



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 89

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:

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

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 m<sup>3</sup>/s und ein Saane-Durchfluss von 2'110 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/s, danach bei 781 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/s. Demgegenüber wurde für die Stauanlage Schiffenen eine maximale Abflusskapazität von 1'220 m<sup>3</sup>/s und nach jüngeren Berechnungen sogar eine Kapazität von 1'500 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> 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.