

= 18.000 Bq × 0,013 μSv/Bq = 234 Mikrosievert (μSv).  
Erläuterung: Eine Röntgenaufnahme der Lunge entspricht 20 μSv. 234 Mikrosievert : 20 μSv/ Röntgenaufnahme = 12 Röntgen-

aufnahmen.  
0,013 μSv/Bq ist der Dosiskoeffizient der effektiven Dosis für das radioaktive Cs-137 für Kinder und Erwachsene ab 12 Jahre.

3. Die 11.000 nicht gemessenen Wildschweine ergeben sich rechnerisch aus der Jagdstrecke Südbayerns abzüglich der Anzahl der gemessenen Wildschweine durch die Staatsforsten und dem Bayeri-

schen Jagdverband. Die Anzahl der Messungen stammen vom Bayerischen Umweltministerium, die Jagdstrecken von der Obersten Jagdbehörde. ●

## Risikoabschätzung

# Brokdorf: Weiße Salbe als Korrosionsschutz?

Von Ralf Kusmierz\*

Im Februar 2017 wurde während der Revision des Atomkraftwerks Brokdorf an der Unterelbe in Schleswig-Holstein an zahlreichen Brennstäben übermäßig starke Oxidbildung – auf gut Deutsch: Rost – festgestellt und als „Meldepflichtiges Ereignis“ mit dem Vermerk „Eilt“ dem Umweltministerium in Kiel als Atomaufsichtsbehörde mitgeteilt. Der Reaktorkern besteht aus 193 Brennelementen, die aus je 236 Brennstäben zusammengesetzt sind. Die Brennstäbe sind dünne, einen Zentimeter starke Rohre von 4,8 Metern Länge und 0,9 Millimeter Wandstärke aus einer zirkoniumhaltigen Speziallegierung, die mit Uran- bzw. Mischoxid-Kernbrennstofftabletten (Pellets) gefüllt und dicht verschweißt sind. Im Reaktorbetrieb entsteht im Brennstoff durch Kernspaltung Wärme, die durch die Hüllrohre hindurch an das Reaktorkühlwasser, das die Brennelemente umgibt, abgegeben wird und es aufheizt. Der Wasserdruck im Reaktordruckbehälter beträgt bis zu 175 bar bei einer Durchschnittstemperatur von 309 Grad Celsius. Unter diesen Bedingungen siedet das Wasser nicht, es bildet sich also kein Wasserdampf.

Nach einer Leistungserhöhung um 3,6 Prozent (135 Megawatt) im Jahr 2006 war der Brokdorf-Reaktor auf eine maximale thermische Leistung von 3900 Megawatt ausgelegt.

Diese Leistung gibt das Primärkühlmittel in vier Wärmetauschern an den Sekundärkreislauf ab; dadurch werden bis zu knapp 2,2 Tonnen Dampf pro Sekunde mit 284 Grad Celsius bei 67 bar Druck zum Antrieb des Turbinensatzes erzeugt, der daraus 1480 Megawatt elektrische Leistung brutto erzeugt, wovon nach Abzug von 70 Megawatt Eigenverbrauch des Kraftwerks 1410 Megawatt ins Stromnetz eingespeist werden können. Aufgrund des starken Ausbaus der regenerativen Stromerzeugung wird der so erzeugte Atomstrom zunehmend überflüssig. Das Kraftwerk mußte deswegen in den letzten Jahren häufig mit verringerter Leistung betrieben werden und glich im sogenannten Lastfolgebetrieb Verbrauchschwankungen im Netz aus. Der Betreiber konnte deshalb auch nicht soviel Strom verkaufen wie im durchlaufenden Grundlastbetrieb.

Die Korrosionsschäden an den Brennstäben sind deswegen von Bedeutung, weil die Dichtheit der Hüllrohre wichtig für die Betriebssicherheit des Kraftwerks ist. Die im Betrieb entstehenden hochradioaktiven Bestrahlungsprodukte des Kernbrennstoffs sind nämlich hauptsächlich im Hüllrohr eingeschlossen, das Reaktorkühlwasser ist demgegenüber vergleichsweise wenig radioaktiv. Wenn die Hüllrohre undicht werden, entweicht daraus in größerem Umfang Radioaktivität, wird ans Kühlwasser abgegeben und kann

daraus auch in signifikantem Umfang in die Umwelt entweichen. Vor allem ist die Integrität der Hüllrohre für den Fall eines Kühlmittelverluststörfalls, zum Beispiel durch eine katastrophale Beschädigung des Reaktorgefäßes oder seiner Zuleitungen, von Bedeutung. Das ist auch kein Ereignis, von dessen Eintritt man nicht auszugehen braucht. Vielmehr ist die sichere Beherrschung eines Bruchs der Hauptkühlmittelleitung (es handelt sich dabei um den sogenannten GAU, also den – für das Genehmigungsverfahren – „größten anzunehmenden Unfall“, der jetzt „Auslegungsstörfall“ genannt wird), also der Nachweis, daß es dadurch außerhalb der Anlage zu keiner gesundheitlichen Beeinträchtigung durch ionisierende Strahlung beziehungsweise freigesetzte Radioaktivität kommen wird, Voraussetzung für die Genehmigung des Betriebs der Anlage. Bei Eintritt des Kühlmittelverluststörfalls werden die Brennelemente nicht mehr gleichmäßig von heißem Druckwasser umströmt, sondern liegen plötzlich frei und werden dann nur noch vom Wasser des Notkühlsystems abgeduscht, um die Nachzerfallwärme abzuführen, damit es nicht zu einer Kernschmelze kommt. Durch die dabei zwangsläufig auftretende ungleichmäßige Bewässerung werden die Brennstäbe erheblich thermisch und mechanisch beansprucht; damit sie trotzdem dicht bleiben, ist es wichtig, daß die Hüllrohre nicht wesentlich durch gebildete Oxidschichten vorgeschädigt sind. Deswegen handelt es sich bei dem gemeldeten Befund um eine ernste Angelegenheit und es sollte klar sein, daß ein Weiterbetrieb dieses und anderer Atomkraftwerke nicht in Frage

kommen kann, solange die Ursache und Abhilfemöglichkeiten der unerwarteten Brennstäbekorrosion nicht aufgeklärt sind.

## Die Ursache bleibt ungeklärt

Mitte Juli 2017 erklärte die Aufsichtsbehörde in Kiel nun, die Ursache wäre gefunden. In einer Liste von Fragen und Antworten schreibt das Ministerium unter anderem:

„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 Mate-*

\* [Kusmierz@t-online.de](mailto:Kusmierz@t-online.de)

rials Oxidationsschichten im oberen Bereich, wo diese nicht erwartet wurden, und in einer Wachstumsrate, die ebenfalls über dem Erwartungswert lag.“ [1]

Bitteschön: Das ist ein eloquent formulierter Politiker-text, aber nicht nur jedem Techniker dürfte klar sein, daß das überhaupt nichts erklärt. Vielmehr wären hier gutachterlich festgestellte naturgesetzliche Zusammenhänge physikalisch-chemischer Natur, zum Beispiel aufgrund materialwissenschaftlicher Erkenntnisse, anzugeben. Um solche hat sich der Betreiber auch – im Ergebnis aber erfolglos – bemüht:

„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 aususchalten.“ [1]

Mit anderen Worten: Die versammelte wissenschaftliche Fachkompetenz hat in Wirklichkeit überhaupt keine Ahnung, was da eigentlich faul ist. Und „Brokdorf“ ist nicht das einzige derartige Vorkommnis: Bei einem Siedewasserreaktor des Schweizer Atomkraftwerks Leibstadt, also einem anderen Reaktortyp als der Brokdorf-Meiler, mit entsprechend völlig anderen physikalischen Bedingungen im Reaktordruckbehälter, war es ebenfalls zu einer ungeklärten vorzeitigen und übermäßigen Rostbildung an Brennstäben gekommen, und niemand weiß, was die Verhältnisse in den betroffenen Anlagen von denen in anderen unterscheidet.

Wie steht es aber mit den Abhilfemaßnahmen? Dazu schreibt das Ministerium:

„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.“ [1]

Aha, wir wissen also nicht, was eigentlich anders als vorher und anderswo war, aber wir machen es einfach rückgängig, dann wird schon nichts passieren. Derartige Medizin nennt man auch Schlangenöl oder Weiße Salbe; die Wirksamkeit dürfte ähnlich gut sein wie das Anzünden geweihter Kerzen.

Wenn Bundesumweltministerin Hendricks an die deutschen Atomkraftwerke die gleichen Maßstäbe anlegen will wie an das französische Fessenheim und das belgische Tihange, dann müßte sie ihrem Kieler Kollegen Habeck und den anderen Länderkollegen per atomrechtlicher Weisung klarmachen, daß ein Wiederanfahren von Brokdorf keineswegs in Frage kommt, sondern alle laufenden AKW bis zur Klärung der Ursache außer Betrieb zu nehmen sind. Falls sie nicht selbst auf diese Erkenntnis kommt, bleibt nur zu hoffen, daß ihr ein Verwaltungsgericht dazu verhelfen möge.

1. Landesportal Schleswig-Holstein, Staatskanzlei: Fragen und Antworten zum Stillstand des Kernkraftwerks Brokdorf 2017 (Überhöhte Oxidschichtdicken an Brennstäben), zuletzt abgerufen am 22.07.2017, [http://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/R/reaktorsicherheit/faq\\_KKW\\_Brokdorf/Stillstand.html](http://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/R/reaktorsicherheit/faq_KKW_Brokdorf/Stillstand.html)

## Atomkatastrophen

### Bohunice A1

#### Der vergessene Reaktorunfall in der Slowakei

Neben Windscale/Sellafield, Harrisburg, Tschernobyl und Fukushima gab es noch eine weitere, weitestgehend unbeachtete Atomkatastrophe. Sie ereignete sich am 22. Februar 1977 im heute slowakischen Atomreaktor Bohunice A1. Darauf machte Manfred Kriener in der deutschen Ausgabe der Zeitschrift Le Monde dip-

lomatique vom Juni 2017 aufmerksam.

Die Folgen dieses schweren Unfalls sind noch immer nicht bewältigt, Stilllegung und Abriss der Reaktorruine kommen nicht voran, schreibt Kriener. Es fehle an Fachleuten, an Geld, an Kenntnissen; die Atomwerker würden immer

wieder von der Wirklichkeit überrascht.

Schuld an der Atomkatastrophe sei der Parteitag der Kommunistischen Partei 1977 gewesen, heißt es. Der Reaktor Bohunice A1 ist ein sogenannter Druckröhrenreaktor, bei dem die Brennelemente nicht zusammen in einem Druckbehälter, sondern einzelnen in Röhren stecken. Er war kurz vor dem Unfall auf Minimalleistung zurückgefahren worden, um neues Brennmaterial zuzuladen. Die neuen Brennstäbe, die zur Trocken-

haltung auf Silicagel liegen, wurden vor dem Beladen aus Zeitgründen nicht ordnungsgemäß davon gesäubert, denn pünktlich zum Parteitag sollte der Reaktor der Firma Škoda wieder im Vollastbetrieb laufen. Beutel platzten und verstopften die Zufuhr der Kühlflüssigkeit. Es kam zu Überhitzungen und zur teilweisen Kernschmelze, wird berichtet. Der Vorzeigereaktor, der die Unabhängigkeit vom großen Bruder Sowjetunion demonstrieren sollte, war nach vier-einhalb Jahren, in denen er rund zwei Jahre lang Strom