



ENSI, CH-5200 Brugg

**Einschreiben**  
Kernkraftwerk  
Leibstadt AG  
Nukleare Sicherheit  
5325 Leibstadt

ENSI AUS:

Klassifizierung: keine

15. Feb. 2017

Verteiler:



Ihr Zeichen: [REDACTED]  
Unser Zeichen: [REDACTED]  
Sachbearbeiter: [REDACTED]  
Brugg, 14. Februar 2017

### **Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung**

Sehr geehrte Damen und Herren

Nach Abschluss der Inspektionen zu den Befunden mit erhöhter Korrosion und den hierauf basierenden Analysen zur Definition von Abhilfemassnahmen hat das KKL mit dem Schreiben vom 12. Dezember 2016 dem ENSI den neuen Freigabeantrag<sup>1</sup> für die Änderung an der Beladung des Reaktorkerns für den Zyklus 33 (Beladeplan 20161028-1100) zugestellt.

Das Verfahren zum Wiederauffahren zum Zyklus 33 wird in 3 Schritten durchgeführt:

- Freigabeantrag<sup>1</sup> und Freigabe für die Beladung des Reaktorkerns<sup>2</sup>,
- Freigabeantrag<sup>1</sup> und Freigabe des Beladeplanes (dieser Brief, Bewertung der Dryouts),
- Freigabeantrag für den Leistungsbetrieb (offen) und Freigabe des Leistungsbetriebes (offen).

#### **1 Antrag des Betreibers und gestaffeltes Freigabeverfahren**

Dieser Freigabeantrag<sup>1</sup> umfasst folgende Dokumentation:

- a. Die Beladung des Reaktorkerns.
- b. Die qualitätsgesicherte Herstellung neuer Brennelemente (BE) und der spezifikationsgerechte Zustand der Steuerelemente (SE).
- c. Die erforderlichen Nachweise für die Einhaltung der Schutzziele während des BE-Wechsels.
- d. Die Änderung der Kernbeladung.



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

- e. Die Aufhebung der Leistungsbeschränkung vor dem Wiederauffahren für die Dauer der SCRAM-Zeitmessung von maximal 14 Stunden.
- f. Die sicherheitstechnischen Nachweise für den Reaktorbetrieb.
- g. Die Beurteilung und Bewertung der Problematik zur erhöhten Korrosion.

Erläuterung des ENSI: In dieser Freigabe für den Beladeplan und das Wiederauffahren bis 5% der Nennleistung werden die Punkte d, e, f und g bewertet, was die Dokumentation der Inspektionen zu den Befunden mit erhöhter Korrosion und die hierauf basierenden Analysen zur Definition von Abhilfemassnahmen umfasst. Der Freigabeantrag zur Aufnahme des Leistungsbetriebes wird in einem dritten Freigabeschritt bewertet. Die Freigabe für die Beladung des Reaktorkerns, in der sich das ENSI zu den Punkten a, b und c geäußert hatte, wurde am 19. Januar 2017 erteilt<sup>2</sup>.

Das KKL beantragt die Freigabe für die Änderung der Kernbeladung und die Aufhebung der 5%-Leistungsbeschränkung vor dem Wiederauffahren für die Dauer der SCRAM-Zeitmessung von maximal 14 Stunden. Gemäss den rechtlichen Grundlagen wurden die erforderlichen Nachweise für die Einhaltung der Schutzziele während des BE-Wechsels und die sicherheitstechnischen Nachweise für den Reaktorbetrieb der vorläufigen Kernbeladung eingereicht. Die eingereichten Nachweise von [REDACTED] umfassen:

- Reload Licensing Submittal<sup>3</sup> (RLS);
- Kernbeladung<sup>4</sup>;
- Analyse schneller<sup>5</sup> und langsamer<sup>6</sup> Transienten;
- Bestimmung des CPR-Sicherheitslimits<sup>7</sup> (SLMCPR);
- Eingabedaten für die Transientenanalysen mit dem Programm BISON<sup>8, 9, 10</sup>;
- Analyse des Steuerstabauswurf<sup>11</sup> (CRDA).

Die eingereichten Nachweise von [REDACTED] umfassen:

- die Analyse der Brennstabauslegung<sup>12</sup>.

Die durch das KKL bzw. die Axpo erstellten Analysen und Überprüfungen umfassen:

- Prüfung und Bewertung der Kernausslegung durch die Axpo<sup>13</sup>;
- Nachweis der Abschaltsicherheit beim Umladen<sup>14</sup>;
- Auswertung der BE-Kasten-Verbiegung<sup>15</sup>;
- Berechnung des Bor-10-Abbrandes der Steuerstäbe<sup>16</sup>;
- Sicherheitsbewertung der SCRAM-Zeitmessungen<sup>17</sup>.

Die Unterlagen von [REDACTED] wurden vom KKL geprüft.

Die aktuellen Revisionen der Grundlagenberichte für die neue Kernbeladung [REDACTED] die die Ergebnisse der generischen Sicherheitsnachweise zusammenfassen und die Anforderungen an die zyklusspezifischen Nachweise festhalten, wurden dem ENSI eingereicht.

Das ENSI unterzog den Freigabeantrag einer Grobprüfung<sup>29</sup>, aus der sich Nachforderungen ergaben. Die zusätzlichen Dokumente wurden vorgelegt<sup>54 bis 60</sup>.

Der Betreiber hat den Freigabeantrag zur neuen Kernbeladung gemäss den rechtlichen Anforderungen Art. 65 Abs. 3 des KEG, Artikel 40 Abs.1 Bst. b KEV sowie den Präzisierungen in den Richtlinien ENSI-A04, Abschnitt 6.2.1 und ENSI-G20 gestellt.



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

## **2 Rechtliche Grundlagen und Anforderungen an die Antragsunterlagen**

Die Änderungen an der Beladung des Reaktorkerns im Rahmen des BE-Wechsels sind gemäss Art. 40 Abs. 1 Bst. b Ziff. 1 KEV freigabepflichtig und gemäss Art. 40 Abs. 2 KEV sind die Untertagen R1/R2 nach Anhang 4 einzureichen:

- R1: Auslegungsgrundlagen:
  - Brennelementauslegung;
  - provisorische Kernauslegung;
  - Definition der Störfälle und der Sicherheitsgrenzwerte.
- R2: Vorläufige Sicherheitsanalysen:
  - Definition der wichtigen Rahmenbedingungen;
  - Analyse der auslegungsbestimmenden Betriebszustände und Störfälle und deren Auswirkungen auf die Anlage und Umgebung.

Die Richtlinie ENSI-A04 präzisiert im Kapitel 6.2.1 die Anforderungen der KEV und definiert ein zwei-stufiges Verfahren bei der Freigabe der Änderung an der Kernbeladung. Die erforderlichen Unterlagen wurden mit <sup>1</sup> eingereicht. Für den Zyklus 33 wurde für die erste Stufe die Beladung des Reaktorkerns separat freigegeben<sup>2</sup>, sodass für Zyklus 33 insgesamt drei Freigabestufen bestehen.

Die folgenden Punkte der Richtlinie ENSI-A04 wurden bereits mit der Freigabe der Beladung des Reaktorkerns<sup>2</sup> in der ersten Stufe behandelt:

- Nachweis der qualitätsgesicherten Herstellung der neu zugeladenen BE;
- Nachweise zur Erfüllung der Schutzziele während des BE-Wechsels.

In der hier zutreffenden zweiten Stufe werden die Unterlagen zu diesen Themen behandelt:

- vorläufiger Beladeplan;
- sicherheitstechnische Beurteilung des neuen Reaktorkerns (vorläufige Sicherheitsanalysen).

Neben der Vollständigkeit der Unterlagen und deren Konformität mit den Richtlinien ENSI-A04, ENSI-G20 und ENSI-B03 wird der Inhalt auf die Erfüllung der Sicherheits-, Betriebs- und Auslegungsgrenzen geprüft. Der Reaktor wurde bereits nach Erteilung der Freigabe für die Beladung des Reaktorkerns<sup>2</sup> mit den BE beladen. Dem ENSI sind keine Abweichungen bei der Beladung bekannt, sodass die mit dem Freigabeantrag<sup>1</sup> vorgelegten Unterlagen bereits die endgültige Kernauslegung und Sicherheitsanalysen darstellen.

Aus Gründen der Klarheit sieht es das ENSI als erforderlich an, in den Kapiteln 3 und 4 dieser Freigabe einzelne Anforderungen besonders hervorzuheben. Diese Anforderungen befinden sich in den betreffenden Kapiteln unter „Bewertungsmaßstäbe“.

## **3 Befunde zum Dryout und zu den Fingerfedern**

### **3.1 Sachverhalt aus Sicht des Betreibers**

Aufgrund des während des Zyklus 31 (2015) als Dryoutbefund identifizierten Brennstabschadens aus Zyklus 30 waren betriebliche Massnahmen für den Zyklus 32 festgelegt worden, deren Wirksamkeit in der Jahreshauptrevision (JHR) 2016 durch visuelle Inspektionen überprüft wurde. Die Inspektionen zeigten jedoch, dass die betrieblichen Massnahmen ihren Zweck nicht erfüllt hatten.

Daraufhin wurde das Inspektionsprogramm erweitert, um Hypothesen für die Ursachen von Dryout belegen zu können und geeignete Massnahmen gegen das Auftreten von Dryout im Zyklus 33 definieren



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

zu können. Für diesen iterativen Prozess wurde das Inspektionsprogramm sukzessive erweitert und durch Messungen der Oxidschichtdicke mit der Methode F-SECT ergänzt.

### 3.1.1 Inspektionsumfang und visuelles Erscheinungsbild

*Inspektionen an [REDACTED] aufgrund des Dryout-Phänomens<sup>34</sup>*

Insgesamt wurden in den JHR2015 und JHR2016 204 Brennelemente des Typs [REDACTED] visuell inspiziert. Zu Beginn der Inspektionskampagne wurden diejenigen Brennelemente ausgewählt, die in ihrem ersten Einsatzzyklus in der höchst belasteten Region des Kerns standen. Darüber hinaus wurden die Brennelemente nach den Blendenpositionen, auf denen sie im ersten Zyklus zum Einsatz kamen, ausgewählt. In den darauffolgenden Erweiterungen des Inspektionsprogramms wurden die Kriterien immer weiter verfeinert, um eine solide Basis für eine statistische Auswertung über die unterschiedlichen Zyklen, abhängig von den Einsatzbedingungen und Positionen, zu schaffen. In den zurückliegenden Jahreshauptrevisionen 2015 und 2016 wurden inspiziert:

- JHR2015: 20 BE inkl. BE [REDACTED]
- JHR2016: 186 BE inkl. Wiederholungsmessung der BE [REDACTED] aus 2015

Ergebnis der Inspektionen und der daraus resultierenden Bewertungen war:

- 157 BE ohne Befunde
- 47 BE (105 BS) mit Anzeichen von Dryout
  - 32 BE mit Anzeigen, die vom Hersteller für einen Wiedereinsatz freigegeben wurden
  - 14 BE (31 BS) mit Anzeigen, die keinen Wiedereinsatz erlauben
  - 1 BE mit Defektstab (aus 2014)

Die Dryout-Anzeichen befanden sich grundsätzlich

- unterhalb des 7. Abstandhalters (AH) und/oder
- unterhalb des 8. Abstandhalters
- an den direkten Nachbar-Brennstäben des 1/3-teillangen Eck-Brennstabs („next-to-corner-rods“)

Die Anzahl betroffener Brennstäbe beträgt zwischen einem und sechs Brennstäben pro Brennelement. Teilweise waren Brennstäbe in allen vier Teilbündeln eines Brennelementes betroffen. Teilbündel A war mit einer höheren statistischen Wahrscheinlichkeit betroffen, als die anderen Teilbündel. Wie bereits erwähnt, waren die Anzeichen an den Brennstäben ausschliesslich unter dem 7. respektive 8. AH zu finden, wobei erwähnenswert ist, dass die Häufigkeit eine Anzeige vorzufinden, unterhalb des 7. AH grösser war. Die Länge der Anzeigen lag zwischen einigen Millimetern bis hin zu 260 mm.

Das KKL verfügt über unterschiedliche Geometrien bei den Brennelement-Eintrittsblenden des unteren Kerngitters. Diese werden als Orifice-Positionen bezeichnet. Wie bereits recht früh erkannt wurde, ist die Wahrscheinlichkeit, einen Dryout-Befund an der Orifice-Position 3 vorzufinden, am höchsten. 48 % der frischen Brennelemente aus Zyklus 32 auf der Blendenposition 3 zeigten Dryout-Befunde. Markant weniger mit 14 % waren auch frische Brennelemente, die im Zyklus 32 auf einer Orifice-Position 2 gestanden haben, betroffen. Brennelemente, die auf einer Orifice-Position 1 standen, waren in keinem der untersuchten Fälle betroffen.



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

Der BE-Hersteller hat ausführliche statistische Auswertungen der Inspektionen durchgeführt, die im Bericht<sup>34</sup> dokumentiert sind und in die Bewertung der Dryoutbefunde einfließen (siehe Abschnitt 3.2.2).

#### *Inspektionen an [REDACTED] hinsichtlich Dryout*

Im Rahmen der Ursachenfindung des Dryout-Phänomens wurden insgesamt sieben Brennelemente des Typs [REDACTED] visuell inspiziert. Sie wurden selektiert, um die BE und hier diejenigen Brennstäbe zu inspizieren, welche gegenüber Dryout die kritischsten Einsatzgeschichten aufweisen. Des Weiteren wurden die BE [REDACTED] bezüglich möglicher Dryout-Befunde inspiziert.

Bei Brennelementen [REDACTED] befinden sich die teillangen Brennstäbe im Inneren der Brennstabmatrix. Für die visuellen Inspektionen wegen Dryout waren daher die zu betrachtenden Brennstäbe aus dem Brennelement zu ziehen. Im Rahmen der Inspektion wurden an den sieben BE [REDACTED] jeweils die Brennstäbe f08, l08, d06 und k10 gezogen, zum Entfernen von losem CRUD gebürstet und anschliessend visuell inspiziert. Nach erfolgter Inspektion wurden die BS in ihre Ursprungsposition im BE zurück verbracht. Somit wurden in Summe 28 Brennstäbe inspiziert. Am BE FEB108 wurden zusätzlich die aussenliegenden Brennstäbe zwischen dem 7. bis 9. AH gebürstet und visuell inspiziert.

Bei keinem der inspizierten Brennelemente wurden Anzeichen entdeckt, die auf einen Dryout hindeuteten. Es wurde lediglich ein ihrem Abbrand und ihrer Einsatzgeschichte entsprechendes äusseres Erscheinungsbild festgestellt.

#### **3.1.2 Messung der Oxidschichtdicken**

Für die Quantifizierung der erhöhten Oxidschichtdicken wurden Messungen mit dem F-SECT-Messverfahren in den Jahren 2015 und 2016 vom BE-Hersteller [REDACTED] im KKL durchgeführt. Mit dieser Wirbelstrom-Messmethode wird an den Brennstäben das Lift-off ermittelt, d. h. die Oxidschichtdicke plus Dicke der magnetischen Ablagerungen (in der Literatur als „CRUD“ bezeichnet). Die Verifikation<sup>36</sup> dieser Methode und die Zusammenfassung der durchgeführten Messungen<sup>35</sup> an den vom Dryout betroffenen Brennstäben wurden mit dem KKL-Brief<sup>33</sup> beim ENSI eingereicht. Der Verifikationsbericht der F-SECT-Methode wurde erweitert und mit dem KKL-Brief<sup>37</sup> nachgereicht. Mit Brief vom 7. Februar 2017 äusserte sich das KKL zur geplanten Umsetzung der vollständigen Validierung von F-SECT, die bis Ende 2017/Anfang 2018 stattfinden soll<sup>60</sup>.

Wegen der starken Temperaturempfindlichkeit der freigegebenen Messmethode MAGNACROX musste für die kurz abgeklungenen Brennelemente die F-SECT-Methode angewendet werden. Die F-SECT-Methode eignet sich für die Messung der Lift-off-Werte, der Restwanddicke und der elektrischen Leitfähigkeit im Metall. Sie wurde an unbestrahlten Materialproben unter simulierten Pool-Bedingungen sowie im spanischen KKW Cofrentes an bestrahlten BE-Kästen getestet und kalibriert, wobei die letzteren Messungen mit Heisszellenuntersuchungen verifiziert wurden. Die Messungen an bestrahlten Brennstäben im KKL werden stark durch den magnetischen CRUD beeinflusst, sodass eine numerische Korrektur der Messungen erforderlich ist. Die Bestätigung dieser Korrektur durch Heisszellenuntersuchungen ist allerdings noch ausstehend. Aus früheren Heisszellenuntersuchungen ist das Ausmass des magnetischen CRUD im KKL bekannt. Des Weiteren wurden 2015 im KKL Messungen an drei bestrahlten Brennstäben aus dem defekten Brennelement [REDACTED] einmal mit der validierten Methode MAGNACROX und einmal mit F-SECT, durchgeführt. Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass F-SECT tendenziell höhere Oxidschichtwerte liefert und damit konservativ ist, wobei die Messwerte der beiden Methoden axial identisch verlaufen. In der Messkampagne 2016 wurden zur



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

weiteren Verifikation im KKL Wiederholungsmessungen und Messungen an Standardproben durchgeführt.

Aus den Messungen und einer konservativ bestimmten Unsicherheit des CRUD-Einflusses im oberen Teil der Brennstäbe kann je nach Lift-off-Wert eine systematische Abweichung und Gesamtunsicherheit bestimmt werden. Bei den maximal gemessenen Lift-off-Werten von 260  $\mu\text{m}$  betragen diese +20  $\mu\text{m}$  (Überschätzung) und  $\pm 25,6 \mu\text{m}^{36}$  (Unsicherheit).

Die Lift-off-Werte aus der Messkampagne 2016 im KKL sind im Bericht<sup>36</sup> dokumentiert.

### 3.1.3 Kategorisierung der Dryoutbefunde

Mit <sup>43</sup> hat der Betreiber eine Bewertung der Befunde bei den BE-Inspektionen durch den Hersteller eingereicht. Diese Bewertung stellt eine wesentliche Entscheidungsgrundlage für den Wiedereinsatz der von Dryout betroffenen BE dar.

Für die Bewertung werden zum Vergleich u. a. experimentelle Untersuchungen im Halden-Reaktor sowie auch frühere Vorkommnisse mit Bezug zu Dryout in anderen Siedewasserreaktoren herangezogen. Diese Bewertung zeigt, dass:

- Das einzige Szenario für Dryout, was die Befunde im KKL erklären kann, ein abwechselnder Verlust des Kühlmittelfilmes an der Brennstaboberfläche und Wiederherstellen des Kühlmittelfilmes ist. Dieser Wechsel erfolgte über einen relativ lang anhaltenden Zeitraum von mindestens mehreren Tagen. Die Hüllrohrtemperatur blieb dabei unter 800 °C.
- Die Dryouts sehr lokal auf die Brennstäbe wirkten.

Basierend auf den ermittelten Oxidschichtdicken und den vorgenannten Ergebnissen der Bewertung der Befunde wurden die Dryoutbefunde im KKL in vier Kategorien unterteilt<sup>43</sup>, welche die weitere Verwendbarkeit bzw. Massnahmen definieren. Die Charakterisierung der Befunde betrifft dabei die vom Dryout betroffenen Brennstäbe, nicht das Brennelement als Ganzes.

Klasse 1: Geringe Befunde, Wiedereinsatz im Reaktor ohne weitere Massnahmen.

Klasse 2: etwas stärkere Befunde, Wiedereinsatz möglich, aber Messkampagnen sind nach weiterem Reaktoreinsatz erforderlich, um den Zustand der Brennstäbe neu bewerten zu können.

Klasse 3: Starke Befunde, aber Wiedereinsatz möglich, wenn der sichere Einsatz durch zuvor durchzuführende Messkampagnen bestätigt werden kann.

Klasse 4: Sehr starke Befunde, betroffene Brennstäbe nicht wieder einsetzbar.

Alle derzeit identifizierten Befunde konnten der Klasse 1, respektive den Klassen 3 und 4 zugeordnet werden. Brennelemente der Klasse 4 sollen laut Empfehlung von [REDACTED] repariert, BE der Klasse 3 vor dem Wiedereinsatz mittels F-SECT vermessen werden. Insgesamt wurden Brennstäbe von 14 BE den Kategorien 3 und 4 zugeordnet<sup>31</sup>. Bei diesen 14 BE waren insgesamt 31 Brennstäbe von Dryout betroffen und wurden durch Dummystäbe aus Zirkonium-Vollmaterial ersetzt<sup>31</sup>. Dies ist ein Standardvorgang für die Instandsetzung von Brennelementen, bei denen einzelne Brennstäbe nicht mehr spezifikationsgerecht sind. Die Brennelemente wurden nach der Instandsetzung auf ihren spezifikationsgerechten Zustand überprüft und sind vom Hersteller zum Wiedereinsatz freigegeben worden.



**Klassifizierung:**  
Betreff:

keine  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

Das Defekt-BE [REDACTED] ist in dieser Anzahl nicht eingeschlossen. Darüber hinaus wurde ein Brennstab, welcher keine reparaturwürdigen Anzeichen hatte, aus dem BE [REDACTED] entnommen, um ihn für Heisszellenuntersuchungen bereitzustellen.

Die Brennelemente mit Zirkonium-Dummystäben wurden für die Kernausslegung pönalisiert<sup>32</sup> (d. h. die sicherheitstechnischen Kenngrössen des Brennelements wurden mit Aufschlägen versehen), wobei die Anzahl der zu ersetzenden Brennstäbe und der gegenwärtige Abbrand bei den betroffenen BE den Grad der Pönalisierung beeinflussen.

### **3.1.4 Sicherheitstechnische Bewertung für den weiteren Einsatz von betroffenen Brennstäben**

Der Betreiber hat mit <sup>44</sup> eine Bewertung der getroffenen Massnahmen und der Sicherheitsmargen für den Zyklus 33 eingereicht. Hierzu wurden die Sicherheitsnachweise für die Hüllrohre aufgrund der Inspektionsresultate neu bewertet. Es wurde von in den visuellen Inspektionen identifizierten und mit den F-SECT-Messungen quantifizierten erhöhten Oxidschichtdicken und deren Kategorisierung ausgegangen. Für den weiteren betrieblichen Aufbau der Oxidschicht wurde das in <sup>43</sup> definierte Szenario für die im KKL identifizierten Dryouts berücksichtigt. Es wurden sowohl die durch Inspektionen identifizierten BE mit erhöhter Oxidschichtdicke als auch die nicht inspizierten BE, welche dennoch eine erhöhte Oxidschichtdicke aufweisen können, berücksichtigt. Für diese BE wurde der weitere betriebliche Aufbau der Oxidschicht während des Reaktorbetriebes analysiert und gegenüber den thermomechanischen und chemischen Brennstab-Grenzwerten bewertet.

Für die Bewertung wurden die für die Hüllrohrintegrität relevanten Eigenschaften durch qualitative und quantitative Methoden neu analysiert. Es zeigte sich, dass durch eine striktere Begrenzung der linearen Brennstableistung in den betroffenen Brennstababschnitten (Nodes 20 und 23) für Zyklus 33 alle bestehenden bewilligten Kriterien eingehalten werden. Gemäss der Auslegung für Zyklus 33 werden diese Brennstableistungen von den betroffenen Brennelementen nicht erreicht. Für Abweichungen vom stationären Betrieb, z. B. geplante Steuerstabanpassungen, soll die Einhaltung der Grenzwerte durch Vorausberechnungen gewährleistet werden<sup>60</sup>.

Ebenso wurden vom BE-Hersteller die Auswirkungen einer verstärkten lokalen Oxidation auf das Störfallverhalten untersucht<sup>44</sup>. Dies beinhaltete die schnellen und langsamen Transienten, die auch im Rahmen des RLS analysiert werden. Für die Störfallkategorie 3 wurden die Szenarien Kühlmittelverluststörfall und Reaktivitätsstörfall betrachtet. Es wurde gezeigt, dass die Kriterien vollumfänglich eingehalten werden und weiterhin Sicherheitsmargen bestehen.

Der Betreiber hat mit <sup>45</sup> eine zusätzliche Sicherheitsbewertung der Auswirkung der BE-Befunde eingereicht. Die Bewertung umfasst die Sicherheitsebenen 1, 2 und 3. Dazu wird der Einfluss auf die Sicherheitsanalysen für schnelle und langsame Transienten, Kühlmittelverlust- und Reaktivitätsstörfälle bewertet.

Den Analysen und Bewertungen wurden die Ergebnisse der Inspektionen von 204 BE mit Ersteinsatz in den Zyklen 22 bis 32 sowie die Kernkonfiguration für den 33. Zyklus zu Grunde gelegt. Die Analysen basieren auf den folgenden Eigenschaften des Dryouts, welche auf die Inspektionsergebnisse zurückgehen: Dryout trat über Tage bis Wochen auf, wiederholtes Abwechseln von lokalem Verlust des Kühlmittelfilms und Wiederbenetzen, relativ moderate Hüllrohrtemperaturen von unter 800 °C.

Ziel der Sicherheitsbewertung war die Bewertung der Einsetzbarkeit der betroffenen BE sowie die Überprüfung der Effektivität der getroffenen Massnahmen gegenüber den Bewilligungsanforderungen, d. h. die Einhaltung der Schutzziele auf allen relevanten Sicherheitsebenen. Die Sicherheitsbewertung erfolgte gemäss dem Prozess TQM-S0711.



**Klassifizierung:**  
Betreff:

keine  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

Der Betreiber hat für die aktuelle Beladung für den Zyklus 33 eine radiologische Störfallanalyse durchgeführt<sup>46</sup>, welche abdeckend für einen unterstellten Kühlmittelverluststörfall der Kategorie 3 den Nachweis führt, dass der Dosiswert gemäss Art. 94 Abs. 5 der Strahlenschutzverordnung eingehalten wird. Es wurde für die nicht inspizierten BE konservativ unterstellt, dass jeweils 4 Brennstäbe bei einem Kühlmittelverluststörfall defekt werden. Für die inspizierten und neuen BE wird von 1 % Hüllrohrschäden ausgegangen, was den für KKL üblichen Annahmen für Kühlmittelverluststörfälle entspricht. Für die Freisetzungsrechnung wird konservativ von 2000 defekten Brennstäben ausgegangen. Es wird eine Dosis von 58 mSv ermittelt, womit der Dosiswert von 100 mSv deutlich unterschritten wird.

Der Betreiber sieht damit die Anforderungen aus Art. 9-11 der UVEK-Verordnung und die relevanten Bestimmungen der Richtlinie ENSI-G20 als erfüllt an.

### 3.1.5 Befunde an Fingerfedern von [REDACTED] Brennelementen

Es wurden an zwei [REDACTED] und zwei [REDACTED] gebrochene Fingerfedern (FF) der Fussdichtung während der JHR2016 festgestellt. Bei den Vorläufer-BE [REDACTED] wurden auf zwei Seiten je zwei gebrochene Finger festgestellt, beim BE [REDACTED] auf zwei Seiten je der mittlere Finger. Beim Nachlade-BE [REDACTED] wurde ein gebrochener Finger festgestellt, beim BE [REDACTED] auf drei Seiten insgesamt fünf gebrochene Finger.

Die gebrochenen Finger der Fingerfedern wurden aus den Brennelementen entfernt, um ein Vagabundieren im Kern zu vermeiden. Laut Aussage des Brennelementherstellers sind die Brennelemente somit einsatztauglich. Ein Fehlen einzelner Finger ist sowohl aus mechanischer sowie aus thermohydraulischer Sicht unproblematisch. Ein Lösen der Fingerfedern ist aufgrund der Verkantung der FF zwischen Kasten und Fuss unwahrscheinlich. Die Vergrösserung des Bypasses ist zu vernachlässigen.

Als plausibelsten Grund für die Federbrüche sieht KKL Ermüdung des Materials aufgrund häufiger Lastwechselspiele. Daher seien die Federbrüche auch jeweils erst nach dem dritten Einsatzzyklus beobachtet worden. Die Druckdifferenz über das untere Kerngitter sei durch den vermehrten Einsatz der [REDACTED] BE stetig erhöht worden.

## 3.2 Erwägungen des ENSI

### 3.2.1 Bewertungsmassstäbe

Für seine Prüfung legte das ENSI folgende Anforderungen der Richtlinie ENSI-G20 zugrunde:

- Kap. 6.1. Bst. a. Ziff. 5: Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie Störfallkategorien 1 und 2 der Sicherheitsebene 3: Die Dichtheit der Brennstäbe ist zu gewährleisten.
- Die brennstabspezifischen Anforderungen von Kap. 6.2.2.1 Bst. c für die Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie Störfallkategorien 1 und 2 der Sicherheitsebene 3: Begrenzung von Spannungen und Dehnungen im Hüllrohr auf werkstoffspezifisch zulässige Werte (unter Berücksichtigung der in Kap. 6.2.2.1 Bst. c genannten Belastungen, wie z. B. der Hüllrohrkorrosion).
- Für die Inspektionen werden zugrunde gelegt: Kap. 6.4.3 Bst. a, b, d und h:
  - Das auslegungsgemässe Betriebsverhalten der Brennelemente ist mittels regelmässiger Inspektionen nachzuweisen. Über Änderungen im Inspektionsplan ist das ENSI zu informieren.
  - Wird ein nicht auslegungsgemässer Zustand identifiziert, ist das Brennelement zu reparieren oder in einen für den Wiedereinsatz beziehungsweise für die Lagerung sicherheitstechnisch unbedenklichen Zustand zu bringen.
  - Es müssen qualifizierte Inspektionseinrichtungen und Werkzeuge eingesetzt werden.





Klassifizierung:  
Betreff:

keine  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

- Die Inspektionsergebnisse sind zu dokumentieren und von der Betriebsorganisation zu bewerten.
- Kap. 6.5.4. Bst. e: Es ist nachzuweisen, dass nach Änderungsarbeiten ein auslegungsgemässer oder sicherheitstechnisch unbedenklicher Zustand des Brennelementes vorliegt.

Für Kühlmittelverlust- und Reaktivitätsstörfälle legt das ENSI die für das KKL akzeptierten Nachweise zugrunde, die mit der Richtlinie ENSI-G20 in Einklang stehen. Ausserdem legt das ENSI den Grenzwert aus Art. 94 Abs. 5 der Strahlenschutzverordnung zugrunde.

Für die umgebauten Brennelemente wurde geprüft, ob die gesamtheitlichen Anforderungen der Richtlinie ENSI-G20 an die nukleare und thermohydraulische Auslegung erfüllt sind.

### 3.2.2 Bewertung des Inspektionsumfangs und des visuellen Erscheinungsbilds

Der Betreiber hatte ein anforderungsgerechtes und systematisches Inspektionsprogramm. Die sukzessive Erweiterung des Programms durch die zahlreichen Dryoutbefunde war erforderlich und sicherheitsgerichtet. Die Auswahl erfolgte hinsichtlich BE- und Brennstab-Leistung und Blendenposition im ersten Einsatzzyklus. Bei den untersuchten [REDACTED] Brennstäben erfolgte die Auswahl zusätzlich hinsichtlich der Nachbarschaft zu teillangen Brennstäben. Aus Sicht des ENSI wurden die relevanten Brennelemente und Brennstäbe ausgewählt. Das ENSI liess sich in regelmässigen Fachgesprächen über die Erweiterungen des Inspektionsumfangs informieren und nahm im Rahmen von Inspektionen an den Prüfungen der Brennelemente durch den Brennstoffhersteller teil. Der Gesamtumfang der Inspektionen durch Betreiber und Hersteller ermöglicht ein umfassendes Bild des Ausmasses und der Charakteristika der Dryoutbefunde. Der Betreiber hat die Inspektionsergebnisse anforderungsgerecht bewertet (s. u.). Die Dokumentation entsprach den Anforderungen.

### 3.2.3 Bewertung der Messung der Oxidschichtdicken

Gemäss der Richtlinie ENSI-G20 ist die Brennstabkorrosion zu begrenzen. Die Korrosion schwächt das Hüllrohr und hat somit einen Einfluss auf die Hüllrohrintegrität im Normalbetrieb sowie bei Störfällen. Der Grenzwert der Korrosion ist im Brennstabauslegungsbericht sowie in [REDACTED] angegeben und beträgt bei den BE [REDACTED] 100 µm, wobei der Mittelwert über eine Node (Brennstababschnitt von ca. 150 mm Länge) ermittelt wird.

Die Genauigkeit der Messung der Oxidschichtdicke, ggf. des Lift-off-Wertes, ist entscheidend für die Beurteilung des Betriebsverhaltens und der Wiedereinsetzbarkeit der Brennelemente. Die Messmethode muss im Sinne einer Nachweismethode gemäss der Richtlinie ENSI-G20 verifiziert und validiert sein. In dem vorgelegten Dokument zeigt [REDACTED] auf, dass sich die verwendete F-SECT-Methode für den vorgesehenen Zweck eignet. Das ENSI akzeptiert daher die Verifikation der Methode. Die Validierung für die abgebrannten Brennstäbe ist jedoch noch ausstehend.

Es liegen zahlreiche Messungen mit der früher eingesetzten und vom ENSI freigegebenen Messmethode MAGNACROX zur Bestimmung der normalen Korrosion und CRUD-Belegung vor. Diese wurden herangezogen, um die Genauigkeit der F-SECT-Messungen für KKL-Brennelemente zu bestimmen. Da nach Auffassung des ENSI die Abweichung und die Unsicherheit konservativ ermittelt wurden, ist die Eignung der Methode für KKL-Brennelemente gegeben. Dennoch erwartet das ENSI eine vollständige Validierung der Methode, um die Güte der F-SECT-Messungen für die Anwendung im KKL weiter zu untermauern. Das ENSI akzeptiert daher die Messungen mit der Methode F-SECT mit der vom Betreiber ausgewiesenen Abweichung und Gesamtunsicherheit vorläufig, da die F-SECT-Messung im vorliegenden Fall Vorteile gegenüber der (validierten) MAGNACROX-Methode aufweist. Das ENSI wird



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

die Umsetzung der Planung des Betreibers zur vollwertigen Validierung von F-SECT im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit überprüfen.

Das ENSI kommt daher zum Schluss, dass der Betreiber zusammen mit dem BE-Hersteller die erhöhten Oxidschichtdicken mit einer geeigneten Methode mit ausreichender Genauigkeit für die Bewertung der Dryoutbefunde bestimmt hat.

#### **3.2.4 Bewertung der Kategorisierung der Dryoutbefunde**

Die herangezogenen experimentellen Untersuchungen am Haldenreaktor, die Analyse früherer Vorkommnisse in anderen Anlagen und die Betrachtung des weiteren Betriebsverhaltens von stärker oxidierten Hüllrohren im KKL decken den aktuellen Kenntnisstand ab und sind für die Sicherheitsbewertung des Zyklus 33 angemessen.

Das ENSI akzeptiert die vorgenommene Kategorisierung der Dryoutbefunde. Ferner befürwortet das ENSI, dass der Betreiber drei Brennstäbe der Kategorie 3 vorsorglich wie Brennstäbe der Kategorie 4 behandelte und gegen Dummystäbe ausgetauscht hat. Der Kategorie 2 wurden keine Brennstäbe zugeordnet, die Anwendung dieser Kategorien ist für die Freigabe des Zyklus 33 daher nicht relevant.

Das ENSI gelangt aufgrund des Erscheinungsbilds der inspizierten Hüllrohre ebenfalls zum Schluss, dass die maximalen Hüllrohrtemperaturen beim aufgetretenen Dryout unter 800 °C lagen. Eine Phasenumwandlung des Hüllrohrmaterials, die wesentliche Materialparameter deutlich verändert hätte, hat auch aus Sicht des ENSI nicht stattgefunden.

Der Betreiber ist mit den vorgelegten Analysen einem internen Prozess gefolgt und hat die Anforderungen an Sicherheitsnachweise korrekt umgesetzt.

#### **3.2.5 Bewertung der sicherheitstechnischen Anforderungen für den Wiedereinsatz der betroffenen Brennelemente**

Für das anforderungsgerechte Verhalten auf den Sicherheitsebenen 1 und 2 und in den Störfallkategorien 1 und 2 der Sicherheitsebene 3 wurden die bestehenden Nachweise durch Hersteller und Betreiber überprüft. Dies trifft auch für die Nachweise für Kühlmittelverlust- und Reaktivitätsstörfälle zu. Dazu wurden die vom ENSI akzeptierten Berechnungsprogramme und Nachweismethoden angewendet. Die Absenkung des Grenzwerts für die lineare Stabileistung in den vom Dryout betroffenen Bereichen (Node 20 und 23) ist eine anforderungsgerechte Massnahme. Die Einhaltung der Brennstabgrenzwerte für den Zyklus 33 wurde dem ENSI plausibel nachgewiesen.

Der Betreiber hat für die Analyse eines Kühlmittelverlust-Störfalles nach Kategorie 3 konservative Annahmen für die Anzahl der als defekt anzusehenden Brennstäbe getroffen, wobei diese Annahmen auf den Ergebnissen der Brennelementinspektionen beruhen. Die Vorgehensweise bei der Analyse entspricht der akzeptierten Vorgehensweise. Die ermittelte Dosis hat eine deutliche Marge zu dem gesetzlichen Grenzwert.

Die Methode zur Instandsetzung der BE sowie die Pönalisierung sind geeignete Massnahmen, um die Brennelemente in einen auslegungsgemässen Zustand zu überführen und den geänderten nuklearen und thermohydraulischen Eigenschaften Rechnung zu tragen. Diese Vorgänge sind angemessen dokumentiert. Die Pönalisierung ist nachvollziehbar durchgeführt worden. Die Pönalisierung wurde vom ENSI und dem als Experten zugezogenen Paul Scherrer Institut (PSI) überprüft und als geeignet bewertet<sup>52</sup>. Die Empfehlungen des BE-Herstellers bezüglich des Einsatzes der in Stand gesetzten BE sind umgesetzt worden.



Klassifizierung:  
Betreff:

keine  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

### 3.2.6 Bewertung der Befunde an Fingerfedern von [REDACTED] Brennelementen

Das ENSI ist der Meinung, dass das Entfernen der gebrochenen Finger sicherheitsgerichtet ist. Weiterhin sind auch nach der Ansicht des ENSI die im BE verbliebenen Fingerfedern aus mechanischen Gesichtspunkten zwischen BE-Fuss und Brennelementkasten sicher eingeschlossen. Die BE können daher wieder eingesetzt werden.

### 3.2.7 Zusammenfassung

Das ENSI hat keine Einwände gegen den Wiedereinsatz der in der Einsatzplanung vorgesehenen BE. Die Empfehlungen des BE-Herstellers bezüglich des Einsatzes der instandgesetzten BE sind auch in den Folgezyklen zu berücksichtigen, wenn diese BE weiterhin eingesetzt werden sollen. Das ENSI kommt zum Schluss, dass mit den getroffenen Massnahmen für den Zyklus 33 die relevanten Anforderungen der Verordnung des UVEK vom 17. Juni 2009 über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (SR 732.112.2) und der Richtlinie ENSI-G20 eingehalten werden.

## 4 Vermeidung von Dryout in Zyklus 33

### 4.1 Sachverhalt aus Sicht des Betreibers

#### 4.1.1 Systematische Bewertung der Einflussgrössen

Das KKL hat dem ENSI den Technischen Bericht „Systematische Bewertung der Einflussgrössen für die Brennelement-Befunde im Zyklus 32“<sup>40</sup> eingereicht. Darin sind Zielsetzung, Methodik und Resultate der systematischen Expertenbefragung zur Bestimmung der relevanten Einflussgrössen für den neuen Zyklus dargestellt.

Nach der Identifikation der Dryoutbefunde während der JHR 2016 zeigte sich, dass zusätzliche Informationen zur Abklärung der Befunde an den Brennelementen erforderlich waren. Das KKL entschied sich als eine Massnahme hierzu, Informationen mit Hilfe von Expertenbefragungen zu gewinnen. Die dafür durchgeführte Studie bestand methodisch aus einer Kombination von Delphi-Methode und Wechselwirkungsanalyse. Diese Methode ermöglicht:

- eine breit abgestützte und objektive Bewertung möglicher Einflussgrössen für den Dryout-Mechanismus zu erhalten;
- unabhängige Expertenmeinungen anonym zu erheben;
- Korrelationen zwischen den Einflussgrössen herzustellen.

Die Studie setzte sich aus folgenden Schritten zusammen:

- (1) eine strukturierte Befragung externer Experten (Delphi-Runde) mit auf betrieblichen Daten basierenden Fragen zur Sammlung möglicher Einflussgrössen;
- (2) eine Diskussionsrunde interner Experten zur Klärung und Präzisierung der Bewertungen aus der Delphi-Runde;
- (3) die Einteilung nach relevanten und nicht-relevanten Einflussgrössen aufgrund der statistischen Auswertung der Ergebnisse aus der Delphi-Runde;
- (4) eine Analyse der Korrelationen der relevanten Einflussgrössen untereinander (Wechselwirkungsanalyse);



**Klassifizierung:**  
Betreff:

keine  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

- (5) Selektion der stark korrelierenden (d. h. direkten) Einflussgrößen aufgrund einer Bestimmung von Einfluss und Qualität der Einflussgrößen durch interne Experten.

Diese von der Root-Cause-Analyse des Brennelementherstellers unabhängige Ursachenanalyse hat die identifizierten Massnahmen zur Gewährleistung des sicheren Betriebes des Zyklus 33 bestätigt. Sie ist Bestandteil der Sicherheitsbewertung, welche den Einfluss der Befunde auf die Auslegung des Reaktors hinsichtlich der Einhaltung der Schutzziele auf allen Sicherheitsebenen beurteilt.

#### **4.1.2 Identifikation von Betriebsparametern, bei welchen Dryout auftritt, zur Definition des sicheren Betriebskennfeldes**

Durch die Brennelementinspektionen sind die folgenden Eigenschaften der Befunde identifiziert worden:

- a) Dryout ist seit dem Zyklus 28 aufgetreten.
- b) Die Dryoutbefunde betreffen lediglich einen Brennelementtyp: [REDACTED]
- c) Dryout tritt an BE in ihrem ersten Einsatzjahr im Reaktor zum Ende des Zyklus auf.
- d) Dryout tritt an BE auf, welche an den Kernpositionen Orifice Typ 3 oder Orifice Typ 2 in ihrem ersten Zyklus gestanden haben.
- e) Die Dryoutbefunde sind immer unter dem 7 oder bzw. und 8. Abstandshalter aufgetreten.
- f) Die Dryoutbefunde zeigten sich immer an den gleichen Brennstäben (Nachbarstäbe des drittellangen Eckstabs), wobei die Ausrichtung immer zum äusseren Wasserkanal zeigte.
- g) Die Dryoutbefunde zeigen immer eine gleiche fahnenförmige Form, jedoch unterschiedlich in den Abmessungen.
- h) Die resultierende Oxidschichtdicke fällt unterschiedlich aus.
- i) Die Dryoutbefunde lassen auf Hüllrohrtemperaturen unter 800 °C schliessen, wobei dieser Zustand über eine längere Zeit andauerte und mit einem wechselhaften Verlust des Kühlmittelfilms und Wiederbenetzung mit Kühlmittel einhergegangen ist.
- j) Dryout trat nur auf, wenn frische BE mit einer Bündelleistung von über 7.4 MW betrieben worden sind.
- k) Dryout trat nur auf, wenn der Kerndurchsatz über 95 % lag.

In der Root-Cause-Analyse des BE-Herstellers zum defekten BE [REDACTED] wurden lokale Störungen der BE-Kühlung als Ursache ausgemacht. Die Befunde der BE-Inspektionen 2016 bestätigen dieses Ergebnis.

Die Inspektionsergebnisse in der JHR 2016 haben gezeigt, dass die Festlegung eines minimalen CPR-Wertes von 1.45 nicht zur Vermeidung von Dryout geführt hat<sup>39</sup>. Die Erhöhung des CPR-Wertes wird daher nicht mehr als alleinige Massnahme für die Auslegung des Zyklus 33 definiert, wobei der für CPR definierte Grenzwert einschliesslich einer angemessenen Sicherheitsmarge weiterhin Anwendung findet.

Die Inspektionen haben BE umfasst, welche ab dem Zyklus 22 erstmals im Einsatz gewesen sind. Bei dem Vergleich der Betriebsbedingungen<sup>39</sup> dieser Zyklen hat sich gezeigt, dass Dryouts nur bei frischen BE und nur bei einer Bündelleistung über 7.4 MW aufgetreten sind, und das ab Zyklus 28. Die Anzahl der Dryoutbefunde unter 7.7 MW ist zudem gering. Daher hat das KKL als Grenze für den Betrieb eine Bündelleistung von 7.2 MW festgelegt, um den Betriebsbereich mit relevantem Dryourisiko zu vermeiden. Die stationäre Kernauslegung erfolgte zudem mit einem Zielwert für die Bündelleistung der 84 neu beladenen BE von 7.0 MW. Damit wird eine ausreichende Sicherheitsmarge für die Leistungsbegrenzung definiert.



**Klassifizierung:**  
Betreff:

keine  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

Die Begrenzung des Kerndurchflusses auf maximal 95 % als sicherheitsgerichtete Massnahme für den gesamten Zyklus wird ebenso aus den o. g. Inspektionsergebnissen für Brennelemente mit Ersteinsatz ab Zyklus 22 abgeleitet<sup>39</sup>. Alle Befunde an BE sind gemäss dem Betreiber auf Betriebsverhältnisse mit höherem Durchsatz zurückführbar. Die Begrenzung des Kerndurchsatzes dient ebenso dazu Betriebsbedingungen zu vermeiden, welche zu lokalen Störungen im Kühlmittelstrom und Instabilitäten bei der Anströmung führen können<sup>39</sup>.

Als Massnahmen für die Verhinderung von Dryout im Zyklus 33 werden die folgenden Einschränkungen des Betriebskennfeldes definiert:

- ein maximaler Kerndurchsatz von 95% und
- eine maximale Bündelleistung frischer BE von 7,2 MW.

Das ENSI hatte in seiner Grobprüfung eine Stellungnahme des Anlagenherstellers ██████████ gefordert. Das KKL hat diese vorgelegt<sup>56</sup>. Der Anlagenhersteller hält die vom KKL getroffenen Massnahmen für den Zyklus 33 geeignet.

Hinsichtlich Betriebsstörungen und Störfällen legte der Betreiber die Schichtanweisung AWB/17/0002 vor<sup>49</sup>:

Die schnell ablaufenden Betriebsstörungen (PRFC Pressure Regulator Failure Closed, LRNBP Load Rejection No Bypass, LRBP75 Load Rejection 75 % Bypass, FWCF Feedwater Controller Failure) stellen hinsichtlich einer Überlastung der Hüllrohre mit Local Dryout (LDO) Befund kein Problem dar, da diese Transienten alle zu schnell ablaufen, nachweislich im Sekundenbereich. Innerhalb dieser sehr kurzen Belastungszeiten kann ausgeschlossen werden, dass LDO-Befunde generiert werden, da gemäss der Root Cause Analyse ██████████ gezeigt wurde, dass zur Erzeugung von LDO-Befunden Hüllrohrtemperaturen unter 800 °C über mehrere Tage anstehen müssen.

Massgebend für die Belastung der Hüllrohre der BE sind drei langsam ablaufende Betriebsstörungen (LFWH Loss of Feedwater Heater, CRWE Control Rod Withdrawal Error, SCFR Slow Core Flow Run-out) die dazu führen können, dass das aufgrund der getroffenen Massnahmen eingeschränkte Betriebskennfeld verlassen wird. Bei diesen drei Betriebsstörungen sind gemäss den Störfallanweisungen Massnahmen einzuleiten. Der amtierende Station Nuclear Engineer (SNE) ist nach Eintritt der Betriebsstörung aufzubieten und es sind weitergehende Massnahmen einzuleiten. Spätestens nach 24 Stunden muss der Betriebspunkt wieder innerhalb des als zulässig festgelegten Betriebskennfeldes liegen.

Im Freigabeantrag<sup>1</sup> betont der Betreiber, dass die Ursachenanalyse weitergeführt wird, d. h. auf der Basis der Ende 2016 vorliegenden Erkenntnisse wird Anfang 2017 das weitere Vorgehen ausgearbeitet. Die Zusammenarbeit mit den Partnern (u. a. Anlagen- und BE-Hersteller) und anderen Betreibern von SWR-Anlagen wird weitergeführt. Das ENSI wird im Rahmen der laufenden Geschäfte regelmässig über den Stand der Arbeiten informiert.

## **4.2 Erwägungen des ENSI**

### **4.2.1 Bewertungsmaassstäbe**

Das ENSI legte für seine Bewertung die Richtlinien ENSI-G07 und ENSI-G20 zugrunde. Aus letzterer wurden insbesondere folgende Anforderungen herangezogen:

- Kap. 4.1 Bst. h: Nachweismethoden und Berechnungsprogramme müssen dem Stand der Technik entsprechen und den Stand der Wissenschaft berücksichtigen.



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

- Kap. 4.4 Bst. b Ziff. 6 und 7: In den Nachweismethoden sind systematische Abweichungen und Unsicherheiten der Rechenmodelle zu berücksichtigen.
- Kap. 5.4 Bst. a: Zur Überwachung der sicherheitstechnischen Kenngrössen des Reaktorkerns respektive zur Verifikation der Kernberechnungen ist eine Instrumentierung mit ausreichender örtlicher und zeitlicher Auflösung vorzusehen.

Aus der Vorkommnisbearbeitung „Meldepflichtiger Befund an mehreren Brennelementen in der JHR 2016“<sup>47</sup> besteht ausserdem folgende Forderung (Geschäft 12/16/052): *Kernausslegung und Reaktorbetrieb sind so zu konfigurieren, dass kritische Siedezustände in den Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie Störfallkategorien 1 und 2 der Sicherheitsebene 3 sicher ausgeschlossen werden können. Die entsprechenden Nachweise sind acht Wochen vor dem geplanten Wiederanfahren vorzulegen.*

#### **4.2.2 Stellungnahme zu Einflussgrössen und abgeleiteten Betriebsparametern**

Das ENSI konnte sich vergewissern, dass das KKL umfangreiche und systematische Untersuchungen unter Einbezug interner und externer Experten zur Bestimmung der relevanten Einflussgrössen für den neuen Zyklus durchgeführt hat. Das ENSI hat die Gründe der Wahl der Kombination von Delphi-Methode und Wechselwirkungsanalyse geprüft und bewertet die vom KKL angewandte Methodik als geeignet.

Das ENSI kann die vom Betreiber genannten Charakteristika der Befunde nachvollziehen. Davon hat sich das ENSI in Fachgesprächen und eigenen Inspektionen überzeugt.

Die vom Betreiber und Hersteller verwendeten Nachweismethoden und Berechnungsprogramme sind für die verwendeten Anwendungen validiert und vom ENSI freigegeben. Sie sind auch international gebräuchliche Werkzeuge für die Auslegung von Siedewasserreaktoren und entsprechen dem Stand der Technik. Bei den in den vergangenen Zyklen aufgetretenen Dryoutbefunden handelt es sich nach derzeitigem Stand um bisher nicht beobachtete Effekte, die in den international eingesetzten Nachweismethoden nicht berücksichtigt sind. Der Betreiber verfolgt die Strategie, diese neuen Erkenntnisse durch eine Anpassung von Auslegung und Betrieb umzusetzen.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die getroffenen Massnahmen der Begrenzung des Kerndurchsatzes und der Brennelementleistung für frische Brennelemente unmittelbar die Inspektionsergebnisse und wesentliche Erkenntnisse der Root-Cause-Analyse adressieren.

Die für den Zyklus 33 getroffenen Massnahmen sieht das ENSI als geeignet an, den Betriebsbereich des Reaktors auszuschliessen, in dem in zurückliegenden Brennstoffzyklen nach heutigem Erkenntnisstand Dryout aufgetreten ist. Die vom ENSI zu Rate gezogenen Experten PSI und Sten Lundberg Consulting (SLC) bestätigen<sup>50, 51, 53</sup>, dass die Massnahmen des Betreibers das Risiko für Dryout deutlich reduzieren.

Das ENSI sieht durch die bisherige Statistik der Inspektionsergebnisse die bislang vorliegenden Ergebnisse der Root-Cause-Analyse bestätigt, dass die Dryoutbefunde im KKL durch bislang in den Auslegungsrechnungen nicht erfasste Phänomene erzeugt wurden. Das ENSI sieht es als erforderlich an, die Root-Cause-Analyse zu Ende zu führen und die Berechnungssysteme für die Kernausslegung anhand der gewonnenen neuen Erkenntnisse zu überarbeiten. Da der Betreiber die weitere Ursachenabklärung im Freigabeantrag zugesichert hat, verzichtet das ENSI auf eine Forderung und wird sich im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit über die Fortschritte regelmässig informieren lassen. Das ENSI behält sich vor, bei Bedarf weitere Abklärungsmassnahmen verbindlich festzulegen.



Klassifizierung:  
Betreff:

keine  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

Das KKL besitzt mit GETARS ein System sehr hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zur Erfassung des Neutronenflusses. Das ENSI ist der Auffassung, dass eine stärkere Nutzung dieses Systems für den 33. Brennstoffzyklus erforderlich ist, um eine möglichst hochaufgelöste Auswertung des Neutronenflusses zu ermöglichen. *Das KKL wird aufgefordert, GETARS-Signale gemäss<sup>57</sup> in definierten Kampagnen über den gesamten Zyklus 33 zu archivieren und dem ENSI einzureichen.*

Der Betreiber hat eine Bewertung der zyklusspezifisch zu analysierenden langsamen und schnellen Störfälle hinsichtlich Dryout vorgelegt. Das ENSI bestätigt, dass die schnellen Störfälle zu rasch ablaufen, um zu den in den letzten Zyklen aufgetretenen, lang anstehenden Dryoutzuständen zu führen. Die Schichtanweisung<sup>49</sup> stellt durch administrative Massnahmen sicher, dass der Bereich des eingeschränkten Betriebskennfelds für Zyklus 33 nur kurzzeitig verlassen wird. Das ENSI akzeptiert daher die Bewertung des Betreibers zu den zyklusspezifisch zu analysierenden Störfällen.

#### 4.2.3 Zusammenfassung

Zusammenfassend bestätigt das ENSI, dass Kernausslegung und Reaktorbetrieb so konfiguriert wurden, dass kritische Siedezustände in den Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie Störfallkategorien 1 und 2 der Sicherheitsebene 3 nach dem derzeitigen Kenntnisstand ausgeschlossen werden können. Damit wird die Forderung aus der Vorkommisbearbeitung „Meldepflichtiger Befund an mehreren Brennelementen in der JHR 2016“<sup>47</sup> termingerecht erfüllt und das Geschäft 12/16/052 geschlossen.

Basierend auf der technischen Ursachenanalyse wurden die Mechanismen, die zu einer verstärkten Oxidation der Brennstab-Hüllrohre führten, bewertet und entsprechende Massnahmen zur Vermeidung von Dryout nach heutigem Kenntnisstand geschaffen. Da die Ursachenabklärung zu den Dryoutbefunden der vergangenen Zyklen noch nicht abgeschlossen werden konnte, stellt das ENSI folgende Auflage:

*Sofortiges Abfahren und Inspizieren bei einem Brennstabschaden:*

*Nach dem Auftreten eines Brennstabschadens, der zum Austritt von Gasen oder von radioaktiven Isotopen aus dem Hüllrohr in das Reaktorkühlmittel führt, ist die Anlage innerhalb von 96 Stunden in die Betriebsart „Heiss abgestellt“ abzufahren. Als Kriterien für einen Defekteintritt sind der rasche Konzentrationsanstieg von Helium und von radioaktiven Edelgasen im Bereich der Abklingstrecke sowie die Änderung des Verhältnisses von Xe-133 zu Xe-135 zu verwenden. Alle im Kern befindlichen Brennelemente sind anschliessend auf Dichtheit zu überprüfen.*

Ausserdem stellt das ENSI folgende Auflage:

*Für den Betrieb des Reaktors ist die Anweisung Betrieb AWB/17/0002, Rev. 0 vom 23. Januar 2017, in der die Limitierungen*

- *des Betriebskennfeldes mit einem maximalen Kerndurchsatz von 95 % und*
- *der Bündelleistung frischer BE auf maximal 7,0 MW (respektive 7,2 MW für Lastprogramme)*

*beschrieben werden, einzuhalten.*

## 5 Zyklusspezifische Sicherheitsnachweise für Zyklus 33

### 5.1 Sachverhalt aus Sicht des Betreibers

Die zyklusspezifischen Sicherheitsnachweise (RLS) werden gemäss den Kriterien und Vorgaben aus den Grundlagenberichten [REDACTED] geführt und in dem Hauptbericht RLS<sup>3</sup> festgehalten.



Klassifizierung:  
Betreff:

keine  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

Der RLS und die darin referenzierten Analysen wurden durch die Axpo geprüft<sup>13</sup>, die Erfüllung der relevanten Kriterien wurde durch eine Überprüfungsgruppe des KKL bestätigt<sup>21</sup>.

### 5.1.1 Beladeplan

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]

### 5.1.2 Sicherheitstechnische Beurteilung des neuen Reaktorkerns

#### *Auslegungsverfahren, Programme*

[REDACTED] werden Programmversionen entsprechend [REDACTED] verwendet, die auch bei der Auslegung des letzten Zyklus angewendet wurden. Ausnahmen stellen die Programme POLCA7 und Core Master 2 dar.

Das stationäre Kernberechnungsprogramm POLCA7 wurde gemäss RLS<sup>3</sup> in der Version 4.19 (gegenüber 4.12 für den Zyklus 32) und Core Master 2 in der Version 3.12 (gegenüber 3.7 für den Zyklus 32) verwendet. Die Änderungen sind geringfügig und beziehen sich hauptsächlich auf Modellverbesserungen. Das ENSI wurde mit Schreiben <sup>27</sup> vom KKL über diese Änderungen informiert. Dazu wurde eine detaillierte Bewertung der Änderungen durch [REDACTED] eingereicht, welche auch Vergleichsrechnungen zur Verifizierung umfasste.





Klassifizierung:  
Betreff:

keine  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

### Abschaltsicherheit

Während die TSL eine minimale Abschaltsicherheit von 0,5 %  $\Delta k/k$  fordert, wird in der Kernauslegung gemäss [REDACTED] eine minimale Abschaltsicherheit von 1,0 %  $\Delta k/k$  angestrebt. Gemäss RLS<sup>3</sup> wird im Zyklus eine minimale Abschaltsicherheit von 1,52 %  $\Delta k/k$  bei 150 Volllasttagen und 20 °C berechnet.

Ferner muss das Notborierungssystem allein in der Lage sein, bei einer Temperatur von 160 °C und 880 ppm Bor im Kühlmittel den Xenon-freien Reaktor mit einer Abschaltsicherheit von mindestens 1,7 %  $\Delta k/k$  unterkritisch zu halten<sup>18</sup>. Mit der berechneten Abschaltsicherheit von 5,8 %  $\Delta k/k$ <sup>13</sup> wird dieses Kriterium eingehalten.

In der Jahreshauptrevision wurden keine Steuerstäbe ausgetauscht. Die Einhaltung der zulässigen Borabbrände für den Zyklus 33 wurde nachgewiesen<sup>16</sup>.

### Brennstableistung, Leistungsdichte

Die Kern- und Zyklusauslegung wurden mit der KKL-Kernüberwachungssoftware HELIOS/PRESTO für den Zyklus 33 wie folgt vorgenommen:

- (1) Für die wesentlich verkürzte Zyklusdauer werden 84 frische BE nachgeladen.
- (2) Zur Verhinderung des Betriebsbereiches, welcher in den vorherigen Zyklen Dryout verursacht hat, werden für den Zyklus 33 die folgenden begrenzenden Betriebsparameter für die Kernauslegung definiert:
  - a. Der Kerndurchsatz wird auf maximal 95 % über den gesamten Zyklus begrenzt.
  - b. Die Brennelement-Leistung wird für frische BE auf <7.2 MW begrenzt.
- (3) Der frische Brennstoff [REDACTED] der Nachladung 32 enthält in den untersten 15 cm ein Bottom-Blanket mit 2,0 w/o U-235-Anreicherung, ist aber ansonsten identisch zu den früheren Nachladungen 28-31. Zweck des Blankets ist langfristig eine verbesserte Brennstoffausnutzung und tiefere Fluenzen auf der unteren Kerngitterplatte.

Durch die Begrenzung der Betriebsparameter unter (2) beträgt die Reaktorleistung zu Zyklusbeginn 94 % und sinkt bis zum Zyklusende auf ca. 88 %.

Der in [REDACTED] geforderte zyklusspezifische Nachweis der Einhaltung der Brennstabauslegungskriterien für die [REDACTED] anhand der voraussichtlichen Leistungsgeschichten im Zyklus 33 wurde mit dem Programm CARO-E3 geführt, die Kriterien werden eingehalten<sup>12</sup>.

Für die eingesetzten BE-Typen gelten die generischen, abbrandabhängigen Betriebsgrenzwerte der linearen Brennstableistung (TMOL-Kurven). Unverändert sind auch deren leistungs- und kühlmitteldurchsatzabhängigen Korrekturfaktoren der linearen Brennstableistung<sup>3</sup>.

### CPR

Die Sicherheit gegen Dryout, d. h. der CPR-Betriebsgrenzwert (OLMCPR), ist gemäss [REDACTED] der grössere dieser Werte:

- $(SLMCPR_{99,9} + \max \Delta CPR) = (1,092 + 0,109) = 1,201$   
Summe des CPR-Sicherheitsgrenzwerts und des CPR-Vorhalts für die limitierende Transiente, wobei für 99,9 % der Brennstäbe im Kern der Dryout-Zustand während der Transiente sicher ausgeschlossen wird.



Klassifizierung:  
Betreff:

keine  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

- $MCPR_{0.01} = 1,30$

Wert, der einer Dryout-Rate von 1 in 100 Jahren des stationären Reaktorbetriebs entspricht.

Wie im letzten Zyklus ist der OLMCPR durch den  $MCPR_{0.01}$  definiert. Die Werte  $SLMCPR_{99.9}$  und  $MCPR_{0.01}$  werden aus Monte-Carlo-Analysen mit dem Programm McSLAP gewonnen<sup>7</sup> und müssen zyklusspezifisch bestimmt werden, da sie von der Leistungsverteilung abhängen.  $SLMCPR_{99.9}$  und  $MCPR_{0.01}$  sind im Vergleich zum letzten Zyklus kleiner geworden. Die stationären Grenzwerte erweisen sich gegenüber Zyklus 32 als stabil. Die [REDACTED] zeigen die höchsten Kastenverbiegungen, weshalb deren reduzierte Anzahl im Kern statistisch eine Reduzierung der Kastenverbiegung im Kern bewirkt. Weitere reaktorspezifische Unsicherheiten sind unverändert. In Bezug auf die in McSLAP direkt berücksichtigte BE-Kastenverbiegung wurden spezifische Pin-R-Faktoren für die BE [REDACTED] ermittelt, sodass diese wie [REDACTED] numerisch behandelt werden.

Die Transientenanalysen<sup>5, 6</sup> zur Bestimmung des  $\Delta CPR$  wurden nur für die BE [REDACTED] analysiert, da die anderen BE-Typen [REDACTED] mehr als zwei Standzeiten absolvierten und im Zyklus 33 nicht limitierend sein können. Für diese BE wird eine generelle CPR-Pönale von 10 % in der Kernüberwachung eingebaut.

#### Transienten

Gemäss den Vorgaben in [REDACTED] wurden folgende Transienten<sup>5, 6</sup> zur Ableitung des Transientenvorhalts  $\Delta CPR$  bei Volllast analysiert:

- Pressure Regulator Failure - Closed (PRFC);
- Generator Load Rejection with 75 % Bypass (LRBP75);
- Control Rod Withdrawal Error (CRWE);
- Loss of Feedwater Heating (LFWH);
- Slow Core Flow Runout (SCFR).

Bei den reduzierten Leistungsniveaus wurden diese Transienten für die Festlegung des leistungsabhängigen Betriebsgrenzwerts  $OLMCPR_p$  berechnet:

- Pressure Regulator Failure - Closed (PRFC);
- Generator Load Rejection without Bypass (LRNBP);
- Feedwater Controller Failure - Max Demand (FWCF);
- Control Rod Withdrawal Error (CRWE).

Grenzwert bestimmend stellten sich diese Transienten heraus:

- 100 % Leistung: PRFC zum Zyklusende,  $\Delta CPR = 0,11$ ;
- 70 % Leistung: PRFC zum Zyklusende;
- 40 % Leistung: LRNBP zur Zyklusmitte;
- 25 % Leistung: LRNBP zum Zyklusbeginn.

Die Transiente „Slow Core Flow Run-out“ (SCFR) wurde für die Festlegung des kühlmitteldurchsatzabhängigen Betriebsgrenzwerts  $OLMCPR_r$  berechnet. Bei reduzierter Leistung und Kühlmitteldurchsatz gilt der grössere Wert aus  $OLMCPR_p$  und  $OLMCPR_r$ .

Wie letztes Jahr wurde ein konservatives Modell für den Speisewasserregler mit konstantem Massenstrom verwendet, weshalb die Sensitivitätsanalyse entfällt. Wie in den Zyklen 29 und 30 wurde die Betriebsoption Absenkung der Speisewassertemperatur zum Zyklusende (FFWTR) weggelassen, der ungeplante Ausfall der Speisewasser-Vorwärmung LFWH wird nach wie vor analysiert.



Klassifizierung:  
Betreff:

keine  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

### *Differenzdrücke*

Die maximal zulässige Anhebungskraft wird für alle BE-Typen eingehalten. Für die limitierenden [REDACTED] ist ein maximaler Kasten-Differenzdruck von 682 mbar < 902 mbar gerechnet worden<sup>3</sup>. Für die anderen eingesetzten Typen liegen generische Nachweise vor. Für die BE [REDACTED] und -11 wurde die Abhebekraft generisch im [REDACTED] Bericht<sup>19</sup> nachgewiesen.

Der aus dem KKL-Vorgabendokument<sup>22</sup> herangezogene Grenzwert von 1,84 bar für den Druckverlust über die untere Kerngitterplatte im Normalbetrieb wird mit dem berechneten Wert von maximal 1,45 bar eingehalten<sup>4</sup>.

### *Stabilität*

Es wurden keine zyklusspezifischen Analysen zur Stabilität durchgeführt, das Stabilitätsverhalten wurde im Rahmen der Freigaben der BE-Typen nachgewiesen. Dies ist aus Sicht des KKL ausreichend. Durch den höheren Einphasen-Druckverlust der BE mit dem Fremdkörperfilter des Typs Triple Wave+ wird eine leichte Verbesserung des Stabilitätsverhaltens erwartet<sup>3</sup>.

Die Analysen in [REDACTED] werden für Zyklus 33 als abdeckend beurteilt. Da die radiale Leistungsverteilung in Zyklus 33 aufgrund der hohen CPR-Margen flacher als sonst ausfällt, dürfte das Stabilitätsverhalten noch besser als sonst sein. In Bezug auf potentielle lokale Durchfluss-Instabilitäten laufen die Untersuchungen weiter. Für Zyklus 33 wurden betriebliche Massnahmen definiert, um diese zu verhindern.

### *Steuerstabauswurf*

Die Einhaltung der RIA-Kriterien in Form von abbrandabhängigen Brennstoffenthalpien (Swiss Curve) für den kalten und heissen Nulllastzustand wurde nachgewiesen, weil die Reaktivität einzelner Steuerstäbe, berechnet mit dem stationären Kernsimulator, den BE-abhängigen Grenzwert nicht übersteigt<sup>11</sup>.

Die Kriterien bezüglich Lastbetrieb aus den CRDA-Analysen für [REDACTED] sind bei Voll- und Teillast mit dem OLMCPR für Zyklus 33 abgedeckt.

### *Abbrand*

Die maximalen mit POLCA7 berechneten lokalen Entladeabbrände werden zum Ende des Zyklus 33 wie folgt betragen:

- [REDACTED] 58.2/72.3 MWd/kgU (max. BE-Abbrand/max. lokaler Abbrand);
- [REDACTED] 45.0/56.1 MWd/kgU;
- [REDACTED] 55.8/68.5 MWd/kgU.

Das bewilligte Limit von 75 MWd/kgU (lokal) wird damit eingehalten.

### *SCRAM-Zeitmessungen*

Wie üblich sollen die SCRAM-Zeitmessungen nach Erreichen des Black & White Steuerstabbilds bei einer Reaktorleistung grösser als 5 % durchgeführt werden. Die in der HSK-Stellungnahme<sup>23</sup> geforderte Bewertung dieses Vorgangs erfolgt wie folgt:

- Durchgeführte Analysen<sup>17</sup> zeigen, dass die Leistung von 8 % nicht überschritten wird. In vergangenen Zyklen wurden Leistungen bis maximal 6,5 % gemessen.
- Die Leistung von 5 % wird für maximal 14 Stunden überschritten.
- Die nukleare Sicherheit wird gewährleistet, da im entsprechenden Betriebsmodus sehr scharfe Auslösegrenzwerte für den Rod Block (12 %) und den SCRAM (15 %) aktiviert sind.



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

Der Betriebsartenschalter befindet sich gemäss GAV-1703-01 bis 10 % Leistung im Betriebsmodus 2 (Anfahren).

Die Erhöhung der Leistungsbeschränkung von 5 auf ca. 8 % für die SCRAM-Zeitmessung führt zu keiner zusätzlichen Strahlenexposition, da die Instandhaltungsarbeiten innerhalb des Drywells zu diesem Zeitpunkt abgeschlossen sind. Der erforderliche Drywell-Rundgang wird bei einer Reaktorleistung unterhalb 5 % durchgeführt.

Auf dieser Grundlage wird die Aufhebung der Leistungsbeschränkung auf 5 % für die Dauer der SCRAM-Zeitmessung nach der JHR 2016 beantragt.

### **5.1.3 Zusammenfassende Bewertung**

Zusammenfassend kommt das KKL zum Ergebnis, dass alle gesetzlichen Forderungen und sicherheitstechnischen Anforderungen für die beabsichtigte Kernbeladung hinsichtlich Stillstand und nächstem Zyklus erfüllt sind und beantragt die Freigabe für die Änderung der Kernbeladung im Rahmen des BE-Wechsels und die Aufhebung der Leistungsbeschränkung auf 5 % für die Dauer der SCRAM-Zeitmessung von maximal 14 Stunden nach der JHR 2016.

## **5.2 Erwägungen des ENSI**

### **5.2.1 Bewertung des Beladeplans**

Bei der Prüfung der neuen Kernbeladung kommt das ENSI zum Schluss, dass die notwendigen Beschreibungen, Unterlagen und Nachweise vollumfänglich vorgelegt wurden.

Die frischen BE des Typs [REDACTED] sind für Nachladungen vom ENSI freigegeben<sup>24</sup>. Die Nukleardesigns L, M und P der frischen BE wurden dem ENSI mit dem RLS 2012 bzw. RLS 2016 eingereicht. Die im Kern eingesetzten Vorläufer-BE wurden freigegeben. Bei den [REDACTED] BE wurden dem ENSI gebrochene Fingerfedern gemeldet. Das ENSI akzeptiert die vom Betreiber vorgelegte Nachweise des BE-Herstellers, welche die sicherheitstechnische Unbedenklichkeit dieser BE für den Einsatz im Zyklus 33 belegen<sup>55</sup>. Alle weiteren Vorläufer-BE zeigten in den vergangenen Zyklen das erwartungsgemässe Betriebsverhalten. Sie können daher für eine weitere Bestrahlungsperiode im Kern verbleiben. In Ergänzung zu den KKL-Angaben hält das ENSI fest, dass das BE-Kasten-Material [REDACTED] an den vier [REDACTED] Vorläufer-BE ab dem Zyklus 30 für ganze Nachladungen freigegeben ist<sup>25</sup> und in den Inspektionen ein auslegungsgemässes Verhalten gezeigt hat.

Die Grenzwerte für den Borabbrand aller eingesetzten Steuerstabtypen sind vom ENSI akzeptiert<sup>26</sup>. Im Zyklus 33 wird für aller Steuerstäbe der Grenzwert für den Borabbrand eingehalten. Das ENSI hat daher keine Einwände gegen die Verwendung der Steuerstäbe im Zyklus 33.

### **5.2.2 Bewertung des neuen Reaktorkerns**

Das ENSI überprüfte die Sicherheitsparameter in den eingereichten Dokumenten. Vom PSI wurden zudem Verifikationsrechnungen der Kernauslegungsparameter durchgeführt. Das ENSI hat einen weiteren unabhängigen Experten zur Bewertung der Massnahmen hinzugezogen. Um die Wiederholung eines Dryouts zu vermeiden hat das KKL die thermohydraulische Auslegung angepasst (siehe Abschnitt 4.1.2). Zudem ist der Zyklus deutlich kürzer ausgelegt. Auch bei diesen geänderten Randbedingungen liegen die nachgewiesenen sicherheitsrelevanten Parameter im bekannten bzw. erwarteten Bereich<sup>50, 53</sup>. Die überprüften Grenzwerte werden eingehalten. Ansonsten wurden im Vergleich zu den vergangenen Zyklen keine auffälligen Trends oder reduzierten Margen festgestellt.



**Klassifizierung:**  
Betreff:

keine  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

### *Auslegungsverfahren, Programme*

Die Änderungen am aktuell vorliegenden [REDACTED] waren geringfügig. Das ENSI hat hierzu nicht separat Stellung genommen und hat gegen die Anwendung keine Einwände. Die gültige Version des [REDACTED] ist gegenüber dem letzten Zyklus unverändert.

Die Programme POLCA7 und Core Master 2 wurden in neuen Programmversionen eingesetzt. Das KKL hat das ENSI gemäss der Richtlinie ENSI-G20 (Kapitel 4.1, Bst. g) über diese Änderungen informiert<sup>27</sup>. Die Änderungen sind geringfügig, weshalb eine Freigabe nicht erforderlich ist. Das ENSI hat keine Einwände gegen die Anwendung der neuen Programmversionen.

### *Abschaltsicherheit*

Die Abschaltbarkeit des Reaktorkerns ist mit redundanten und diversitären Sicherheitssystemen (Schnellabschaltssystem und Notborierungssystem) im Zyklus 33 nachgewiesen. Der Grenzwert wird mit deutlicher Marge eingehalten. Die PSI-Analysen bestätigen dies. Mit den Physikttests vor dem Anfahren, die das ENSI inspizieren wird, wird dies nochmals überprüft.

### *Brennstableistung, Leistungsdichte*

Das ENSI stellt fest, dass die einzuhaltenden Grenzwerte der linearen Brennstableistung und die kritische BE-Leistung für alle eingesetzten BE-Typen im RLS, worauf in der TSL Bezug genommen wird, aufgeführt sind. Die anzuwendenden Pönalen für diese Grenzwerte sind ebenfalls klar im RLS definiert.

Die Brennstabelastung der eingesetzten BE wird nach der freigegebenen Methode analysiert, die Einhaltung der definierten Grenzwerte kann das ENSI bestätigen.

### *CPR*

Die Berechnung von  $SLMCPR_{99,9}$  und  $MCPR_{0,01}$  erfolgt nach freigegebenen Methoden, die Werte liegen im Bereich der letzten zwei Zyklen. Aus Sicht des ENSI ist es zulässig, die Transientenanalysen zur Ableitung der  $\Delta CPR$ -Werte nur für den CPR-relevanten BE-Typ [REDACTED] durchzuführen. Die angewendete CPR-Pönale von 10 % für alle anderen BE-Typen im gesamten Leistungsbereich wird vom ENSI unter der Berücksichtigung der Werte letzter Zyklen ebenso wie die spezifischen Pönalen für modifizierte BE akzeptiert.

Das ENSI akzeptiert die Vorgehensweise des KKL, dass der für Dryout kritische Betriebsbereich durch die Begrenzung des Kerndurchsatzes und der Brennelementleistung vermieden wird. Zusätzlich werden mit der CPR-Methode ausreichende Margen zum Grenzwert für den Zyklus 33 ausgewiesen. Im Zyklus 32 wurden zwar ebenfalls Margen ausgewiesen, jedoch befand sich während dieses Zyklus der Reaktor in einem Betriebsbereich in welchem nach heutigem Kenntnisstand die CPR-Methode nicht uneingeschränkt anwendbar ist.

### *Transienten*

Der Umfang der für Zyklus 33 untersuchten Transienten entspricht den Vorgaben aus [REDACTED]. Einzig der Störfall FWCF wird nur bei 40%-Leistung berechnet, obwohl [REDACTED] auch eine Analyse bei 100%-Leistung vorgibt. Analog zum letzten Zyklus ist dies aus Sicht des ENSI gerechtfertigt, da der Streckbetrieb mit abgesenkter Speisewassertemperatur (FFWTR) nicht angewendet wird und damit bei Volllast deutlich tiefere  $\Delta CPR$ -Werte berechnet werden. Sollte FFWTR entgegen der Planung doch angewendet werden, sind dem ENSI vorgängig zusätzliche Analysen einzureichen.

Das Modell des Speisewasserreglers in BISON mit dem konstanten Massenstrom wird vom ENSI, wie im letzten Zyklus, als konservativ und zulässig bewertet.



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

### *Differenzdrücke*

Der Grenzwert für den Druckverlust über die untere Kerngitterplatte von 1,84 bar wird aus dem KKL-Vorgabedokument<sup>25</sup> übernommen und mit dem Wert im Zyklus 33 von 1,45 bar vom ENSI als nachgewiesen betrachtet.

Für die BE [REDACTED] muss gemäss RLS die zulässige Druckdifferenz über den BE-Kasten und die Sicherheit gegen das Abheben des BE nachgewiesen werden. Dies geht aus dem thermohydraulischen Analysebericht<sup>20</sup> hervor. Dieser Bericht wurde im Rahmen der BE-Freigabe durch das ENSI beurteilt. Das ENSI kann bestätigen, dass die Grenzwerte für die Anhebungskraft und den Kasten-Differenzdruck eingehalten werden. Das ENSI kann ebenfalls bestätigen, dass für die anderen BE-Typen akzeptierte generische Nachweise zur Einhaltung der zulässigen Druckverluste und Hebekräfte vorliegen.

### *Stabilität*

Die Stabilitätseigenschaften der eingesetzten BE wurden im Rahmen ihrer Freigabeverfahren nachgewiesen, es sind gemäss [REDACTED] keine zyklusspezifischen Nachweise erforderlich. Der im KKL installierte Stabilitätsmonitor COSMOS und der unerlaubte Betriebsbereich im Betriebskennfeld, in dem Instabilitäten auftreten können, stellen einen ausreichenden Schutz gegen diese Instabilitäten für den Zyklus 33 dar.

### *Steuerstabauswurf*

Der Nachweis wurde mit der freigegebenen Methode geführt, die Grenzwerte werden eingehalten.

### *Abbrand*

Der Grenzwert für den lokalen Abbrand von 75 MWd/kgU (peak pellet) wurde vom ENSI für alle im Zyklus 33 eingesetzten BE-Typen freigegeben und wird gemäss den Auslegungsrechnungen eingehalten. Die PSI-Analysen bestätigen dies<sup>53</sup>.

### *SCRAM-Zeitmessungen*

Der mit dem Freigabeantrag für die Änderungen der Kernbeladung gleichzeitig gestellte Antrag auf die Aufhebung der Leistungsbeschränkung von 5 % wurde entsprechend der HSK-Stellungnahme<sup>23</sup> gestellt. Die demnach zu behandelnden Themen wurden in ausreichendem Umfang beschrieben und vom KKL bewertet. Das ENSI bestätigt, dass die nukleare Sicherheit aufgrund der zur Verfügung stehenden Auslösegrenzwerte für den Rod Block und den SCRAM nicht betroffen ist. Die administrativen Vorkehrungen und ausreichende Erfahrung mit dieser Prozedur aus den vergangenen Zyklen stellen sicher, dass keine zusätzliche Strahlenbelastung des Personals auftritt.

## **6 Entscheid**

Abschliessend stellt das ENSI fest, dass mit dem Antrag<sup>1</sup> die zur Beurteilung des Gesuchs erforderlichen Unterlagen gemäss Art. 40 Abs. 2 KEV vom Antragsteller vorgelegt wurden. Dies schliesst die Unterlagen ein, welche die Inspektionen bezüglich Dryout dokumentieren und Massnahmen zur Vermeidung von Dryout im 33. Zyklus ableiten. Nach Überprüfung der zyklusspezifischen und generischen Untersuchungen bestätigt das ENSI, dass der neue, mit qualitätsgesichert hergestellten BE bestückte Reaktorkern, die definierten Sicherheitsanforderungen erfüllt. Dies schliesst ein, dass geeignete Massnahmen zur Vermeidung von Dryout im 33. Zyklus getroffen wurden.



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

Das ENSI erteilt die Freigabe für das Wiederanfahren gemäss Beladeplan „20161028-1100“ unter Beachtung der im Kapitel 7 genannten Auflagen. Gleichzeitig wird die Freigabe zur temporären Aufhebung der Leistungsbeschränkung von 5 % für die SCRAM-Zeitmessung nach der Revision unter den von dem Betreiber beschriebenen Randbedingungen erteilt.

## 7 Auflagen und Forderungen

### Auflagen

- 1) Für die Erhöhung der thermischen Leistung des Reaktors über 5 % der Nennleistung hinaus für die Aufnahme des Leistungsbetriebs ist ein Freigabeantrag zu stellen.
- 2) Sofortiges Abfahren und Inspizieren bei einem Brennstabschaden:  
Nach dem Auftreten eines Brennstabschadens, der zum Austritt von Gasen oder von radioaktiven Isotopen aus dem Hüllrohr in das Reaktorkühlmittel führt, ist die Anlage innerhalb von 96 Stunden in die Betriebsart „Heiss abgestellt“ abzufahren. Als Kriterien für einen Defekteintritt sind der rasche Konzentrationsanstieg von Helium und von radioaktiven Edelgasen im Bereich der Abklingstrecke sowie die Änderung des Verhältnisses von Xe-133 zu Xe-135 zu verwenden. Alle im Kern befindlichen Brennelemente sind anschliessend auf Dichtheit zu überprüfen.
- 3) Für den Betrieb des Reaktors ist die Anweisung Betrieb AWB/17/0002, Rev. 0 vom 23. Januar 2017, in der die Limitierungen
  - des Betriebskennfeldes mit einem maximalen Kerndurchsatz von 95 % und
  - der Bündelleistung frischer BE auf maximal 7,0 MW (respektive 7,2 MW für Lastprogramme)beschrieben werden, einzuhalten.

### Forderung

- Das KKL wird aufgefordert, GETARS-Signale gemäss<sup>57</sup> in definierten Kampagnen über den gesamten Zyklus 33 zu archivieren und dem ENSI einzureichen.

## 8 Weiteres Vorgehen

Die Freigabe für den Leistungsbetrieb erfolgt in einem dritten Schritt. Hierzu ist ein Freigabeantrag zu stellen. Dazu sind nach Abschluss der Revisionsarbeiten im Sinne des Art. 40 Abs. 2 Anhang 4 KEV („Betriebsbewilligung und Freigabe der Inbetriebnahme und des Leistungs- bzw. Dauerbetriebs“, R3/R4) folgende Nachweise mit den zugehörigen Bewertungen vorzulegen:

- Ergebnisse der Nulllast- und Anfahrmessungen (Anhang 5, KEV);
- Revisionsbericht Technik (Anhang 5, KEV);
- Bestätigung, dass die bei Redaktionsschluss des Revisionsberichts Technik noch offenen Prüfungen bis zur Leistungsaufnahme über 5 % erfüllt wurden.

Darüber hinaus müssen folgende Aufsichtstätigkeiten erledigt sein:

- System- und Komponentenbegehung durch den SVTI; sowie
- Schlussrundgang des ENSI.



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

## **9 Ausführung vor Ablauf der Rechtsmittelfrist**

Gegen diese Verfügung kann innert dreissig Tagen Beschwerde erhoben werden. Wollen Sie von der Freigabe vor Ablauf der Rechtsmittelfrist Gebrauch machen, müssen Sie schriftlich auf die Erhebung der Beschwerde verzichten.

Wir bitten Sie, uns das diesem Schreiben beigelegte Feedbackformular ausgefüllt zurückzuschicken.

Freundliche Grüsse

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI

### **Rechtsmittelbelehrung**

Gegen diese Verfügung kann innert 30 Tagen seit Zustellung Beschwerde erhoben werden. Die Beschwerde ist beim Bundesverwaltungsgericht, Postfach, 9023 St. Gallen, einzureichen. Die Frist steht still:

- a) vom 7. Tag vor Ostern bis und mit dem 7. Tag nach Ostern;
- b) vom 15. Juli bis und mit dem 15. August;
- c) vom 18. Dezember bis und mit dem 2. Januar.

Die Beschwerde ist mindestens im Doppel einzureichen und hat die Begehren, deren Begründung mit Angabe der Beweismittel und die Unterschrift des Beschwerdeführers oder seines Vertreters zu enthalten. Die Ausfertigung der angefochtenen Verfügung (oder eine Fotokopie) und die als Beweismittel angerufenen Urkunden sind beizulegen, soweit der Beschwerdeführer sie in Händen hat.

### **Beilage**

- Feedbackformular

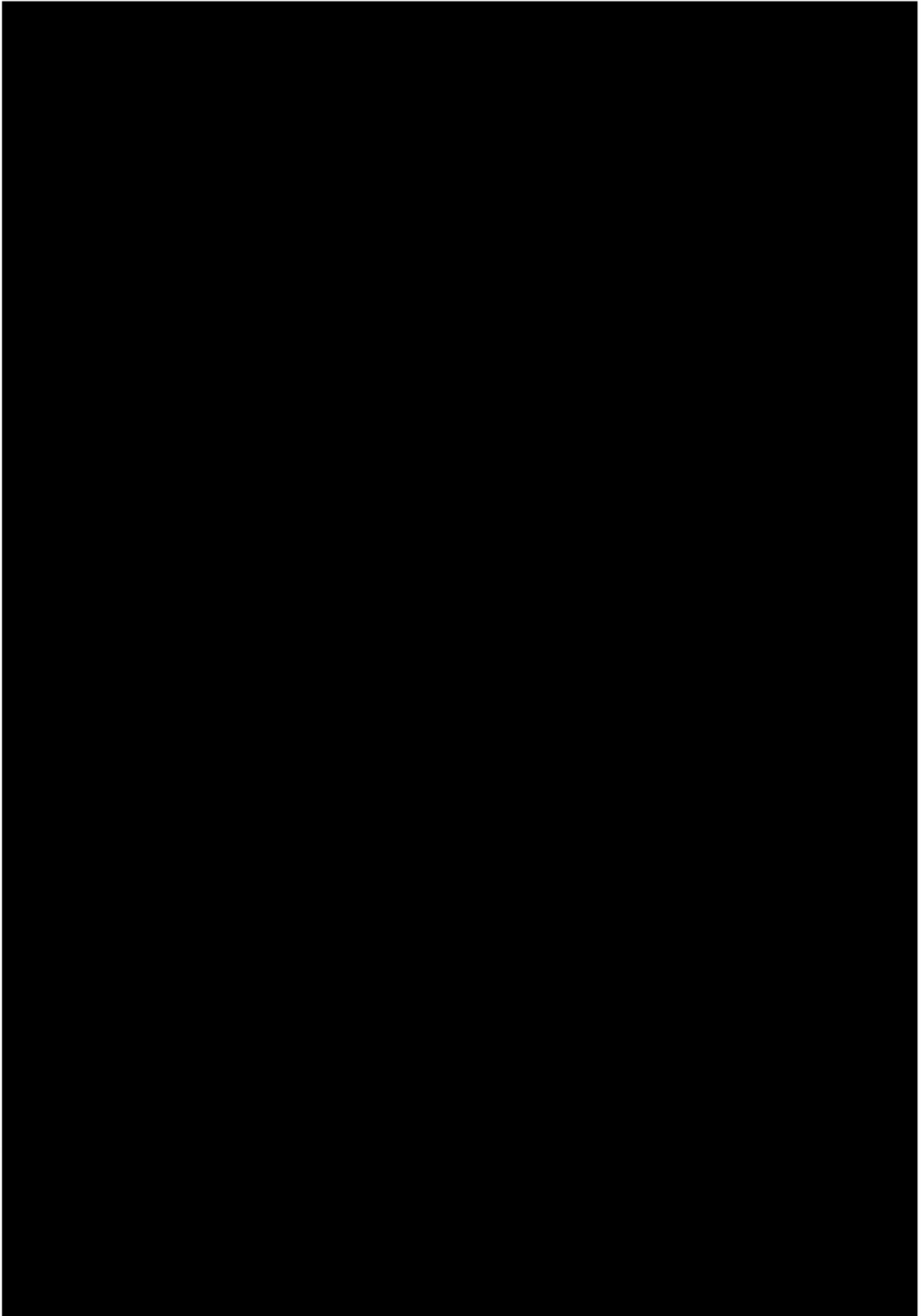
### **Referenzen**





**Klassifizierung:**  
Betreff:

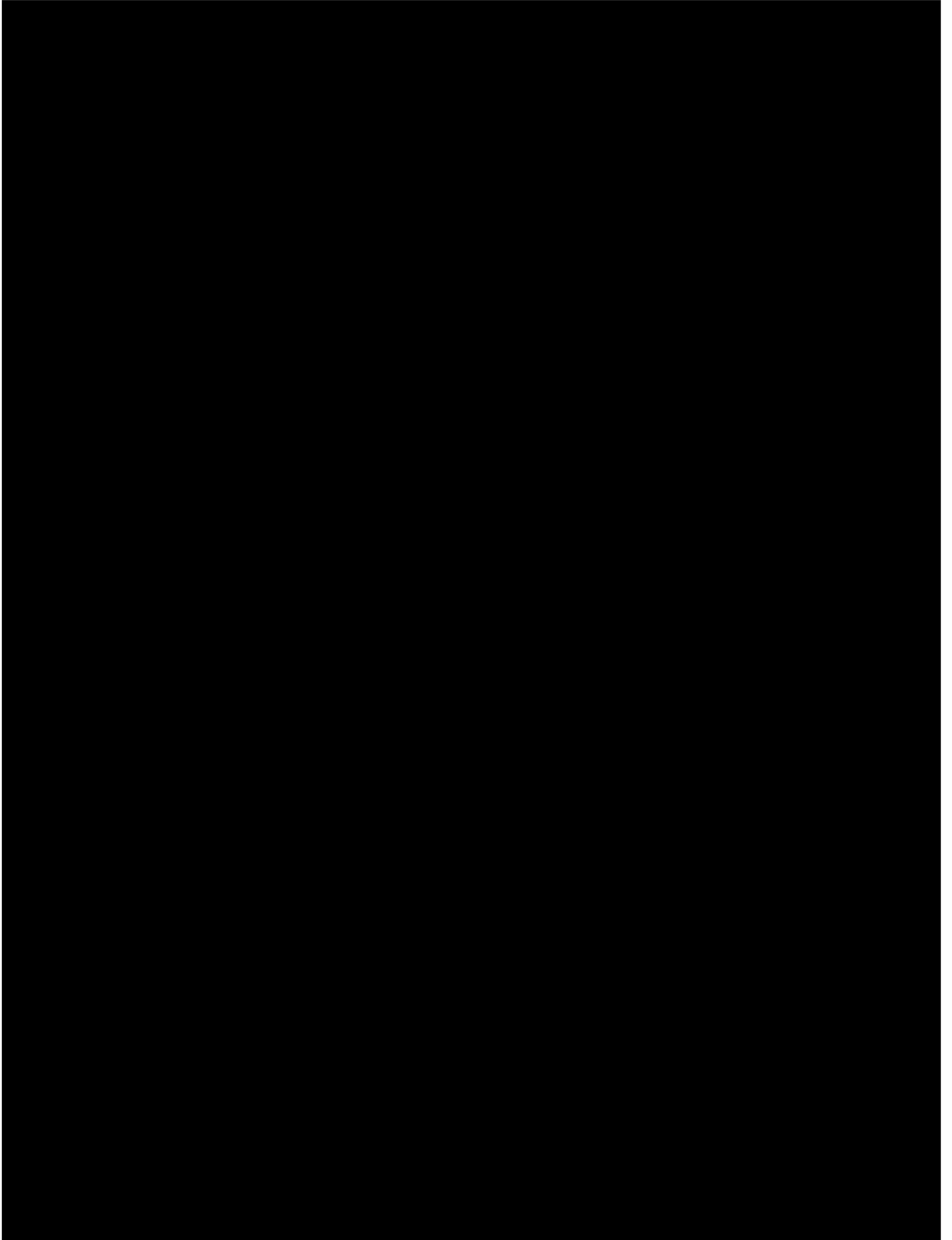
**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung





**Klassifizierung:**  
Betreff:

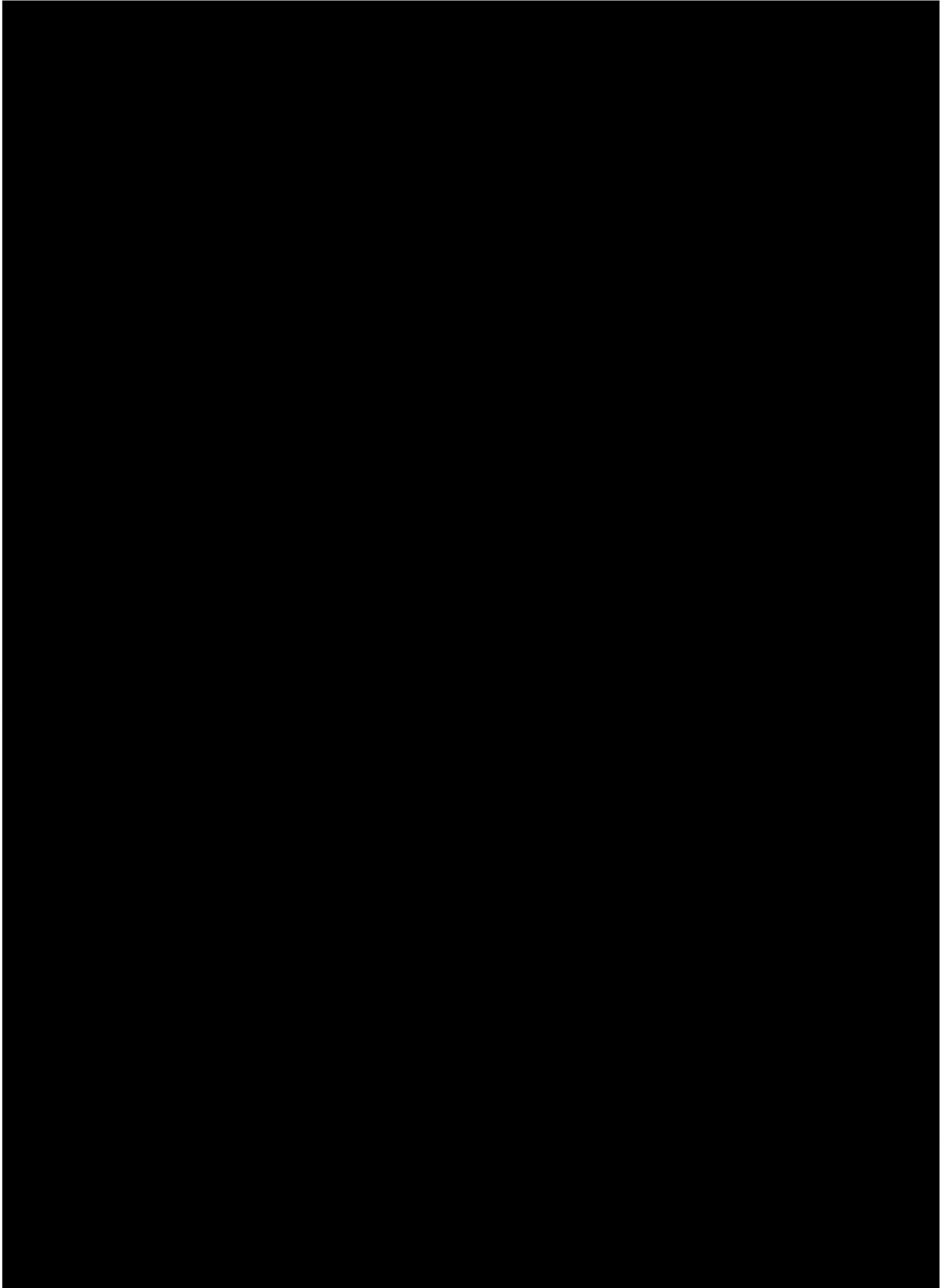
**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung





**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung





**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Zyklus 33: Freigabe des Beladeplans 20161028-1100 – Verfügung

