einlaufquerschnitt gleichmässig verteilt und werden ab einer Strömungsgeschwindigkeit von $< 0,4$ m/s /24/ zum grossen Teil im Rechen (bei nur 45 % freier Querschnitt, Strömungsgeschwindigkeit 0,053 m/s) zurückgehalten. Die Menge der Wasserpflanzen, die stromabwärts vom Wehr mobilisiert wird, ist begrenzt. Wasserpflanzen, die oberhalb des Wohlensees freigesetzt werden, erreichen wenn überhaupt erst nach mehreren Tagen die Anlage. Kleinere organische Feststoffe werden von den Siebandmaschinen aufgenommen. Eine Beeinträchtigung des einströmenden Kühlwassers ist deshalb sehr unwahrscheinlich. Auch Feinsedimente ($< 0,15$ mm) werden ohne Beeinträchtigung der Funktion des Hilfskühlwassersystems bis zum Auslauf transportiert und beeinträchtigen deshalb die Kühlwasserversorgung nicht.

Das KKM erläutert in /6/, dass die Versorgung des SUSAN-Notstandsystems mit Kühlwasser im Sinne einer Defense-in-Depth-Strategie so lange wie möglich über das auslaufende Wasser des Hilfskühlwassersystems erfolgt. Solange die Hilfskühlwasserpumpe arbeitet, werden ca. 560 kg/s Wasser ausgeschoben, wodurch das SUSAN-Einlaufbauwerk freigehalten bleibt /24/. Es können deshalb weder Sedimente noch Pflanzenreste in die Rohrleitungen gelangen.

Ausgefallenes Hilfskühlwassersystem

Bei ausgefallener Hilfskühlwasserpumpe stehen für die Kühlwasserversorgung des SUSAN-Notstandsystems vier verschiedene Einströmpfade zur Verfügung.

Einströmpfad 1: Hauptkühlwasserauslaufbauwerk

In der Regel wird über das Hauptkühlwasserauslaufbauwerk der grösste Teil des für das SUSAN-Notstandsystem benötigten Kühlwassers angesaugt. Bei ausgefallener Hilfskühlwasserpumpe kann das KKM bei einem starken Hochwasser nicht ausschliessen, dass im Verlauf des Ereignisses Geschiebemengen mobilisiert werden, die ausreichen, um das Hauptkühlwasserauslaufbauwerk zu verstopfen. Als ungünstigsten Fall für einen Transport von Geschiebe mit Ablagerungen auf dem Hauptkühlwasserauslaufbauwerk hat das KKM eine Kombination aus dem PMF der Aare und dem HQ100 der Saane identifiziert. Versuche der Versuchsanstalt für Hydraulik, Hydrologie und Glaziologie der ETH-Zürich /17/ haben gezeigt, dass sich das Geschiebe auf der flussabwärts gerichteten Seite des Hauptkühlwasserauslaufbauwerks ablagern und es damit verstopfen kann. Die Sedimenttransportberechnungen für den betrachteten Fall ergeben eine Auflandung der Sohle im Bereich des Hauptkühlwasserauslaufbauwerks von 40 cm. Zur Bestimmung der Unsicherheiten bei der hergeleiteten Geschiebehöhe hat das KKM die Seitenerosion um den Faktor 1,5 erhöht sowie die mittlere Korngrösse des Geschiebes variiert. Die Sensitivitätsanalyse zeigte, dass die Geschiebehöhe unter Berücksichtigung der Unsicherheiten unter 70 cm bleibt.

Das KKM modifiziert aufgrund dieser neuen Erkenntnisse das Hauptkühlwasserauslaufbauwerk in der Revision 2011 und installiert drei Ansaugrohre (Periskoprohre) an zwei räumlich getrennten Positionen. Damit kann auch bei einer Ablagerung von Geschiebe auf dem Hauptkühlwasserauslaufbauwerk ein ausreichender Zulauf von Kühlwasser gewährleistet werden /20/. Für



die Auslegung der Ansaugrohre ist das KKM von einer Geschiebehöhe von 70 cm ausgegangen. Die Unterkante der Ansaugrohre befindet sich weitere 30 cm über der maximal aufgelandeten Sohle. Die Ansaugrohre liegen über dem bestehenden Hauptkühlwasserauslaufbauwerk und sind der Strömung ausgesetzt. Jede Ansaugstelle wird deshalb durch drei massive Träger vor Schwemmholz geschützt.

Das KKM bewertet die Höhe der Ansaugrohre als ausreichend, um den Kühlwasserzulauf für das SUSAN-Notstandssystem über das Hauptkühlwasserauslaufbauwerk bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser mit einem konservativ angesetzten Geschiebetransport zu gewährleisten.

Der Eintrag von Feinsediment und organischem Material in das Hauptkühlwasserauslaufbauwerk wurde vom KKM im Bericht der AREVA /24/ dargelegt. Danach findet keine unzulässige Ablagerung von Feinsedimenten statt. In den Zulaufrohren (2 x Ø1800 mm) bleibt auch nach 500 Stunden ein genügend grosser Querschnitt offen. Die Querschnittsreduktion beläuft sich bei einem Bezug aus 65 m Abstand auf 12,6 % bzw. 22,7 % bei 31 m. Frisch freigesetztes Ufergehölz schwimmt an der Wasseroberfläche und beeinträchtigt die Wasserentnahme in der Nähe der Sohle nicht.

Für die Betrachtungen des Einflusses von organischem Material wird angenommen, dass während 48h etwa 3000 m³ Schlack über den Grundablass der Stauanlagen Mühleberg mobilisiert werden. Dies führt zu einer maximalen Konzentration von organischem Material von 27 mg/l. Das KKM legt dar, dass sich der grösste Teil der Schwebstoffe und Pflanzenreste in den Rohrleitungen und der Kammer des Hauptkühlwasserauslaufbauwerks ablagern. Lokal begrenzte Verstopfungen werden ausgeschlossen, weil die Ablagerungen bei einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa 0,8 m/s remobilisiert werden.

Einströmpfad 2: Wassernachfluss aus dem Hauptkühlwassereinlaufbauwerk

Ab einem Pegel der Aare von 463 m ü. M. reicht die Höhendifferenz zwischen dem Hauptkühlwassereinlaufbauwerk und den Kammern des SUSAN-Kühlwassereinlaufsystems aus, um die Kühlwasserversorgung durch den passiven Zulauf von Aarewasser durch die Kondensator-Bypassleitungen sicherzustellen. Das KKM konnte in Versuchen /21/ zeigen, dass die Bypassleitungen gefüllt bleiben und dass die Höhendifferenz ausreicht, um den Druckverlust in der Leitung zu überwinden.

Einströmpfad 3: Wassernachfluss über die Objektschutzabdeckungen

Ab einem Pegel der Aare von 465,5 m ü. M. werden die Objektschutzabdeckungen der Kammern des Hauptkühlwasserauslaufbauwerks geflutet. Daraus ergibt sich eine weitere Möglichkeit, das SUSAN-Kühlwassersystem passiv mit Kühlwasser zu versorgen. Das KKM schätzt in /24/ ab, dass die Hälfte des Einlaufquerschnitts der Öffnungen in den Objektschutzabdeckungen ausreichende Wassermengen zur Versorgung des SUSAN-Notstandsystems liefern. Bei tieferen Aarepegeln ist nach Entfernen der Objektschutzabdeckungen auch eine direkte Bespeisung mit mobilen Pumpen möglich. Eine ausreichende Bespeisung mit mobilen Pumpen wurde in einen Versuch /21/ im August 2011 nachgewiesen.

Einströmpfad 4: Nachgerüstete Einspeisestelle für mobile Pumpen

Bei allen vorgängig beschriebenen Kühlwasserversorgungspfaden wird das Kühlwasser im SUSAN-Kühlwassersystem mit einem Rechen von groben Verunreinigungen befreit. Ein Zusetzen dieses Rechnens durch bis dorthin transportiertes Feinsediment wird vom KKM aufgrund des Rechenabstandes von 10 mm ausgeschlossen. Bezüglich des Zusetzens durch organisches Material führt das KKM aus, dass es sich dabei meist um verrottete Pflanzenreste handelt. Diese könnten sich teilweise auf dem SUSAN-Rechen ablagern. Dadurch steigt jedoch die Druckdifferenz über den Rechen. Ab einer gewissen Druckdifferenz werden gemäss dem KKM die Pflan-



zenreste durch den Rechen durchgedrückt. Die Pflanzenreste werden dann ggf. von den SUSAN-Kühlwasserpumpen zerkleinert und durch das System gespült. Somit kann gemäss dem KKM eine Beeinträchtigung der Kühler sowie ein Verstopfen des SUSAN-Rechens vom KKM ausgeschlossen werden.

In der Revision 2011 wird auf dem Kraftwerksareal eine etwas erhöhte, fest installierte Einspeisestelle errichtet. Die Einspeisestelle besteht aus vier Anschlussstutzen (zwei sind ausreichend) mit einer Verbindungsleitung zum SUSAN-Kühlwassersystem, die hinter dem SUSAN-Rechen endet. Dadurch wird eine Bespeisung des SUSAN mit Kühlwasser durch mobile Pumpen auch bei verstopftem SUSAN-Rechen ermöglicht. Diese Modifikationen des SUSAN-Einlaufs während der Revision 2011 ist im Nachweis des KKM zum 10'000-jährlichen Hochwasser /6/ noch nicht berücksichtigt.

Kühlwasserausläufe des SUSAN und des Hilfskühlwassers

Bei einer beginnenden Verstopfung der Kühlwasserausläufe des SUSAN-Notstandssystems oder des Hauptkühlwasserauslaufes und Betrieb der jeweiligen Kühlwasserpumpen wird die Verstopfung freigespült. Ist dies nicht möglich, öffnen sich die Kanalabdeckungen durch den Gegenstand. Ein Abfluss ist dann über die geöffneten Kanalabdeckungen in die Aare in jedem Fall gewährleistet.

Beurteilung des ENSI

Verfügbares Hilfskühlwassersystem

Das Hauptkühlwassereinlaufbauwerk mit den laufenden Hilfskühlwasserpumpen stellt auch nach Auffassung des ENSI einen teilweise redundanten, diversitären Strang für die Kühlwasserversorgung des SUSAN-Notstandssystems bei der Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers dar.

Das Hauptkühlwassereinlaufbauwerk bezieht sein Kühlwasser nicht sohenah und ist damit nach Auffassung des ENSI nicht wesentlich durch Geschiebe gefährdet. Eine bis ins Wasser reichende Betonplatte schützt den Einlauf und den Rechen des Hauptkühlwassereinlaufbauwerks vor Schwemholz. Wenn alle Einrichtungen zur Reinigung funktionstüchtig sind und wenn das Hauptkühlwasser abgeschaltet ist, was eine Reduktion der Kühlwassermenge auf 3 % - 5 % (nur Hilfskühlwassersystem in Betrieb) bedeutet, kann nach Einschätzung des ENSI eine Gefährdung des Hauptkühlwassereinlaufbauwerks durch Verstopfung nahezu ausgeschlossen werden.

Da die Kühlwassermenge bereits beim Abfahren der Anlage durch Abschalten einer Hauptkühlwasserpumpe stark reduziert ist, reduziert sich nach Auffassung des ENSI bereits in dieser Phase die Gefährdung durch Verstopfung. In dieser Phase sind alle Einrichtungen zur Reinigung noch funktionsbereit, und auch manuelle Reinigungsmassnahmen sind möglich, weil der Bereich des Rechens noch gut zugänglich ist. Ab einem Aarepegel von 464,9 m ü. M. steht die Rechenreinigungsanlage nicht mehr zur Verfügung. Gemäss Angaben des Betreibers wird dieser Pegel 3,7 Stunden nach erfolgter Reaktorabschaltung erreicht. Das Hauptkühlwasser kann kurze Zeit später abgeschaltet werden. Mit dem Abschalten der Hauptkühlwasserpumpe wird nach Auffassung des ENSI der Ausfall der Rechenreinigungsanlage zumindest für einen mittelfristigen Zeitraum kompensiert, weil nur noch eine geringe Menge Kühlwasser (3 % - 5 %) angesaugt wird.

Je nach Störfallablauf kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Zeitspanne zwischen Ausfall der Rechenreinigungsanlage und Abschalten aller Hauptkühlwasserpumpen grösser ist als vom KKM unterstellt. Das ENSI hat bereits bezüglich betrieblich zu ergreifender Massnahmen eine Forderung in der Inspektion vom 02.08.2011 /16/ erhoben, wie z. B. das situationsbedingte präventive Abschalten der Hauptkühlwasserpumpen.



Aufgrund der geringen Ansauggeschwindigkeit beim Betrieb einer Hilfskühlwasserpumpe erwartet auch das ENSI, dass der Grobrechen nicht vollständig durch Schwemmgut verstopft wird.

Auch nach Ausfall der Rechenreinigungsanlage reinigen die Siebbandanlagen das Kühlwasser bis auf Rückstände kleiner als 1,5 mm. Bei einem Verstopfen der Siebe werden die Bypassklappen geöffnet. Nach Angaben vom KKM hat es im Jahre 2011 ein Öffnen der Bypassklappen bei Vollast gegeben, das aber keine Auswirkung auf den Vollastbetrieb hatte. Verursacht wurde der erhöhte Anfall von feinem Schwemmgut durch fehlerhaft geöffnete Tore der Stauanlage Mühleberg. Die Verunreinigung konnte durch eine erhöhte Reinigungsstufe der Siebbandanlagen beseitigt werden. In Zukunft wird die Wehranlage das KKM bei ähnlichen Vorfällen informieren. Das KKM kann dann die Siebbandanlagen auf die höchste Reinigungsstufe stellen und vor Ort Operateure bereitstellen, um ggf. sofort manuelle Reinigungsmaßnahmen durchführen zu können.

Die Betriebserfahrung aus dem oben genannten betrieblichen Ereignis zeigt, dass die Kühlswassersysteme sehr robust sind. Ein Öffnen der Bypassklappen und damit ein Eintrag von Material kann jedoch zumindest bei vollem Kühlmitteldurchsatz nur dann ausgeschlossen werden, wenn die höchste Reinigungsstufe der Siebbandanlagen zur Verfügung steht. Nach Einschätzung des ENSI entschärft sich die Problematik bei den zu betrachtenden, stark reduzierten Durchsatzraten von 3 % - 5 %. Trotzdem geht das ENSI in seiner Störfallbetrachtung davon aus, dass für eine langfristig zuverlässige Kühlwasserversorgung über die Hilfskühlwasserpumpen funktionstüchtige Siebbandanlagen notwendig sind.

Das KKM hat in der Revision 2011 geplant, die elektrischen Einrichtungen der Siebbandanlage höher zu legen. Damit muss ein Ausfall der Siebbandanlagen erst ab einem Pegel von 466,9 m ü. M. /9/ unterstellt werden. Mit den Massnahmen an den Siebbandanlagen hat sich nach Beurteilung des ENSI die Zuverlässigkeit der Versorgung mit Hilfskühlwasser wesentlich verbessert.

Ausgefallenes Hilfskühlwassersystem

Einströmpfad 1: Hauptkühlwasserauslaufbauwerk

Die Nachrüstung von drei zusätzlichen Ansaugrohren (Periskoprohre) in den SUSAN-Einlauf soll die Kühlwasserversorgung über das Hauptkühlwasserauslaufbauwerk bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser sicherstellen. Unter Berücksichtigung der unterstellten Gefährdungsannahmen für das ermittelte ungünstigste Überflutungsereignis (PMF/Aare und HQ100/Saane) hat das KKM dargelegt, dass die Auslegung einen Geschiebetransport berücksichtigt, der auch Unsicherheiten abdeckt.

Aufgrund der homogenen Zusammensetzung und der fehlenden vertikalen Klüftung des Molassegesteins an den Hängen der Aare im Bereich zwischen den Niederungen Talmatt und Brättele ist bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser der Aare nicht mit relevanten Materialabgängen an der rechtsufrigen Felsnase zu rechnen. Eine massgebliche Rutsch- bzw. Steinschlaggefährdung durch die Molassefelsnase ist auch beim Versagen der Stauanlage Mühleberg eher ausgeschlossen, da die Erosion anderswo stattfinden würde. Zusätzliche relevante Geschiebemengen durch Hangabrutschungen erachtet das ENSI deshalb als unwahrscheinlich.

Das ENSI erachtet aufgrund der Sensitivitätsrechnungen zur Auswirkung variiertes Seitenerosion und mittlerer Korndurchmesser die gewählte Höhe der Ansaugrohre als konservativ. Allfällige Unsicherheiten bei der Bestimmung der zu erwartenden Geschiebemenge sind mit dem gewählten Sicherheitszuschlag mit grosser Wahrscheinlichkeit abgedeckt. Das hydraulische Verhalten des Einlaufsystems und die Auswirkungen des Geschiebes sind nach Auffassung des ENSI mit den durchgeführten Versuchen /17/ und /20/ ausreichend untersucht, um ein Verstopfen unter den angesetzten Randbedingungen mit hoher Wahrscheinlichkeit auszuschliessen.



Mit der Nachrüstung von drei Ansaugrohren ist sichergestellt, dass auch Unsicherheiten hinsichtlich der räumlichen Verteilung des Geschiebes oder die Zerstörung eines einzelnen Ansaugrohres abgedeckt sind und dass die Kühlwasserversorgung über das Hauptkühlwasserauslaufbauwerk trotzdem gesichert ist.

Mit den Darlegungen zur Ablagerung von Feinsedimenten und organischen Material in den Zulaufleitungen (2 x Ø1800 mm, 65 m und 31 m Länge) zeigt das KKM für die unterstellten Einwirkzeiten, dass ein ausreichender Schutz gegen Verstopfen der Leitungen unterstellt werden kann. Die Verfügbarkeit dieses Kühlwasserpfades ist unabhängig vom Pegelstand der Aare.

Einströmpfad 2: Wassernachfluss aus dem Hauptkühlwassereinlaufbauwerk

Der Wassernachfluss aus dem Hauptkühlwassereinlaufbauwerk bietet ab einem Pegel von 463 m ü. M. eine zusätzliche Möglichkeit, das SUSAN-Notstandssystem mit Kühlwasser zu versorgen. Damit steht auch bei Ausfall der Hilfskühlwasserpumpen ein alternativer Versorgungspfad zur Verfügung. Bleibt das Hauptkühlwassereinlaufbauwerk frei, ist nach Beurteilung des ENSI ohne eine aktive Einrichtung die Kühlwasserversorgung des SUSAN mit sehr hoher Zuverlässigkeit gesichert. Dies setzt jedoch voraus, dass das Hauptkühlwassereinlaufbauwerk verstopfungsfrei gehalten werden kann. Wie im vorhergehenden Abschnitt dargelegt, wurde dies vom ENSI nur bei funktionstüchtigen Siebbandanlagen unterstellt, die bis zu einem Pegel von 466,9 m ü. M. funktionstüchtig bleiben. Bei einem Ausfall des Diesels 090 fallen die Siebbandanlagen ebenfalls aus. In diesem Fall kann nach Beurteilung des ENSI auch der Wassernachfluss aus dem Hauptkühlwassereinlaufbauwerk nicht mehr kreditiert werden.

Einströmpfad 3: Wassernachfluss über die Objektschutzabdeckungen

Die vom KKM beschriebene Versorgung des SUSAN-Notstandssystems über die Öffnungen der Objektschutzabdeckungen der Kammer des Hauptkühlwasserauslaufes ermöglicht einen weiteren passiven Zufluss von Kühlwasser, wenn das Gelände ausreichend überflutet ist (Pegel über 465,5 m ü. M.). Das ENSI beurteilt diesen Versorgungspfad als nicht sehr zuverlässig, weil sich die Reinigung im Falle einer Verstopfung der Öffnungen aufgrund der Zugänglichkeit als schwierig erweisen könnte. Das Bespeisen des SUSAN-Systems mit mobilen Pumpen über die Objektschutzabdeckungen beurteilt das ENSI aus Zugänglichkeitsgründen ebenfalls als schwierig.

Einströmpfad 4: Nachgerüstete Einspeisestelle für mobile Pumpen

Die auslegungsgemässe Funktion des SUSAN-Rechens ist nach Beurteilung des ENSI aufgrund der Sedimentablagerungsprozesse in den Rohren und der Konstruktion gewährleistet. Aufgrund der vom KKM eingereichten Unterlagen kann aber die Gefahr einer Verstopfung des SUSAN-Rechens durch biologisches Material nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Die Nachrüstung einer zusätzlichen Einspeisemöglichkeit durch vier Anschlussstutzen, welche in eine Einlaufkammer hinter dem SUSAN-Rechen münden, ermöglicht die Kühlwasserversorgung des SUSAN-Notstandssystems mit mobilen Pumpen auch bei einer allfälligen Verstopfung des SUSAN-Rechens. Eine Beeinträchtigung des SUSAN-Kühlwassersystems durch Verunreinigungen wird vom ENSI ausgeschlossen, weil die Saugkörbe der mobilen Pumpen kleinere Öffnungen (Ø5 mm) /29/ haben als der SUSAN-Rechen (10 mm).

Insgesamt können vier Pumpen angeschlossen werden. Da zwei Pumpen zur Bespeisung ausreichen, ist das Betriebspersonal bei Verstopfung einzelner Pumpenansaugkörbe (zwei pro Pumpe) in der Lage, diese alternierend zu reinigen, ohne dass die Kühlwasserversorgung unterbrochen werden muss. Der Standort der Einspeisestelle befindet sich entfernt von der Aare auf dem Anlagengelände und ist nach Beurteilung des ENSI auch bei einem 10'000-jährlichen



Hochwassers noch gut zugänglich. Bei vier grossen mobilen Pumpen /29/ auf dem Anlagenge-lände wird auch der Ausfall einer Pumpe beherrscht. Das ENSI beurteilt diese Nachrüstung zur Versorgung des SUSAN-Einlaufs mit Kühlwasser als eine zusätzliche Einrichtung, mit der die Kühlwasserversorgung des SUSAN mit hoher Zuverlässigkeit im Rahmen von AM-Massnahmen gewährleistet werden kann. Der Standort der Pumpen kann je nach Pegelstand variiert werden, so dass dieser Einspeisepfad auch bei Pegeln über 466,9 m ü. M. zur Verfügung steht.

Kühlwasserausläufe des SUSAN und des Hilfskühlwassers

Das ENSI beurteilt die Aussagen des Betreibers als nachvollziehbar, dass entweder die Auslaufbauwerke durch den Betrieb der Kühlwassersysteme (CWS und Hilfskühlwasser) freigehalten werden oder dass bei Verstopfung die Kanalabdeckungen durch den Gegendruck geöffnet werden. Der durch die Kühlwassersysteme zu erzeugende Gegendruck ist unabhängig von der Pegelhöhe, weil das Kühlwasser mit gleicher Höhe einen Vordruck an den Pumpen bewirkt. Den Abfluss des Kühlwassers beurteilt das ENSI aufgrund der Darstellung des Betreibers als gewährleistet.

Zusammenfassende Beurteilung der Kühlwasserversorgung

Das ENSI schreibt der Defence-In-Depth-Strategie bei der Gewährleistung der Kühlwasserversorgung eine hohe Bedeutung zu. Die Nachwärmeabfuhr über das Hilfskühlwassersystem bzw. der alleinige Betrieb einer Hilfskühlwasserpumpe (mit erster Priorität) bietet einen hohen Schutz gegen Verstopfung des Hauptkühlwasserauslaufbauwerks und hält so den wichtigsten Kühlwassereinlaufweg des SUSAN-Systems mit hoher Zuverlässigkeit frei.

Eine Verstopfung der anderen Einströmpfade für die SUSAN-Kühlwasserversorgung kann erst nach Ausfall der Bespeisung durch die Hilfskühlwasserpumpen beginnen. Der Einströmpfad über das Hauptkühlwassereinlaufbauwerk ist mit der geplanten Ertüchtigung der Siebbandanlage bis zu einem Pegel von 466,9 m ü. M. sichergestellt. Mit der beantragten Nachrüstung von drei zusätzlichen Ansaugrohren wurde eine Schwachstelle hinsichtlich geschiebebedingter Verstopfung des Hauptkühlwasserauslaufbauwerks beseitigt. Damit steht ein zweiter, vom Pegelstand der Aare unabhängiger Einströmpfad für die SUSAN-Kühlwasserversorgung zur Verfügung.

Gesamthaft kommt das ENSI zu dem Ergebnis, dass für jeden einzelnen Pfad der Kühlwasserversorgung des SUSAN-Notstandsystems eine hohe Sicherheit gegen Verstopfung nachgewiesen wurde.

Verstopfungen der Zulaufstränge oder des Rechens des SUSAN-Notstandsystems sind nach Einschätzung des ENSI unwahrscheinlich, können aber deterministisch nicht völlig ausgeschlossen werden. Für diesen Fall ist, nach Beurteilung des ENSI, mit der Nachrüstung der vier Einspeisestutzen, die hinter dem Rechen einspeisen, die Kühlwasserversorgung des SUSAN-Notstandsystem gewährleistet.

Die Vielzahl und Diversität der Kühlwasserpfade gewährleisten nach Beurteilung des ENSI die Kühlwasserversorgung des SUSAN-Notstandsystems bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser. Mit den beantragten Nachrüstungen können mit grosser Wahrscheinlichkeit auch deutlich über dem Erwartungswert 10'000-jährlicher Hochwasser liegende Pegelstände sicher beherrscht werden.



3 Deterministischer Sicherheitsnachweis

3.1 Überführung der Anlage in den sicheren Zustand

Angaben des Betreibers

Betrieblicher Ablauf

Bei einer Gefährdung durch Hochwasser wird im KKM zum Schutz der Anlage ein grosser Teil der Massnahmen, entsprechend den Anweisungen des KKM, in Abhängigkeit vom Pegel der Aare ergriffen, bevor direkte Auswirkungen auf die Anlage auftreten können.

Die Notfallmassnahmen des KKM werden durch einen Hinweis auf ein bevorstehendes Hochwasser vom Wasserwirtschaftsamt des Kantons Bern und darüber hinaus durch Alarmierungen bei erhöhten Aarewassermengen (340 m³/s in Thun oder 400 m³/s in Bern) initiiert.

Ab einem Pegel von **463 m ü. M.** (T= -12h) beginnt die Überflutung der Strassen zur REWAG, zudem ist die Zufahrt zum Pumpwerk und die Notzufahrt zum KKM von Westen her nur noch erschwert möglich /25/. Erste Massnahmen leitet das KKM ab einem Pegel von 463 m ü. d. M. nach /25/, /27/ ab. Diverse Hochwasserschieber werden geschlossen, und der Pegelstand vor dem Pumpenhaus wird dauernd überwacht.

Bei Erreichen des Pegelstands **463,5 m ü. M.** (T= -8h) vor dem Pumpenhaus wird das REWAG stromlos geschaltet. Zudem startet zu diesem Zeitpunkt die Überwachung von eventuellem Wassereintritt in nicht sicherheitstechnisch wichtige Gebäude /25/. Das Hochreservoir (max. 500 m³) soll nach Ausfall des REWAG-Grundwasserbrunnens mittels Tankfahrzeug bespeist werden /6/. Eine gesicherte Wassermenge vom 300 m³ für das Löschwassernetz des KKM ist konstruktiv immer gewährleistet.

Ab einem Pegel von **464 m ü. M.** (T= -4h) erfolgt ein Aufgebot eines Ereignisstabs bzw. eines Notfallstabs unter Einbeziehung der KKM-Feuerwehr und des Unterstützungspersonals. Es ist vorgesehen, die Betriebsfeuerwehr zu beauftragen (T=-3h), den Gebäudeschutz zu erstellen und Feuerwehrrpumpen für eine eventuelle SUSAN-Einspeisung bereitzustellen.

Erreicht der Aare-Pegel **464,5 m ü. M.** (T= 0h), erfolgt nach Aussage des KKM in /6/ die Reaktorabschaltung. Zu diesem Zeitpunkt seien noch alle Systeme verfügbar und die Abkühlung (55 °C/h) erfolgt über die Hauptwärmesenke. Die ordnungsgemässe Füllstandshöhe des Kühlwassers im Reaktor soll durch das Speisewasser- oder durch die Sicherheitseinspeisesysteme garantiert werden. Die zu ergreifenden Massnahmen werden im Dokument /25/ geregelt. Der Kühlwassereintritt wird vor Ort ab jetzt dauernd überwacht.

Bei einem Aare-Pegel von **464,9 m ü. M.** (T= 3,7h) steht die Rechenreinigungsanlage nicht mehr zur Verfügung.

Bei einem Pegel von **465 m ü. M.** (T= 4h) soll das Abkühlen des Reaktors über die Hauptwärmesenke abgeschlossen sein. Das Hauptkühlwasser ist ausser Betrieb. Das Hauptkühlwassereintrittsbauwerk soll gemäss /26/ in OFFEN-Stellung verriegelt werden. Der Betrieb der Siebandmaschinen soll im „Langsamgang“ mit Abspritzung erfolgen /27/.

Ab einer Pegelhöhe von **465,40 m ü. M.** (T= 7h) befindet sich der Reaktor im Kühlbetrieb mit STCS/ HiKW, und die Niveauhaltung wird durch die Kondensatpumpen gewährleistet.

Das Arealniveau wird bei einem Pegel von **466 m ü. M.** (T= 13h) erreicht. Das Reaktorgebäude und das SUSAN-Gebäude werden auf Dichtheit überwacht /25/.



Bei **466,25 m ü. M.** (T= 15h) wird die maximale Pegelhöhe nach PMF erreicht. Ab diesem Pegel wird gemäss /6/ der Ausfall der externen Stromversorgung unterstellt. Das KKM wird dann über die Notstrom- und die Notstandsstromversorgung mit elektrischer Energie versorgt. Das KKM gibt an, dass der Aarepegel nach etwa 24 h wieder unter **466 m ü. M.** (T=39 h) sinkt.

Systemverfügbarkeiten

Das KKM beschreibt in /6/ zwei Szenarien, wie die Aare bei einem PMF die Kühlwasserversorgung beeinflusst. Im ersten Fall betrachtet das KKM die Verfügbarkeit des Hilfskühlwassersystems als gegeben. Im zweiten Fall wird im Sinne einer Einzelfehlerbetrachtung der Ausfall des Notstromdiesels 090 und damit des Hilfskühlwassersystems unterstellt.

Verfügbares Hilfskühlwassersystem

Die mobilen Hochwasserschutzwände gewährleisten die Funktion des Hilfskühlwassersystems bis zu einem Pegel von 466,9 m ü. M. Mit den Massnahmen in der Revision 2011 bleiben die Siebbandanlagen auch während des Hochwassers betriebsbereit (nicht in /6/ berücksichtigt). Die Sicherheitseinspeisesysteme (CS, CRD) und die Abblaseventile (SRV) der Stränge 1 und 2 stehen für die Abführung der Nachzerfallswärme aus dem Reaktor in den Torus zur Verfügung. Der Transport der Nachwärme vom Torus in die Aare erfolgt über das Abfahr- und Toruskühlsystem (STCS) und das Hilfskühlwassersystem (HiKW).

Die Informations- und Überwachungssysteme des Haupt- und des SUSAN-Kommandoraums, das Prozessvisualisierungssystem (PVS), die Raumstrahlungs-, Aerosol- und Kaminabluftaktivitäts-Überwachung stehen ebenfalls zur Verfügung.

Die Notstromversorgung der Stränge 1 und 2 erfolgt über den Notstromdiesel 090. Die Belastung des Notstromdiesels im zu betrachtenden Betriebszustand beträgt 75 %. Aus dem verfügbaren lokalen Dieselvorrat von 6'970 kg ergibt sich eine Laufzeit ohne Nachfüllung von ca. 33 Stunden. Für die Nachfüllung steht ein Tankfahrzeug mit einem Fassungsvermögen ca. 11'000 l Diesel zur Verfügung. Aufgrund der Anordnung der Einfüllstutzen kann die Nachfüllung bis zu einem Pegelstand von 467 m ü. M. sichergestellt werden.

Ausgefallenes Hilfskühlwassersystem

Als begrenzender Einzelfehler wird der Ausfall des Notstromdiesels 090 unterstellt. Dies führt zum Ausfall der Sicherheitssysteme der Stränge 1 und 2.

Die Sicherheitsfunktionen werden nun durch das SUSAN-Notstandssystem gewährleistet. Die Sicherheitseinspeisesysteme (ALPS, RCIC) und die Abblaseventile (PRV, SRV) der Stränge 3 und 4 stehen für die Abführung der Nachzerfallswärme aus dem Reaktor in den Torus zur Verfügung. Die Wärmeabfuhr aus dem Torus erfolgt über das Notstand-Toruskühlsystem (TCS) und das SUSAN-Kühlwassersystem (CWS) an die Aare.

Die Informations- und Überwachungssysteme des Haupt- und des SUSAN-Kommandoraums, das Prozessvisualisierungssystem (PVS), die Raumstrahlungs-, Aerosol- und Kaminabluftaktivitäts-Überwachung stehen wie im vorhergehenden Fall ebenfalls zur Verfügung. Die SUSAN-Kühlwasserversorgung erfolgt je nach Verfügbarkeit über die in Kapitel 2.3 dargelegten Pfade.

Die Notstandsstromversorgung erfolgt über die SUSAN-Notstromdiesel 190 oder 290. Die Belastung der Notstromdiesel im zu betrachtenden Betriebszustand beträgt 50 %. Aus dem verfügbaren lokalen Dieselvorrat von 20'500 kg ergibt sich eine Laufzeit ohne Nachfüllung von ca. 350 Stunden.



Beurteilung des ENSI

Betrieblicher Ablauf

Im KKM werden in Abhängigkeit von Pegel der Aare Massnahmen ergriffen, die eine wesentliche Voraussetzung zur beschriebenen Beherrschung des Ereignisses darstellen. Diese Massnahmen sind in den Betriebs- und Störfallvorschriften vorgeschrieben.

Die in /6/ unterstellte Reaktorschnellabschaltung und das Kaltfahren der Anlage ab einem Pegel der Aare von 464,5 m ü. M. liegt in der Entscheidungskompetenz des Notfallstabes. Solange die nachfolgend beschriebenen Sicherheitssysteme funktionstüchtig bleiben, besteht nach Beurteilung des ENSI eine gewisse Flexibilität für die beschriebene frühzeitige Auslösung der Reaktorabschaltung, es werden aber zusätzliche Sicherheitsmargen hinsichtlich des zeitlichen Verhaltens der Anlage gewonnen.

Im Gegensatz zum KKM geht das ENSI bereits ab einem Pegel von 466.00 m ü. M. von einem Ausfall der externen Stromversorgung aus, weil es ein Versagen der Schutzmassnahmen im Bereich der 6-kV-Schaltanlage unterstellt. Hinsichtlich der Verfügbarkeit der Sicherheitssysteme hat diese Annahme keine Auswirkung. Einzig die Notstromdiesel müssen zwei Stunden länger mit Treibstoff versorgt werden.

Systemverfügbarkeiten

Die beiden vom KKM beschriebenen Szenarien werden vom ENSI wie folgt beurteilt:

Verfügbares Hilfskühlwassersystem

Im KKM ist es mit den Sicherheitseinspeisesystemen (CS, CRD) und den Abblaseventilen (SRV) der Stränge 1 und 2 möglich, die Nachzerfallswärme aus dem Reaktor in den Torus zu transportieren und von dort über das Abfahr- und Toruskühlsystem (STCS) und das Hilfskühlwassersystem (HiKW) an die Aare abzugeben. Beim Kaltfahren der Anlage (Reaktorkühlmitteltemperatur kleiner als 160 °C) wird das Reaktorwasser direkt vom Abfahr- und Toruskühlsystem gekühlt.

Die zum Überführen der Anlage in den sicheren Zustand (kalt abgestellt) benötigten Systeme der Stränge 1 und 2 stehen gemäss der Beurteilung des ENSI bei Funktionstüchtigkeit des Notstromdiesels 090 und des Hauptkühlwassereinlaufbauwerks auch im Notstromfall zur Verfügung. Ein Kaltfahren der Anlage ist auch bei Ausfall eines der beiden Stränge gewährleistet (Einzelfehler bei einer Komponente des anderen Stranges).

Die Notstromversorgung durch den luftgekühlten Notstromdiesel 090 ist unabhängig von einer Kühlwasserversorgung und bis zu einer Fluthöhe von 470 m ü. M. gewährleistet. Die zugehörige Gleichstromversorgung mit ihren Batterien und Nachspeisungen ist entsprechend der Beurteilung des ENSI ebenfalls bis zu einem Pegel von 470 m ü. M. überflutungssicher angeordnet. Damit bleiben auch die Sicherheitseinspeise- und Nachwärmeabfuhrsysteme der Stränge 1 und 2, die sich im Reaktorgebäude befinden, betriebsbereit.

Der Tank des Notstromdiesels 090 muss nach etwa 33 Stunden nachgefüllt werden. Nach Beurteilung des ENSI ist dies beim Erwartungswert des Pegels eines 10'000-jährlichen Hochwassers noch möglich.

Da für eine Einzelfehlerbetrachtung der Ausfall des Notstromdiesels 090 zu unterstellen ist, kann das Szenario mit verfügbarem Hilfskühlwasser für den Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers nicht herangezogen werden.



Ausgefallenes Hilfskühlwassersystem

Beim Ausfall des Notstromdiesels 090 als unterstellten Einzelfehler stehen das Hilfskühlwasser und die Stränge 1 und 2 nicht mehr zur Verfügung. Dann gewährleistet das SUSAN-Notstandssystem mit den Strängen 3 und 4 das Überführen der Anlage in den sicheren Zustand (kalt abgestellt). Alle dafür benötigten Sicherheitssysteme (SRV/PRV, ALPS, RCIC, CWS, ICWS, CRS) werden über die SUSAN-Diesel mit Notstrom versorgt und sind einzelfehlersicher. Die Notstandsstromversorgung durch die SUSAN-Diesel sowie die zugehörige Gleichstromversorgung (Batterien) sind im SUSAN-Gebäude angeordnet und gewährleisten die Notstandsstromversorgung der Stränge 3 und 4 bis zu einem Pegel von 472 m ü. M. Dieser Pegel liegt weit über dem zu erwarteten Wasserstand des 10'000-jährlichen Hochwassers und bietet deshalb hinsichtlich der Beherrschung des Hochwassers sehr grosse Reserven.

Die Dieselvorräte des SUSAN erfüllen die Anforderung gemäss Verfügung (siehe Kapitel 1) an eine Notstandsstromversorgung über 72h um ein Mehrfaches. Die SUSAN-Notstromdiesel werden mit Kühlwasser (CWS) gekühlt und sind damit von der SUSAN-Kühlwasserversorgung abhängig. Die Herausforderungen beim Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers sind somit die durch das Hochwasser möglicherweise verursachten Verstopfungen der Kühlwassereinläufe. Mit den in Kapitel 2.3.2 dargelegten unterschiedlichen Pfaden der Kühlwasserversorgung des SUSAN-Notstandsystems wurde nach Beurteilung des ENSI nachgewiesen, dass eine gleichzeitige Verstopfung aller verfügbaren Kühlwassereinläufe ausgeschlossen werden kann. Das ENSI beurteilt die Funktionstüchtigkeit des SUSAN-Notstandsystems bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser als nachgewiesen.

3.2 Einhaltung der Dosisgrenzwerte

Angaben des Betreibers

Im Falle eines Hochwassers wird gemäss Bericht des KKM /6/ die Anlage rechtzeitig abgeschaltet, bevor das Areal und wichtige Gebäude überflutet werden. Beim Abschalten stehen gemäss dem Szenario „Ausgefallenes Hilfskühlwassersystem“ alle erforderlichen Systeme für die Beherrschung eines 10'000-jährlichen Hochwassers zur Verfügung. Die betrieblichen Grenzwerte entsprechen dem Abgabereglement des KKM und werden eingehalten.

Ein Brennstoffschaden oder eine Freisetzung von Aktivität aus dem Kühlmittel ist unter diesen Bedingungen nicht zu erwarten. Eine besondere radiologische Analyse ist somit nicht erforderlich.

Das KKM hat auch die Möglichkeit untersucht, ob in das Aufbereitungsgebäude eindringendes Wasser dort gelagerte radioaktive Stoffe ausspülen und mitführen kann. Die wesentlichen Behälter, die Aktivität enthalten können, sind die Harzsammelbehälter der Kondensatreinigungsanlage, die Sammelbehälter für die Harze der Clean-up- und Brennelementbecken-Reinigungsfilter und der Apparateentwässerungsbehälter. Die genannten Behälter befinden sich im Untergeschoss des Aufbereitungsgebäudes in geschlossenen Räumen.

Wie in Abschnitt 2.1 von /6/ gezeigt, sind in den Untergeschossen der KKM-Gebäude bei einem PMF nur geringfügige Wasseransammlungen zu erwarten. Ein vollständiges Ausspülen der gesamten Aktivität aus diesem Bereich ist somit eine extrem konservative Annahme. Im Sinne einer einhüllenden Abschätzung wurde für den Fall, dass die gesamte Aktivität in den genannten Behältern ausgespült und an die Aare abgegeben wird sowie unter Berücksichtigung weiterer konservativer Annahmen (z. B. keine Intervention zur Beeinflussung der Verzehrgewohnheiten, reduzierte Durchflussmenge) eine Folgedosis für die Bevölkerung von maximal 0,3 mSv für die am



stärksten betroffene Bevölkerungsgruppe bestimmt /28/. Dieser Wert liegt weit unterhalb des zulässigen Dosisgrenzwertes von 100 mSv.

Beurteilung des ENSI

Das 10'000-jährliche Hochwasser ist als Störfall der Kategorie 3 (ohne Einzelfehler) zugeordnet, sodass der maximal zulässige Dosiswert 100 mSv beträgt.

Das ENSI teilt die Einschätzung vom KKM, dass im abdeckenden Szenario „Ausgefallenes Hilfskühlwassersystem“ alle erforderlichen Systeme für die Beherrschung eines 10'000-jährlichen Hochwassers zur Verfügung stehen. Ein Brennstoffschaden oder eine Freisetzung von Kühlmittelinventar ist unter diesen Bedingungen nicht zu erwarten. Eine besondere radiologische Analyse für den Nachweis der Einhaltung des Dosisgrenzwertes der Störfallkategorie 3 ist somit auch nach Einschätzung des ENSI nicht erforderlich.

Die in der radiologischen Analyse /28/ beschriebenen Quellen radioaktiver Stoffe aufgrund von eindringendem Wasser ins Maschinenhaus und in das Aufbereitungsgebäude berücksichtigen die laut Sicherheitsbericht maximal vorhandenen Aktivitätsinventare in offenen Behältern. Das Vorgehen zur Ermittlung der nuklidspezifischen Anteile an diesem Inventar ist akzeptabel. Weil nicht zu erwarten ist, dass z. B. Harze und Schwebstoffe, die sich in den Behältern bereits auf dem Boden abgesetzt haben, durch das in das Gebäude eindringende Wasser vollständig ausgespült werden, teilt das ENSI die Auffassung des KKM, dass die Annahme einer Freisetzung der gesamten, maximal in offenen Behältern des Aufbereitungsgebäudes enthaltenen Aktivität in die Aare eine sehr konservative Annahme darstellt.

Das ENSI hat die Dosisberechnungen des KKM mit dem angegebenen Quellterm aus /28/ überprüft und kommt auf ähnliche Dosiswerte wie das KKM. Das ENSI teilt daher die Schlussfolgerung des KKM, dass durch Ausschwemmung radioaktiver Stoffe keine höhere Dosis als 0,3 mSv zu erwarten ist.

Die radiologischen Darlegungen zum Überflutungsstörfall lassen den Schluss zu, dass der zulässige Dosiswert von 100 mSv eingehalten werden wird.

4 Zusammenfassung

Mit Brief vom 1. April 2011 /4/ hat das ENSI verfügt, dass das KKM den deterministischen Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers zu erbringen hat. Das KKM hat diesen Nachweis, der in der Aktennotiz des KKM /6/ dargelegt ist, dem ENSI mit Brief vom 30. Juni 2011 /5/ fristgerecht eingereicht. Mit der Aktennotiz legt das KKM dar, dass unter konservativen Gefährdungsannahmen der Schutz der relevanten Gebäude und Einrichtungen bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser gewährleistet bleibt, dass die Überführung der Anlage in den sicheren Zustand nachgewiesen ist und dass der gesetzliche Dosiswert für diesen Störfall weit unterschritten bleibt. Das KKM hat diesen Nachweis unter der Randbedingung geführt, dass der Hauptkühlwasserauslauf, der vom Notstandssystem als Einlauf genutzt wird, durch Geschiebe verstopft.

Das ENSI hat für den Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers die unterstellte Gefährdung auf der Grundlage der Analysen für das vormals geplante neue Kraftwerk EKKM geprüft. Das ENSI beurteilt das Szenario hinsichtlich des maximalen Aare-Durchflusses von 1'166 m³/s (PMF, Probable Maximum Flood) sowie der maximalen Überflutungshöhe von 466,25 m am Standort des KKM unter Berücksichtigung des Einflusses der Saane als abdeckend. Das Vorgehen entspricht den Nachweisvorgaben.



Zusammenfassend kommt das ENSI nach eigener Prüfung und unter Berücksichtigung der Angaben der Sektion Talsperren des Bundesamtes für Energie zum Ergebnis, dass die Stauanlagen Mühleberg, Rossens und Schiffenen einem 10'000-jährlichen Hochwasser standhalten. Ein Bruch der Stauanlagen ist für den deterministischen Nachweis des KKM zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers somit nicht zu unterstellen.

Das ENSI hat den Nachweis zur Kühlwasserversorgung des SUSAN auf der Grundlage der eingereichten Unterlagen und den Dokumenten zu den beantragten Nachrüstungen, die bis zum Wiederanfahren der Anlage durchgeführt sein sollen, überprüft.

Die wesentlichen Pfade der Kühlwasserversorgung sind entsprechend der Beurteilung des ENSI die Pfade über das Hauptkühlwasser-Einlaufbauwerk, der Pfad über den Hauptkühlwasserauslauf mit nachgerüsteten Ansaugrohren und der Pfad über die nachgerüsteten Einspeisestutzen zur direkten Bespeisung des SUSAN-Kühlwassersystems mit mobilen Pumpen. Die beiden letztgenannten Kühlwasserpfade bieten hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit Reserven in Bezug auf den zu erwartenden Aarepegel bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser.

Die Vielzahl und Diversität der nachgerüsteten Kühlwasserpfade sowie die Möglichkeit von Reinigungsmassnahmen an den Ansaugkörben der mobilen Pumpen gewährleisten nach Beurteilung des ENSI in jedem Fall die Kühlwasserversorgung des SUSAN-Notstandsystems.

Mit dem Nachweis der Funktionstüchtigkeit des SUSAN-Notstandsystems bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser ist das Kaltfahren der Anlage auch bei einem beliebigen Einzelfehler nach Beurteilung des ENSI nachgewiesen. Ein störfallbedingter Brennstoffschaden oder eine Freisetzung von Kühlmittelinventar ist unter diesen Bedingungen nicht zu erwarten.

Zusätzlich wurde vom KKM die Freisetzung von Radioaktivität aus nicht gegen eine Überflutung ausgelegten Gebäuden untersucht. Das KKM kommt in seiner Analyse zu einer Folgedosis für die Bevölkerung von maximal 0,3 mSv. Dieser Wert wird vom ENSI als konservative Abschätzung akzeptiert.

Das ENSI kommt zusammenfassend zum Ergebnis, dass das KKM den Nachweis der Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers unter den vom ENSI gesetzten Randbedingungen erbracht hat, wobei hinsichtlich des zu erwartenden Aarepegels bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser grosse Reserven bestehen.

Die bei diesem Störfall resultierende Strahlendosis in der Umgebung liegt deutlich unter dem für diesen Störfall nach Strahlenschutzverordnung /35/ zulässigen Dosiswert von 100 mSv für nicht-beruflich strahlenexponierte Personen.



5 Referenzen

- /1/ UVEK SR 732.114.5, Verordnung des UVEK über die Methodik und Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken, Verordnung vom 16. April 2008 (Stand 1. Mai 2008)
- /2/ UVEK SR 732.112.2, Verordnung des UVEK vom 17. Juni 2009 über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen, Verordnung vom 17. Juni 2009 (Stand am 1. August 2009)
- /3/ ENSI-Brief, FLP/SAN - 11/11/003, Verfügung: Massnahmen aufgrund der Ereignisse in Fukushima, 18. März 2011
- /4/ ENSI-Brief SGE/FLP - 11/11/003, "Verfügung: Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung", 1. April 2011
- /5/ KKM-Brief BR-KL-2011/225, Stellungnahme zur Forderung 3.2 der Verfügung vom 1. April 2011, 30. Juni 2011
- /6/ KKM, Aktennotiz AN-UM-2011/062, „Deterministischer Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers“, 30. Juni 2011
- /7/ KKM-Freigabeantrag BR-BT-2011/271 SDL/ULRNI: „Massnahmen Ertüchtigung SUSAN-Einlaufbauwerk“ vom 8. August 2011
- /8/ KKM-Freigabeantrag BR-BT-2011/276 SDL/ULRNI: „Zusätzliche Einspeiseleitung SUSAN-Einlaufbauwerk“ vom 10. August 2011
- /9/ KKM-Brief BR-UM-2011/309 BIEUL / TANEL: „Verfügbarkeit der Siebbandmaschine bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser“ vom 30. August 2011
- /10/ Resun AG, TB-042-RS080011 – v02.00, „Sicherheitsbericht Ersatz Kernkraftwerk Mühleberg“, Beilage zum Rahmenbewilligungsgesuch vom Dezember 2008
- /11/ ENSI, „Gutachten des ENSI zum Rahmenbewilligungsgesuch der EKKM AG“, 20. September 2010
- /12/ Flussbau AG, „Kernkraftwerk Mühleberg, Auswirkungen eines Hochwasser HQ10'000 der Aare auf die SUSAN-Wasserfassung“, 24. Juni 2011
- /13/ KEV 2004, Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (KEV), Verordnung, vom 10. Dezember 2004 (Stand am 1. Januar 2009)
- /14/ ENSI-A05/d 2009, Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen, Januar 2009
- /15/ International Atomic Energy Agency (IAEA); "Flood Hazard for Nuclear Power Plants on Coastal and River Sites", Safety Guide NS-G-3.5, March 2004
- /16/ ENSI-Bericht , Inspektion vom 02.08.2011 in Vorbereitung
- /17/ Bericht der Versuchsanstalt für Hydraulik, Hydrologie und Glaziologie der ETH-Zürich, „Kernkraftwerk Mühleberg, Ergebnisse der hydraulischen Modellversuche“, Prof. Dr. Robert Boes, 28. Juni 2011
- /18/ KKM, Sicherheitsbericht 2010, Dezember 2010
- /19/ HSK 11/250, Gutachten zum Gesuch um eine unbefristete Betriebsbewilligung und Leistungserhöhung für das Kernkraftwerk Mühleberg, Oktober 1991



- /20/ Bericht der Versuchsanstalt für Hydraulik, Hydrologie und Glaziologie der ETH-Zürich, „Kernkraftwerk Mühleberg, Ergebnisse der hydraulischen Modellversuche - Periskop mit Anprallschutz“, VAW 4299/3 Prof. Dr. Robert Boes, 18. August 2011
- /21/ KKM-Aktennotiz AM-UM-2011/080, Bewertung der Versuche zur Verfügbarkeit des SUSAN-Einlaufbauwerks, 29 Juli 2011
- /22/ KKM, Technischer Bericht vom 08.08.2001 „KKM Massnahmen Wasserfassung SUSAN“
- /23/ BKW, Technischer Bericht vom 24.06.2011 „Kernkraftwerk Mühleberg; Auswirkungen eines Hochwassers HQ10'000 der Aare auf die SUSAN-Wasserfassung“
- /24/ Bericht Fa. AREVA NP, Erlangen "Bewertung der gesicherten Kühlwasserversorgung aus der Aare bei 10'000-jährigem Hochwasser unter Berücksichtigung möglicher Verschlammung", PESSG/2011/de/0060 Rev. A vom 30. Juni 2011
- /25/ Entscheidungshilfe für Hochwasserereignisse der Aare beim KKM, AN-AS-07/005 Rev. 3, 18.07.2011
- /26/ Betriebs-Störfallanweisung „Ausfall Hilfskühlwasser“ BSA-B-013
- /27/ Betriebs-Notfallanweisung „Überflutung Kraftwerksareal“ BNA-001, Stand 29.06.2011
- /28/ Aktennotiz AN-SU-2011/053 „Berechnung von Folgedosen aus externen Überflutungsszenarien“ vom 23.06.2011
- /29/ ENSI-Inspektion vom 19.08.2011 „Saugkörbe der mobilen Pumpen des KKM“, Inspektionsbericht in Vorbereitung
- /30/ ENSI-Brief vom 5. Mai 2011, Verfügung: Stellungnahme zu Ihrem Bericht vom 31. März 2011
- /31/ Bericht KKM, „Standicherheit der Wehranlage infolge Extremhochwasser PMF“, Version 1.0 vom 15. Juni 2011
- /32/ Bericht Geotechnisches Institut, „Bernische Kraftwerke AG, Wasserkraftwerk Mühleberg, Bestimmung von Felskennziffern“, GT. 1989 HA/SE vom 11. Juli 1980
- /33/ Bericht Lombardi SA, „Barrage de Rossens, Sécurité de l'aménagement en cas de crues“, Bericht-Nr. 481.5-R-9 vom April 1993
- /34/ Bericht Bureau d'Etudes Dr Ing. G. Lombardi, „Barrage de Schiffenen, Contrôle de la crue de projet et des organes de décharge“, Bericht-Nr. 481.5-R-1 D6 vom Januar 1987
- /35/ SR 814.501, Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22. Juni 1994 (Stand am 1. Januar 2011)