

## **Befunde an Brennstäben im Kernkraftwerk Leibstadt**

Zur Wiederinbetriebnahme im Februar 2017 publizierte das KKL auf seiner Website ein umfangreiches Webdossier mit Fragen / Antworten zu den Befunden, zum damaligen Wissensstand der Untersuchungen und der künftigen Fahrweise des Kraftwerks.

### ***Archivmaterial / Wissensstand 23. Februar 2017***

#### **Um was für Befunde im KKL handelt es sich?**

Bei den im Sommer 2016 festgestellten Befunden handelt es sich um lokale Stellen am oberen Ende der Brennelemente. In diesem Bereich herrscht ein sogenanntes Zweiphasengemisch (Dampf-Wasser-Gemisch). Die Brennstäbe werden in diesem Bereich von Wasser und Wasserdampf gleichzeitig benetzt. Jedoch wird die Hüllrohroberfläche durch einen Wasserfilm permanent gekühlt. Dieser Zustand ist in einem Siedewasserreaktor normal.

#### **These zu den Befunden von 2016: Lokales Dryout. Was ist das?**

Bei lokalen Dryouts muss der Wasserfilm zeitweise unterbrochen sein, so dass die Hüllrohroberflächentemperatur dadurch kurzzeitig ansteigen kann. Dabei findet immer wieder ein sogenanntes Rewetting (eine Wiederbenetzung der Hüllrohroberfläche) statt. Es gibt also ein periodisches Abwechseln zwischen Dryout- und Rewettingphasen.

#### **Welche Temperaturen herrschen im Reaktorkern und wie stark steigen die Temperaturen bei einem lokalen Dryout?**

Das KKL ist ein Siedewasserreaktor. Beim Durchfliessen des heissen Reaktorkerns nimmt das Wasser Wärme auf und steigt als Dampf-Wasser-Gemisch aus dem Kern. Der gewonnene Dampf wird zur Stromproduktion auf die Turbinen geführt.

Im oberen Teil des Reaktorkerns herrschen im Normalbetrieb Temperaturen von ca. 300 °C. Bei den lokalen Dryout-/Rewettingphasen steigen die Temperaturen auf 500 bis max. 700 °C.

(Dies darf aber nicht mit einer exothermen Zirkon-Wasserreaktion verwechselt werden, zu welcher es Temperaturen von ca. 1'200 °C braucht. Dieser Reaktionstyp führt zu einer starken Freisetzung von Wasserstoff, der sich dann im Zr-Werkstoff einlagert und dadurch zu Versprödung (=Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften) führt.)

#### **Wie gross ist das Ausmass der Befunde und wie gefährlich sind sie?**

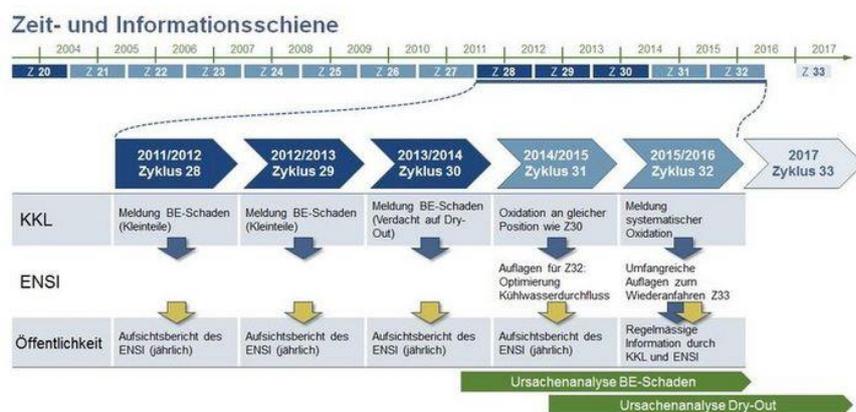
Von den insgesamt 214 untersuchten Brennelementen aus mehreren Betriebszyklen weisen 47 Befunde an wenigen Hüllrohren auf. Im Betriebszyklusjahr 2015/2016 kam es an 22 Brennelementen zu Befunden, in früheren Zyklen traten sie an 24 Brennelementen auf (entspricht 0.5 Promille). Sie sind sehr lokal und zeigen sich durch dünne, v-förmige Fahnen mit Verfärbungen von einigen Millimetern bis ca. 25 cm. (Die Brennstäbe sind ca. 4 m lang und haben einen Durchmesser von ca. 1 cm). Die Schicht beläuft sich auf max. 270 Mikrometer (0.27 mm) bei einer Wandstärke von 0.6 mm.

Die Befunde haben zu keiner Schädigung der Brennelemente geführt und die Integrität (Unversehrtheit) der Hüllrohre war jederzeit gewährleistet. Es bestand keine Gefährdung von Mensch und Umwelt. Die Anlage erfüllte jederzeit sämtliche Sicherheitsanforderungen.

## Seit wann wurden Befunde festgestellt?

Erstmals wurde im Betriebszyklus 2013/2014 ein Brennelementschaaden entdeckt, der auf einen lokalen Dryout zuruick zu fuhren ist. Dabei handelte es sich um einen einzigen Brennstab von uiber 62'000. 2014/2015 wurden erneut Befunde an derselben lokalen Stelle festgestellt. In der Folge wurden der Kuhlmitteldurchfluss optimiert und umfassende Untersuchungen an den Brennelementen initiiert.

Bei den umfangreichen Inspektionsarbeiten, die wir seit August 2016 durchgefuehrt haben, wurden uiber 200 Brennelemente aus verschiedenen Betriebszyklen (ein Betriebszyklus dauert ca. ein Jahr) untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass es seit 2011/2012 Befunde an Brennstaeben gab.



## In der Vergangenheit kam es zu Brennelementschaden, was waren die Ursachen?

In den Jahren 2011 bis 2013 waren die Ursachen Fremdkorperreibungen von Kleinstteilen, die sich im Kuhlmittel befinden (z.B. ein kleines Stuick Draht, das waehrend der Revision ins Kuhlwasser gefallen ist). Dies ist ein bekanntes Phaenomen, das auch in anderen Kernkraftwerken auftritt. Diese Schadensart ist im KKL allerdings selten geworden, da die Brennelemente heute sehr wirksame Filter dagegen aufweisen.

Der Brennstoffschaden im Jahr 2014 hingegen ist auf einen lokalen Dryout zuruick zu fuhren. Damals war ein einzelner Brennstab betroffen. Im Umfeld dieses Brennstabs wurde der Steuerstab eingefahren und damit die Leistung des betroffenen und der benachbarten Brennelemente bis Ende des Betriebszyklus reduziert. Bei diesem Brennstoffschaden wurde das Huellrohr beschadigt und radioaktive Stoffe gelangten in den geschlossenen Kuhlkreislauf. Die Abgaben radioaktiver Stoffe aus dem Abluftkamin an die Umgebung waren aufgrund des Schadens leicht erhoht, lagen aber mit 0,8% der gesetzlichen Abgabelimite von Iod auf sehr tiefem Niveau.

## Sind die Leistungserhoehungen der letzten Jahre Schuld an den Befunden?

In keiner Weise. Vorab gilt es zwischen der thermischen Leistung des Reaktors von 3'600 MWth und der elektrischen Nennleistung Brutto von 1275 MW zu unterscheiden.

Die Reaktorleistung (thermische Leistung) wurde 2002 letztmals erhoht. Die Leistungsverbesserung seit 2012 sind Nennleistungserhoehungen und beruhen auf Verbesserungen des Wirkungsgrads der Anlage. Die Erneuerung der Niederdruckturbinen (2010) und des Generators (2012) waren massgeblich fuer diese Leistungsverbesserungen verantwortlich. Der Generator wurde erneuert, um

die Verbesserung des Wirkungsgrades in elektrische Energie umsetzen zu können. Eine Wirkungsgradverbesserung wurde auch durch die Erneuerung der Kühlturmeinbauten erreicht.

### Entwicklung der Nenn-Leistung KKL



### Um was für Brennstäbe handelt es sich?

Die aus den Untersuchungen und Analysen gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass nur einjährige Brennelemente am Ende des Betriebszyklus betroffen sind (ein Betriebszyklus dauert ca. ein Jahr).

Es handelt sich um Nebeneckstäbe, sogenannte „Next-to-Corner Rods“. Diese Brennstäbe erfahren im Brennelement die höchsten linearen Stablängenleistungen im Kern des Reaktors.

### Wie viele Brennelemente mussten ausgetauscht oder repariert werden und wie funktioniert das?

Von den 47 betroffenen Brennelementen konnten diejenigen mit schwächeren Befunden wieder in den Reaktorkern eingesetzt werden. Bei 15 stärker betroffenen Brennelementen wurden 32 der insgesamt 62'208 Brennstäbe repariert. Dabei wird das betroffene Hüllrohr durch einen sog. Dummy Stab, einem Zirkonium Stab ohne Uran, ersetzt. Dies ist ein weltweit anerkanntes und bewährtes Verfahren.

### Wie kann verhindert werden, dass es im nächsten Betriebszyklus zu weiteren Befunden kommt?

Das KKL hat in den letzten Monaten mehr als 200 verschiedene Brennelemente aus verschiedenen Zyklen an verschiedenen Positionen untersucht. Die aus den umfangreichen Untersuchungen und Analysen gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass nur einjährige (neue) Brennelemente am Ende des Betriebszyklus betroffen sind. Es handelt sich um die sogenannten Nebeneckstäbe „Next-to-Corner Rods“. Diese Brennstäbe sind am stärksten beansprucht. Aus diesem Grund weisen Brennstäbe an anderen Positionen deutlich weniger Befunde auf.

Das KKL hat basierend auf diesen Ergebnissen für den kommenden Betriebszyklus die Kernausslegung angepasst. Bei den 84 neu eingesetzten Brennelementen wurde die maximal zulässige Brennelementleistung herabgesetzt, was dazu führt, dass die Gesamtleistung des Reaktors im nächsten Betriebszyklus im Mittel auf 90% limitiert ist. Zudem wird der maximale Kerndurchsatz auf 95 % festgelegt.

### **Wie werden die Brennelemente während des Betriebes überwacht?**

Der Reaktorkern wird laufend überwacht. Die Überwachungsprogramme liefern verschiedene Kenngrößen u.a. auch bezüglich der herrschenden Siedezustände. Die Einhaltung der Grenzwerte wird durch die Überwachung mit dem Kernüberwachungssystem gewährleistet.

Schliesslich werden nach jedem Betriebszyklus in der Jahreshauptrevision Brennstoffinspektionen durchgeführt. Würde es im kommenden Betriebszyklus zu einem Brennstoffschaden kommen, würden dies die Überwachungssysteme umgehend anzeigen und die dafür notwendigen Sicherheitsmassnahmen einleiten. Das KKL würde die Anlage gemäss ENSI-Auflage geordnet herunterfahren.

### **Das Worst-Case-Szenario zur Hypothese von 2016, Local Dry Out?**

Im Normalbetrieb wäre das schlimmste Szenario, dass ein Hüllrohr undicht und Radioaktivität in das Reaktorkühlwasser entweichen würde. Diese Radioaktivität wird dann durch die verschiedenen Filter- und Reinigungsanlagen im Kraftwerk zurückgehalten. Die Umgebung wird dadurch nicht belastet.

Das KKL und der Brennelementhersteller haben umfangreiche Sicherheitsbewertungen auch für Störfälle durchgeführt. Im Zuge dieser Tests simulierte das KKL die werkstoffseitigen und mechanischen Bedingungen sowie die Reaktionen der Brennstäbe unter den Bedingungen des grösstmöglichen Störfalles, nämlich eines sog. Kühlmittelverluststörfalles. Dabei handelt es sich um einen plötzlichen Abriss einer Reaktorhauptleitung. In einem solchen Fall wirken im Kern starke Strömungskräfte auf den Brennstoff. Der Brennstoff ist indessen für einen derartigen Störfall berechnet und ausgelegt.

Im vorliegenden Fall wurde klar gezeigt, dass selbst „angegriffene“ Hüllrohre mit den stärksten lokalen Befunden diesen Störfallkräften widerstehen, ohne zu brechen und ohne Radioaktivität aus den innen liegenden Brennstofftabletten in den Kühlkreislauf zu entlassen. Diese Nachweise wurden nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zur Störfallanalyse erbracht. Die Simulationsergebnisse wurden dem ENSI eingereicht. Das ENSI befand die Ergebnisse nach sorgfältiger Prüfung als richtig. Im Endergebnis heisst dies, dass auch unter ungünstigsten Störfallbedingungen in Bezug auf die Befunde an den Brennstäben keine Gefahr für die Bevölkerung ausgeht.

### **Weshalb kann das KKL den Betrieb wieder aufnehmen, ohne die Ursachen der Brennelement-Befunde restlos zu kennen?**

Die Bedingungen, unter denen es im KKL zu Befunden an einzelnen Brennelementen gekommen ist, sind bekannt. Verschiedene Massnahmen stellen sicher, dass es im nächsten Betriebszyklus zu keinen neuen Befunden kommt.

Aufgrund eines umfangreichen Inspektionsprogrammes, das während des Stillstandes durchgeführt wurde, zeigte sich, dass die Befunde bei angepasster Fahrweise nicht mehr auftreten. Vor diesem Hintergrund hat das KKL bei den 84 Brennelementen, die für den nächsten Betriebszyklus neu eingesetzt werden, die Auslegung entsprechend angepasst und die Leistung reduziert. Zudem wird der maximale Kerndurchsatz auf 95 % festgelegt. Der Kerndurchsatz ist die Menge Wasser, die pro Zeiteinheit durch den Kern gepumpt wird. Die Gesamtleistung des Reaktors wird dadurch auf rund 90 % limitiert.

Somit schliesst das KKL die zu Befunden führenden Bedingungen für den nächsten Betriebszyklus aus. Parallel dazu führt es die vertiefte Ursachenanalyse weiter. Dazu arbeiten Spezialisten des KKL gemeinsam mit dem Brennelementhersteller, dem Reaktorhersteller und unabhängigen, internationalen Fachexperten. Im Fokus der Untersuchungen stehen die Prozesse im Reaktorkern sowie die Analyse betrieblicher Parameter.