

AKW Brokdorf und rostige Brennelemente – Unklarheiten über Ursachen bleiben

umweltfairaendern.de/2017/07/akw-brokdorf-und-rostige-brennelemente-unklarheiten-ueber-ursachen-bleiben/
Dirk Seifert

July 19, 2017



Das Kieler Energieministerium bzw. die Atomaufsichtsbehörde unter Leitung des grünen Ministers Robert Habeck hat der Beladung des Reaktorkerns für das Atomkraftwerk Brokdorf zugestimmt. Eine Zustimmung zum Wiederaufstart des seit Februar wegen erhöhter Roststellen an den Brennelementen abgeschalteten Atommeilers an der Unterelbe steht noch aus. Betreiber E.on (PreußenElektra) hofft, dass das AKW Ende Juli wieder in Betrieb gehen könnte. Dann aber mit der Auflage, die Leistung auf maximal 95 Prozent zu reduzieren und den Lastfolgebetrieb einzuschränken. Das AKW hat eine genehmigte Restlaufzeit bis Ende 2021. Allerdings: Ob damit die Ursachen vollständig geklärt sind, wie Habeck es bei der Stilllegung im Februar versprochen hat, ist unklar: Im Leitartikel der WZ vom 18.7. heißt es unter der Überschrift „Glauben ist nicht wissen“: „Allerdings steht in Unterlagen seines Ministeriums: Noch nicht schlüssig, abdeckend und widerspruchsfrei sind die chemischen und physikalischen Einzelparameter und ihr quantitativer Beitrag zu dem Prozess geklärt.“

Laut taz erklärte Minister Habeck zu den Ursachen: „Habeck zufolge haben mehrere Faktoren zu der Oxidation geführt. Neben dem Hüllrohrmaterial seien der Hochleistungskern und ein immer häufigeres, schnelles Hoch- und Runterfahren des Reaktors die Gründe. 2006 hatte das Ministerium eine Leistungserhöhung genehmigt, die eine elektrische Bruttoleistung von 1480 statt zuvor 1440 Megawatt ermöglichte. Seit 2011 praktizierte der Betreiber zudem häufiger den Lastfolgebetrieb, je nach Auslastung der Stromnetze. Ab 2015 sei diese Lastwechselfahrweise weiter intensiviert worden, sagte Habeck.“ Betreiber E.on/PreussenElektra hat sich aktuell nicht geäußert.

Die Taz verweist neben der Leistungsreduzierung und den Begrenzungen für den Lastfolgebetrieb außerdem darauf: „Ergänzend zu den Betriebsänderungen soll Preussen Elektra noch weitere Maßnahmen ergreifen, um die chemischen Randbedingungen im Reaktor zu verbessern.“

Auch der NDR berichtet ausführlich über die Entscheidung des Energie/Atomministeriums in Schleswig-Holstein. Dort ist zu lesen: „Für April 2018 ist die nächste Revision geplant. Dann wird nachgesehen, ob die Auflagen Abhilfe geschaffen haben. Oder wie der Leiter des Atomaufsicht sagte: „Dann wird nachgemessen.““

Im (online nicht verfügbaren) Leitartikel (18.7.2017) von Kay Müller in der zum SHZ-Verlag gehörenden Wilsterschen Zeitung ist allerdings zu lesen: „Er (Habeck) erklärte, das Akw erst wieder ans Netz zu lassen, wenn die Ursachen geklärt seien, Nun, sagt Habeck, sei das der Fall. Allerdings steht in Unterlagen seines Ministeriums: „Noch nicht schlüssig, abdeckend und widerspruchsfrei sind die chemischen und physikalischen Einzelparameter und ihr quantitativer Beitrag zu dem Prozess geklärt.“ Ganz genau weiß also die Atomaufsicht noch immer nicht, warum die Oxidationen im Druckwasserreaktor stark zugenommen haben. So ist es übrigens auch bei einem ähnlichen Fall – allerdings in einem Siedewasserreaktor im schweizerischen Leibstadt. Auch der läuft wieder.“ Die Quelle für das Zitat in dem Leitartikel ist hier in der PDF aus dem Energie/Atomministerium nachzulesen, siehe auch unten als Dokumentation. In der SHZ ist außerdem dieser Artikel zu lesen.

In der Darstellung des Ministeriums heißt es nach der bei Müller zitierten Aussage weiter: „Da zum Teil im Reaktorkern lokal begrenzte Randbedingungen als Ursache unterstellt wurden, die jedoch messtechnisch nicht zugänglich sind, konnten die von der Betreibergesellschaft und dem Hersteller aufgestellten Thesen sowie auch von den Sachverständigen eingebrachte Modelle bezüglich eines physikalisch/chemischen Prozesses bisher nicht bestätigt werden. Der Betreibergesellschaft bleibt es unbenommen, in Zukunft noch den Nachweis zu führen, dass lediglich Einzelparameter, etwa nur die Wasserstoffkonzentration, maßgeblich sind. Die Sachverständigen haben diesbezüglich noch weitere Erkenntnismöglichkeiten aufgezeigt, etwa Werkstoffprüfungen am oxidierten Material oder die weiter vertiefte Untersuchung thermodynamischer Effekte.“

Müller verweist mit Blick auf die Erklärung des Ministeriums auch auf andere Ungereimtheiten: „Dabei gibt es einige Unklarheiten. Vier Jahre nachdem die Atomaufsicht die Höchstlast für den Meiler heraufgesetzt hat, zeigte bereits eine Studie, dass die in Brokdorf verwendeten Hüllrohre die Oxidation der Brennstäbe begünstigen können. Und genau ein Jahr später stiegen die Messwerte im Akw Brokdorf folgerichtig an. Reagiert hat

offenbar niemand. Auch nicht darauf, dass es diese Auffälligkeiten auch in anderen deutschen Akws gab. Erst als der Grenzwert überschritten wurde, untersagte Habeck das Wiederauffahren des Brokdorfer Meilers.“

Das Fazit von Müller: „So bleibt nur der Glaube, dass mit den Auflagen der sichere Betrieb des Akws Brokdorf möglich ist. Glauben ist allerdings nicht wissen – und daher ein bisschen wenig für den Umgang mit dieser riskanten Technologie.“

Der Tagesspiegel berichtet: „Ende Februar wurde klar, dass an 464 Brennstäben ein erhöhter Oxidbefund unterhalb des Grenzwertes und an zehn Brennstäben in drei Brennelementen eine Oxidschicht größer als 0,1 Millimeter gemessen wurde. Damit war der Grenzwert überschritten. Schon seit 2011 seien aber Hinweise auf eine erhöhte Korrosion bekannt gewesen, heißt es in der Mitteilung des Ministeriums.“ In der PM des Ministeriums ist dazu zu lesen: „Im Zuge der Jahresrevision waren bei einer stärkeren Oxidbildung an Brennstäben aufgefallen. Dabei handelte es sich ausschließlich um Brennstabhüllrohre aus dem Material M5, wobei allerdings nicht jeder M5-Brennstab betroffen war. Insgesamt wurden 92 M5-Brennelemente – und dabei 5.405 Brennstäbe – vermessen. Davon wiesen 464 Brennstäbe einen erhöhten Oxidbefund unterhalb des Grenzwertes auf. In 3 Brennelementen an 10 Brennstäben wurden Oxidschichtdicken größer als 100 Mikrometer gemessen. Damit war hier der Grenzwert erstmals überschritten.“

Dokumentation der Pressemitteilung der Kieler Energie- und Atombehörde:

Kernkraftwerk Brokdorf: Erhöhte Leistung und intensiverer Lastwechsel haben Oxidation von Brennstäben verstärkt

Datum 17.07.2017

Energiewendeminister Habeck: „Brokdorf darf künftig nur in einem abgesicherten Modus betrieben werden.“

KIEL. Zu der ungewöhnlich schnellen und starken Korrosion an Brennstäben im Kernkraftwerk Brokdorf hat nach Feststellung der schleswig-holsteinischen Atomaufsicht ein Zusammenspiel von mehreren Faktoren geführt. „Neben dem Hüllrohrmaterial sind die hohen Leistungsanforderungen verantwortlich: der Hochleistungskern und ein immer häufigeres, schnelles Hoch- und Runterfahren des Reaktors. Diese Beanspruchung hat nach unseren Erkenntnissen zu der unerwarteten Oxidation im oberen Bereich einiger Brennstäbe geführt“, sagte Energiewendeminister Dr.(.) Robert Habeck heute (17. Juli 2017).

Leistung und Lastwechsel werden deutlich reduziert

Unter der Voraussetzung, dass die Leistung und der sogenannte Lastfolgebetrieb nun reduziert werden, hat die Atomaufsicht am Freitagabend (14. Juli) der Beladung eines neuen Reaktorkerns zugestimmt. „Der Betreiber PreussenElektra dreht jetzt das Rad elf Jahre zurück und stellt die Anlage auf den Betrieb von vor 2006 ein. Für diese Zeit gibt es eine gesicherte Betriebserfahrung mit dem betroffenen Hüllrohrmaterial. Brokdorf fährt künftig also im abgesicherten Modus“, sagte Habeck. Die Leistung werde auf 95 Prozent reduziert, die Lastwechselgeschwindigkeit halbiert. „Damit wird sicher verhindert, dass sich

die überaus starke Oxidation wiederholt und die Grenzwerte überschritten werden“, betonte der Minister. Mit der Zustimmung zum Beladen des Kerns ist noch nicht automatisch die Zustimmung zum Wiederaufstart verbunden.

2006 war eine Leistungserhöhung genehmigt worden, die eine elektrische Bruttoleistung von 1480 statt zuvor 1440 Megawatt ermöglichte. Seit 2011 praktizierte der Betreiber zudem immer häufiger den Lastfolgebetrieb, je nach Auslastung der Stromnetze. Gerade in den Betriebszyklen von 2015 an wurde diese Lastwechselweise weiter intensiviert. Hinweise auf etwas erhöhte Korrosion gab es seit 2011, der Grenzwert wurde erstmals Anfang 2017 überschritten. Das Hüllrohrmaterial M5 blieb mit derselben Spezifikation das Gleiche – vor 2006 und danach. Aber unter den geänderten Einsatzbedingungen zeigten sich an einigen Brennstabhüllrohren des sonst grundsätzlich sehr korrosionsbeständigen Materials Oxidationsschichten im oberen Bereich, wo diese nicht erwartet wurden, und in einer Wachstumsrate, die ebenfalls über dem Erwartungswert lag.

(Zwischenüberschrift mit Foto: Die Untersuchungen kamen akribischer Detektivarbeit gleich. Dr. Robert Habeck

Im Februar waren im Zuge der Jahresrevision des Kernkraftwerks Brokdorf – einer jährliche Überprüfung verbunden mit einem Brennelementwechsel – Oxidschichten an Brennstäben festgestellt worden, die dicker waren und schneller und an anderen Stellen auftraten als erwartet. An einigen Brennstäben wurden die Grenzwerte deutlich überschritten. Seitdem befindet sich das Kernkraftwerk nicht im Leistungsbetrieb.

Nach Feststellung der Oxidschichten hatte die Atomaufsicht von der Betreibergesellschaft verlangt, die Ursachen so weit wie möglich aufzuklären und sicherzustellen, dass der Grenzwert nicht noch einmal überschritten wird. Dazu hat die Betreibergesellschaft mehrere Berichte gefertigt. Die Atomaufsicht und die von ihr hinzugezogenen Sachverständigen stellten daneben eigene Prüfungen an und werteten bundesweite und internationale Erkenntnisse aus. „Das kam akribischer Detektivarbeit gleich“, sagte Habeck.

Mehrere Thesen wiesen Lücken auf

Durch die Betreibergesellschaft waren zunächst das Material, die Wasserchemie und thermohydraulische Bedingungen untersucht worden. „Bei genauer Prüfung durch die Sachverständigen und die Atomaufsicht fielen in den meisten Thesen jedoch Lücken oder Widersprüche auf, so dass die Erklärungsmodelle der Betreibergesellschaft nicht belegt sind“, sagte der Leiter der Atomaufsicht Dr.() Dr.() Jan Backmann.

So konnten besondere oxidative Randbedingungen im oberen Bereich des Reaktorkerns nicht durch die erlangten Messergebnisse verifiziert werden. Auch ließ sich kein spezifischer Zusammenhang zwischen Oxidation und bestimmten Brennelement-Nachlieferungen (Ingot) herstellen, genauso wenig wie zu bestimmten Materialeigenschaften, etwa zum Eisengehalt.

Dagegen wurde im Laufe der Untersuchungen die Korrelation zwischen Leistung, Lastfolge und Oxidation immer deutlicher. „Die Betriebsanforderungen in Brokdorf liegen auch deutlich über jenen im Ausland“, sagte Backmann. „Durch die jetzt von der Betreibergesellschaft vorgenommenen Änderungen werden die Leistungsanforderungen

zurückgeführt und die Betriebsweise wird vergleichbar mit Kernkraftwerken im Ausland und solchen Anlagen im Inland, in denen bisher keine vergleichbaren Oxid auffälligkeiten an M5-Hüllrohren festgestellt wurden.“

Betreiber kann weitere Prüfungen vornehmen

Diese eingeschränkten Betriebsbedingungen müssten so lange bestehen bleiben, wie es dem Betreiber nicht gelingt, nachzuweisen, dass nur bestimmte Parameter die Oxidation verursachen, die sich gezielt ausschalten lassen und dann auf diesem Weg die Einhaltung des Grenzwerts sichergestellt werden kann. Die Sachverständigen haben dafür noch weitere Erkenntnismöglichkeiten aufgezeigt, etwa Werkstoffprüfungen am oxidierten Material oder die Untersuchung thermodynamischer Effekte.

Ergänzend zu den Betriebsänderungen ergreift der Betreiber noch zusätzliche Maßnahmen, um die chemischen Randbedingungen zu verbessern. So werden der Wasserstoffgehalt erhöht und die Messungen von Wasser- und Sauerstoff verbessert. Daneben werden für die Zukunft Änderungen bei der Wasserstoffdosierung, insbesondere in der Phase des Abfahrens des Reaktors, vorgenommen. Grund dafür ist, dass die Behörde hier Abweichungen von den Richtlinien zur Wasserchemie des Reaktorkühlkreislaufes festgestellt hat.

Hintergrund – Weitere Informationen

Info Fragen und Antworten zum Stillstand des Kernkraftwerks Brokdorf 2017 (Überhöhte Oxidschichtdicken an Brennstäben)

Grundsätzlich ist Oxidation von Brennstäben ein normaler Prozess. Die Brennstäbe (gebündelt in Brennelementen) werden im Reaktorkern mit boriiertem Wasser gekühlt. Durch die Strahlung im Reaktorkern werden die Wassermoleküle des Kühlmittels in Sauerstoff und Wasserstoff aufgespalten (Radiolyse). Der Sauerstoff kann dabei im Reaktorbetrieb mit der heißen Metalloberfläche des Brennstabhüllrohres reagieren. Dort bildet sich dann eine leichte Oxidschicht aus. Dies ist ein normaler Prozess und im Prinzip nicht bedenklich.

Die Schichtdicke darf aber ein bestimmtes Maß nicht überschreiten, da dann das etwa 0,7 Millimeter (= 700 Mikrometer) dicke Hüllrohr der Brennstäbe unzulässig geschwächt wird und die Wärmeabgabe an das Kühlmittel verschlechtert wird.

Im Zuge der Jahresrevision waren bei einer stärkeren Oxidbildung an Brennstäben aufgefallen. Dabei handelte es sich ausschließlich um Brennstabhüllrohre aus dem Material M5, wobei allerdings nicht jeder M5-Brennstab betroffen war. Insgesamt wurden 92 M5-Brennelemente – und dabei 5.405 Brennstäbe – vermessen. Davon wiesen 464 Brennstäbe einen erhöhten Oxidbefund unterhalb des Grenzwertes auf. In 3 Brennelementen an 10 Brennstäben wurden Oxidschichtdicken größer als 100 Mikrometer gemessen. Damit war hier der Grenzwert erstmals überschritten.

Das Kernkraftwerk Brokdorf ist eines von drei Kernkraftwerken in Schleswig-Holstein. Während die Kernkraftwerke Krümmel und Brunsbüttel in Folge des Atomausstiegs keine Berechtigung zum Leistungsbetrieb mehr haben, darf Brokdorf laut Gesetz noch bis längstens Ende 2021 Strom produzieren. Medien-Information vom 17. Juli 2017 zum Herunterladen (PDF 182KB, Datei ist nicht barrierefrei)

Dokumentation (abgefragt 19.7.2017) von der Homepage der Kieler Energie- und Atombehörde:**Fragen und Antworten zum Stillstand des Kernkraftwerks Brokdorf 2017 (Überhöhte Oxidschichtdicken an Brennstäben)**

Im Kernkraftwerk Brokdorf sind im Februar Oxidschichten an Brennstäben festgestellt worden, die dicker waren, schneller und an anderen Stellen auftraten als erwartet. An einigen Brennstäben wurden die Grenzwerte deutlich überschritten. Seitdem ist das Kernkraftwerk nicht am Netz. Nach intensiven Untersuchungen ist klar: Neben dem Hüllrohrmaterial sind die hohen Leistungsanforderungen an den Reaktor verantwortlich. Um wieder Strom produzieren zu dürfen, muss Brokdorf nun die Leistung und den Lastfolgewechsel reduzieren.

1. Wie ist es zu dem langen Stillstand des KKW Brokdorf im Jahre 2017 gekommen?

Während der Jahresrevision -- einer jährlichen Überprüfung des Kernkraftwerks Brokdorf verbunden mit einem Brennelementwechsel -- wurden an Brennstäben im Reaktorkern Oxidschichten festgestellt, die dicker waren und schneller und an anderen Stellen auftraten als erwartet. An einigen Brennstäben wurden die Grenzwerte deutlich überschritten. Seitdem befindet sich das Kernkraftwerk nicht im Leistungsbetrieb. Das Kernkraftwerk darf erst wieder ans Netz gehen, wenn ausgeschlossen werden kann, dass sich ein derartiges Ereignis wiederholt. Die Untersuchungen zur Klärung der Ursachen und die Sicherstellung der Einhaltung der sicherheitstechnischen Randbedingungen erforderten eine vertiefte und gründliche Bewertung. Daneben waren weitere Ereignisse und revisionstypische Vorgänge abzuarbeiten und zu bewerten.

2. Wodurch wurde man auf die verstärkte Oxidbildung aufmerksam?

Das Kernkraftwerk Brokdorf wurde am 4. Februar 2017 zum jährlichen Brennelementwechsel und zu der damit verbundenen Revision vom Netz genommen. Während des diesjährigen Anlagenstillstandes sollte der Reaktordruckbehälter mit 60 neuen Brennelementen beladen werden. Beim Entladen von Brennelementen wurden im Reaktorwasser außergewöhnlich viele Schwebstoffe festgestellt, die sich als abgelöste Teile der Oxidschichten an Brennstäben einer bestimmten Brennelementsorte herausstellten. Gezielte Messungen ergaben Schichtdicken, die die Grenzwerte und Zuwachsprognosen an einigen Stellen deutlich überschritten.

3. Wie viele Brennstäbe und Brennelemente sind von der verstärkten Oxidbildung betroffen?

Von der verstärkten Oxidbildung war eine Teilmenge der im letzten und vorletzten Zyklus eingesetzten Brennelemente betroffen. Dabei handelte es sich ausschließlich um Brennstabhüllrohre aus dem Material M5, wobei allerdings nicht jeder M5-Brennstab betroffen war. Insgesamt wurden mit den verschiedenen Messverfahren 92 M5-Brennelemente, dabei 5.405 Brennstäbe vermessen. Davon wiesen 464 Brennstäbe einen erhöhten Oxidbefund unterhalb des Grenzwertes auf, wobei an 10 Brennstäben Oxidschichtdicken größer als 100 Mikrometer gemessen wurden.

4. Wieso bilden sich Oxidschichten an Brennstäben? Ist das normal?

Die Brennstäbe werden im Reaktorkern mit boriiertem Wasser gekühlt. Durch die Strahlung im Reaktorkern werden die Wassermoleküle des Kühlmittels in Sauerstoff und Wasserstoff aufgespalten (Radiolyse). Der Sauerstoff kann dabei im Reaktorbetrieb mit der heißen Metalloberfläche des Brennstabhüllrohres reagieren. Dort bildet sich dann eine leichte Oxidschicht aus. Dies ist ein normaler Prozess und im Prinzip nicht bedenklich. Die Schichtdicke darf aber ein bestimmtes Maß nicht überschreiten, da dann das etwa 0,7mm (= 700 Mikrometer) dicke Hüllrohr der Brennstäbe unzulässig geschwächt wird und die Wärmeabgabe an das Kühlmittel verschlechtert wird.

5. Ab wann ist die Oxidschicht zu dick?

Der Grenzwert für die gesamte Einsatzdauer eines Brennelementes (in der Regel bis zu 5 Zyklen, das entspricht etwa 5 Jahren) liegt bei einer Oxidschichtdicke von höchstens 100 Mikrometern (ein Mikrometer entspricht einem tausendstel Millimeter). Dieser Grenzwert wurde bei mehreren Brennstäben überschritten, obwohl sie erst zwei Zyklen im Einsatz waren – davon war der letzte Zyklus eher kurz. In einem Fall wurde punktuell sogar eine Oxidschicht von 152 Mikrometern gemessen.

6. Was kann eigentlich passieren, wenn die Oxidschicht an einem Brennstab zu dick ist?

Mit wachsender Oxidschicht nimmt die Restwandstärke des Brennstabes ab, die Wand wird also dünner. Ab einem bestimmten Maß kann es zu einem Integritätsverlust des Hüllrohres kommen. Dann können radioaktive Stoffe in das Primärkühlmittel gelangen, wo diese registriert werden und die Anlage bei Überschreitung der Aktivitätsgrenzwerte heruntergefahren werden muss. Außerdem kann bei einer zu starken Oxidschicht die Wärme vom Brennstab in das Kühlmittel nicht mehr so abgeführt werden wie vorgesehen. Der Wärmeübertrag würde also unzulässig beeinflusst werden. Um dieses zu verhindern, werden vor jedem Einsatz eines neuen Reaktorkerns Prognosewerte für die Oxidschichten anhand von Rechenmodellen ermittelt.

7. Ist durch die Oxidation der Brennstäbe eine erhöhte Strahlenbelastung für die Bevölkerung entstanden?

Die festgestellte Oxidation der Brennstäbe hat zu keinem Integritätsverlust der Brennstäbe geführt, so dass keine radioaktiven Stoffe freigesetzt worden sind. Aber selbst bei einem Integritätsverlust würde es zu keiner erhöhten Strahlenbelastung der Bevölkerung kommen, weil die radioaktiven Stoffe im Primärkreis verbleiben und die Anlage kontrolliert abgefahren werden würde. Die Anlage verfügt hierzu über das Reaktorwasserreinigungssystem, mit dem das Primärkreiskühlmittel gereinigt und die radioaktiven Stoffe herausgefiltert werden.

8. Was ist die Ursache für die überhöhten Oxidschichtdicken, die 2017 im KKW Brokdorf festgestellt wurden?

Nach Feststellung der schleswig-holsteinischen Atomaufsicht hat ein Zusammenspiel von mehreren Faktoren zu der unerwartet starken und schnellen Oxidation geführt. Neben dem Hüllrohrmaterial sind die hohen Leistungsanforderungen verantwortlich: der Hochleistungskern und ein immer häufigeres, schnelles Hoch- und Runterfahren des Reaktors – der sogenannte Lastfolgebetrieb. So war 2006 eine Leistungserhöhung genehmigt worden, die eine elektrische Bruttoleistung von 1480 statt zuvor 1440 Megawatt ermöglichte. Seit 2011 praktizierte der Betreiber zudem immer häufiger den

Lastfolgebetrieb, je nach Auslastung der Stromnetze. Gerade in den Betriebszyklen von 2015 an wurde diese Lastwechselfahrweise weiter intensiviert. Hinweise auf etwas erhöhte Korrosion gab es seit 2011, der Grenzwert wurde erstmals Anfang 2017 überschritten. Das Hüllrohrmaterial M5 blieb mit derselben Spezifikation das Gleiche – vor 2006 und danach. Aber unter den geänderten Einsatzbedingungen zeigten sich an einigen Brennstabhüllrohren des sonst grundsätzlich sehr korrosionsbeständigen Materials Oxidationsschichten im oberen Bereich, wo diese nicht erwartet wurden, und in einer Wachstumsrate, die ebenfalls über dem Erwartungswert lag.

9. Es heißt nun, schon seit 2011 sei stärkere Oxidation festgestellt worden. Warum hat die Aufsichtsbehörde nicht früher reagiert?

Bislang wurden im Kernkraftwerk Brokdorf – wie auch in anderen Kernkraftwerken – keine Grenzwerte für die Oxidschichten an M5-Brennstäben überschritten. Im Jahr 2011 waren im Rahmen von Brennelementinspektionen erste leichte visuelle Auffälligkeiten festgestellt worden, die zur weiteren Beobachtung führten. Die daraufhin im Jahr 2013 durchgeführten Messungen der Oxidschichtdicken lagen unterhalb der Grenzwerte. Während des Brennelementwechsels 2014 waren erneut Messungen durchgeführt worden. Gegenüber 2013 war keine signifikante Erhöhung der Oxiddicke festgestellt worden.

10. Wieso ist man nicht früher auf den Lastfolgebetrieb als Ursache gekommen?

Die Betrachtung aller möglichen physikalischen und chemischen Einflussfaktoren für das Oxidwachstum ist sehr komplex. Im Rahmen der Untersuchungen wurden verschiedene Thesen intensiv untersucht und geprüft, welche Relevanz sie haben. Dazu gehörten Fragen zum Hüllrohrmaterial, der Chemie des Primärkühlmittels und thermohydraulische Einsatzbedingungen. Hierzu hat die Aufsichtsbehörde neben dem TÜV NORD weitere Gutachter mit unterschiedlichen Untersuchungsschwerpunkten hinzugezogen und alle verfügbaren Informationen aus Wissenschaft und Literatur berücksichtigt. Bei genauer Prüfung der Thesen durch die Sachverständigen und die Atomaufsicht fielen in den meisten Thesen jedoch immer wieder Lücken oder Widersprüche auf, so dass die Erklärungsmodelle der Betreibergesellschaft nicht belegt werden konnten. Damit blieb angesichts des weiterhin für den Einsatz vorgesehenen Hüllrohrmaterials nur die Möglichkeit, die Leistungsbedingungen insgesamt auf den gesicherten Erfahrungsstand zurückzuführen und so die Ursache der Korrosion auszuschalten.

11. Wie kann das Problem jetzt behoben werden, so dass ein sicherer Betrieb des Kernkraftwerks möglich ist und sich die unerwartet starke Oxidation nicht wiederholt?

Die Untersuchungen im Rahmen des meldepflichtigen Ereignisses haben gezeigt, dass die verfahrenstechnischen Randbedingungen und die Betriebsweisen des Kernkraftwerks einen erheblichen Einfluss auf das Oxidschichtwachstum an den Brennstäben haben. Daher werden für den kommenden Zyklus mehrere verfahrenstechnische Änderungen an der Fahrweise und an den physikalischen Randbedingungen vorgenommen werden, u. a. die Begrenzung der thermischen Reaktorleistung auf 95 Prozent und die Begrenzung des Leistungsgradienten auf 10 MW/min. Die Lastwechselgeschwindigkeit wird also gegenüber der derzeitigen Fahrweise (bis 20 MW/min) halbiert. Damit werden wieder Betriebsbedingungen hergestellt, wie sie vor der Leistungserhöhung 2006 galten. Für diesen Zeitraum gibt es gesicherte Betriebserfahrungen mit dem Hüllrohrmaterial M5 ohne unerwartete, starke und schnelle Oxidation.

12. Welche Maßnahmen werden zusätzlich ergriffen?

Des Weiteren wird zur Vermeidung oxidativer Randbedingungen die Wasserstoffkonzentration im Primärkühlmittel von derzeit 2-3 mg/kg auf 3-4 mg/kg angehoben und die Überwachung durch kontinuierliche Messungen verbessert.

13. Ist denn damit alles geklärt oder sind noch weitere Untersuchungen notwendig?

Welche Faktoren zu der starken Oxidation geführt haben, ist soweit erkannt und bewertet, dass mit der Reduktion von Leistung und Lastfolgebetrieb ein sicherer Betrieb möglich ist. Noch nicht schlüssig, abdeckend und widerspruchsfrei sind die chemischen und physikalischen Einzelparameter (etwa ein bestimmter Legierungsbestandteil) und ihr quantitativer Beitrag zu dem Prozess geklärt. Da zum Teil im Reaktorkern lokal begrenzte Randbedingungen als Ursache unterstellt wurden, die jedoch messtechnisch nicht zugänglich sind, konnten die von der Betreibergesellschaft und dem Hersteller aufgestellten Thesen sowie auch von den Sachverständigen eingebrachte Modelle bezüglich eines physikalisch/chemischen Prozesses bisher nicht bestätigt werden. Der Betreibergesellschaft bleibt es unbenommen, in Zukunft noch den Nachweis zu führen, dass lediglich Einzelparameter, etwa nur die Wasserstoffkonzentration, maßgeblich sind. Die Sachverständigen haben diesbezüglich noch weitere Erkenntnismöglichkeiten aufgezeigt, etwa Werkstoffprüfungen am oxidierten Material oder die weiter vertiefte Untersuchung thermodynamischer Effekte.

14. Können auch andere Kernkraftwerke in Deutschland betroffen sein?

Eine auffällige Korrosion von Brennstäben ist in der Vergangenheit auch in anderen deutschen Kernkraftwerken beobachtet worden. In Brokdorf wurden jetzt erstmals genehmigte Grenzwerte überschritten.

Die jeweils möglichen maximalen Brennstableistungen hängen von der reaktorphysikalischen Auslegung der jeweiligen Reaktorkerne ab. Die Häufigkeit des Lastfolgebetriebs und die Laständerungsgeschwindigkeit variieren von Anlage zu Anlage.

15. Müssen die anderen Länder bzw. der Bund jetzt auch Leistung und Lastfolge reduzieren lassen?

Nach Kenntnis der schleswig-holsteinischen Atomaufsicht hat es in den anderen deutschen Kernkraftwerken keine Überschreitung von maximal zulässigen Oxidschichten gegeben.

16. Welche Parallelen gibt es zwischen der Korrosion von Brennstäben im KKW Leibstadt und im KKW Brokdorf?

Bei der Jahresrevision im KKW Leibstadt wurden im Jahre 2016 an Brennelementen, die nicht länger als ein Jahr im Betrieb gewesen waren, Brennstäbe mit überhöhten Oxidschichtdicken festgestellt. Parallelen gibt es im schnellen Oxidwachstum und im örtlich auf das obere Ende der Brennstäbe begrenzten Auftreten des Oxidmaximums. Ansonsten unterscheiden sich die Hersteller und die Materialien der Hüllrohre und der Reaktortyp (Brokdorf ist ein Druckwasserreaktor, Leibstadt ein Siedewasserreaktor) grundsätzlich.

17. Wird beim Brennelementwechsel an jedem Brennstab die Dicke der Oxidschicht gemessen?

Für die Inspektion der Brennelemente in einem Brennelementwechsel besteht eine Prüfanweisung, in der der Prüfumfang und die Prüfinhalte festgelegt sind. Vor jedem Brennelementwechsel wird der genaue Prüfumfang und -inhalt mit der Behörde und den Sachverständigen vereinbart, um aktuelle Prüfaspekte berücksichtigen zu können. Dabei wird eine repräsentative Anzahl von Brennelementen, die im vorangegangenen Zyklus zum Einsatz kamen und im nächsten Zyklus wieder eingesetzt werden sollen, visuell inspiziert. Zum Prüfumfang gehört u.a. die Bewertung der Hüllrohrkorrosion. Werden bei dieser visuellen Prüfung Auffälligkeiten festgestellt, so werden weitere Prüfungen, wie z.B. Messungen der Oxidschichtdicke durchgeführt. Der Reaktorkern besteht aus 193 Brennelementen in der Anordnung von 16×16 Brennstäben, wobei einige Brennstabpositionen durch Strukturteile (z.B. Steuerstabführungsrohre) belegt werden, so dass die Anzahl der Brennstäbe bei 236 pro Brennelement liegt. Auf Grund konstruktiver Gegebenheiten kann die Messung der Oxidschichten nicht an jedem Brennstab vorgenommen werden. Es wird ein repräsentativer Umfang ausgewählt. Der Umfang der zu vermessenden Brennstäbe wird mit der Aufsichtsbehörde und den Sachverständigen abgestimmt.

18. Die Atomaufsicht hat der Beladung des Reaktorkerns nun zugestimmt. Was hat sie denn vorher geprüft?

Bei der sogenannten Folgekernprüfung wird der für den kommenden Zyklus vorgesehene Kern dahingehend überprüft, ob er sicherheitstechnisch unbedenklich betrieben werden kann. Dazu gehört neben der Bewertung der einzusetzenden Kernbauteile (Brennelemente, Steuerelemente, Drosselkörper, Instrumentierungen) insbesondere die Bewertung

- der neutronenphysikalischen Auslegung
- der thermohydraulischen Auslegung des Reaktorkerns
- der mechanischen Auslegung (hier wird z.B. die prognostizierte Oxidschichtdicke bewertet)
- des postulierten Verhaltens bei Störfällen und Transienten
- der Nachwärmeabfuhr der entladenen Brennelemente aus dem Brennelementlagerbecken und
- der Radiologie zum Nachweis der Einhaltung der Störfallplanungswerte.

Für die Abschätzung des Betriebsverhaltens des beantragten Kerns werden die Kernausslegung und die Kenngrößen des Reaktorkerns aus dem vorangegangenen Zyklus abschließend geprüft und bewertet, inwiefern diese der Prognose entsprachen. Dieses Vorgehen ist sinnvoll, da die im Kernkraftwerk Brokdorf zulässigen Kerne in ihren bestimmenden Eigenschaften grundsätzlich ähnlich sind und daher Rückschlüsse auf das erwartete Verhalten des neuen Kerns gezogen werden können. Die grundlegende Einhaltung der schriftlichen betrieblichen Regelungen und die Vollständigkeit der eingereichten Unterlagen gehören ebenfalls zum Prüfumfang.

19. Ist mit der Zustimmung zum Folgekern auch die Zustimmung zum Wiederauffahren des KKW verbunden?

Nein, hier liegt ein gestuftes Verfahren vor. Wenn die Voraussetzungen zum Beladen des Reaktordruckbehälters mit dem geplanten Folgekern aus sicherheitstechnischer Sicht erfüllt sind, wird zunächst eine Zustimmung für die Beladung des Reaktorkerns mit dem

Folgekern erteilt. Nach dem Abschluss der Kernbeladung sind dann noch diverse technische Maßnahmen (z.B. Verschließen des Reaktordruckbehälters, nichtnukleares Aufheizen des Primärkühlkreises) und die Durchführung verschiedener Prüfungen z.B. im Reaktorschutzsystem erforderlich. Erst wenn alle Maßnahmen und Prüfungen erfolgreich abgeschlossen sind, aus sicherheitstechnischer Sicht alle Anforderungen erfüllt sind und die Anlage sich technisch anfahrbereit erklärt hat, kann die Zustimmung zum Wiederaufstart des KKW erteilt werden. Mit der Zustimmung zum Wiederaufstart wird auch die Eignung des Folgekerns festgestellt.