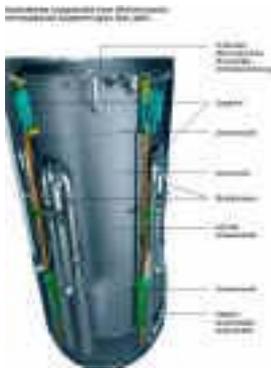


Beurteilung der HSK zum Thema:

Risse im Kernmantel des Kernkraftwerks Mühleberg Sicherheitsüberprüfungen und Massnahmen von 1990 bis heute



Risse im Kernmantel des Kernkraftwerks Mühleberg – unsere bisherigen Aktivitäten, sicherheitstechnische Bedeutung und aktueller Stand nach dem Revisionsstillstand 1999

Die ersten Kernmantelrisse im Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) wurden im Jahr 1990 in der zentralen Rundschweissnaht 11 mittels visueller Prüfung entdeckt. Einerseits wurden bis heute auch in anderen horizontalen Rundnähten Risse entdeckt, andererseits stellte man bei den bereits bekannten Rissen langsames Längenwachstum und teilweise auch Tiefenwachstum fest. An den vertikalen Schweissnähten wurden bislang keine Risse gefunden.

Bei den Rissen handelt es sich um interkristalline Spannungskorrosionsrisse, die ihre wesentlichen Ursachen – nach dem aktuellen Stand des Wissens – in den Werkstoffeigenschaften, im Schweissvorgang, der Wasserchemie, sowie möglicherweise in der akkumulierten Neutronenfluenz haben. Als wesentliche Einflussgrösse werden die im Bereich der Schweissnaht enthaltenen Eigenspannungen angesehen.

Seit 1990 werden die Risse jährlich nach einem Prüfplan visuell und mittels Ultraschallprüfungen untersucht. Ihre Lage, ihr Aussehen, ihre Abmessungen und ihr Wachstum sind daher gut bekannt. Die Prüfverfahren wurden weiterentwickelt und entsprechen dem Stand der Technik.

Der Sicherheitsnachweis gegen ein schnelles Versagen des Kernmantels aufgrund der Risse unter denkbar schlimmsten Unfallbedingungen erfolgte auf der Grundlage der Bruchmechanik nach dem Stand von Wissenschaft und Technik. Für die Berechnungen wurden als unfallauslösende Ereignisse, die von der Anlage beherrscht werden müssen, ein vollständiger Rohrleitungsbruch und ein schweres Erdbeben herangezogen. Für diese beiden extremen

und seltenen – aber von der Anlage beherrschbaren – Störfälle wurde zusätzlich ein noch viel selteneres gleichzeitiges Auftreten unterstellt.

Unter diesen sehr pessimistischen (konservativen) Annahmen wurde eine maximal tolerierbare Risslänge in der zentralen Rundnaht berechnet, die auch heute noch uneingeschränkt gültig ist.

Konservativ, das heisst pessimistisch sind die Rechnungen auch aus den folgenden Gründen: Bislang wurden am Kernmantel des KKM zum einen keine wanddurchdringenden Risse festgestellt. Zum anderen handelt es sich bei den Rissen um Einzelrisse, die über den Umfang örtlich verteilt vorliegen. Für eine konservative Sicherheitsbeurteilung wurde von der Risslängensumme und von vollständiger Wanddurchdringung ausgegangen.

Die bruchmechanisch errechnete maximal tolerierbare Durchrisslänge von 2,8m Länge in der sicherheitstechnisch wichtigsten Naht (Nr. 11), wird noch heute von der grössten Summe aller festgestellten Einzelrisse in dieser Naht bei weitem unterschritten. Die maximale Risslängensumme dieser nicht durchgerissenen Naht beträgt heute rund 1,4m bei einem Gesamtumfang von etwa 10m. Jede in den Sicherheitsnachweis eingegangene Grösse wurde demnach auf sehr konservative Weise ermittelt.

Die HSK-Analyse zeigt damit, dass die heute vorhandenen Risse für den Normalbetrieb der Anlage auch weiterhin keine Sicherheitseinbusse bedeuten. Selbst im Fall einer extremen, störfallbedingten Beanspruchung (siehe oben) wäre die strukturelle Integrität des Kernmantels nicht gefährdet.

Im Jahr 1996 wurde vom Betreiber eine diversitäre, präventive Sicherheitsmassnahme am Kernmantel installiert: Es wurden 4 Zugstangen eingebaut, die den Kernmantel auch bei vollständig durchgerissenen Rundnähten in vertikaler und horizontaler Richtung stabilisieren. Der auf bruchmechanischer Basis alljährlich erneut geführte Sicherheitsnachweis wird damit streng genommen überflüssig. Die Sicherheit wird nun von der Zugstangenkonstruktion voll und ganz übernommen. Der Sicherheitsnachweis für die Stabilisierungsmassnahme zeigt denn auch, dass unter Annahme von extrem schweren Unfallbedingungen und bei Unterstellung eines vollständigen Durchrisses aller horizontalen Schweissnähte die übergeordneten Schutzziele «Abschaltbarkeit» des Reaktors und «Kühlbarkeit» des Reaktorkerns dennoch erreicht werden.

Die künftigen wiederkehrenden Prüfungen an den Schweissnähten und an der Zugstangenkonstruktion sind in Prüfplänen festgelegt.

Die HSK informiert sich im Zusammenhang mit der Kernmantelproblematik laufend über den internationalen Stand der Technik. So verfolgt sie derzeit mit Interesse ein grosses Kernmantelaustausch-Projekt in Japan, das von den Betreibern 1996 begonnen wurde.

Weiterhin interessiert sie sich für die Edelmetall/Wasserstoff-Einspeisung, eine neuartige Präventionsmassnahme gegen Spannungsrisskorrosion, die sich derzeit bereits in fünf amerikanischen Siedewasserreaktor-Anlagen im Einsatz befindet.

Inspektion und Befunde aus der Revision August 1999

Während der Revision 1999 wurde wiederum eine Kernmantel-Rissprüfung durchgeführt. Es wurden 1999 sämtliche bereits in der Vergangenheit mit Ultraschall geprüften Rundschweissnähte erneut einer Ultraschall-Wiederholungsprüfung unterzogen.

Die Rundnähte Nr. 4 und 11 wurden von der Innenseite des Kernmantels her geprüft. Gleichzeitig wurde eine Wirbelstromprüfung durchgeführt. Die übrigen Rundnähte wurden von der Aussenseite des Kernmantels her geprüft.

Die bekannten Risse an den Rundnähten konnten qualitativ und quantitativ bestätigt werden. Das Längen- und Tiefenwachstum gegenüber 1998 lag in der Tendenz, die seit 1994 beobachtet wird. Die Risstiefen liegen weiterhin im Bereich zwischen 10 und 20mm und sind damit nicht wanddurchdringend.

Die früher an der Rundnaht Nr. 12 fälschlich festgestellten Risse wurden jetzt als Formanzeigen, verursacht durch Anschweissungen, erkannt.

An der am stärksten von Rissbildungen betroffenen Rundnaht Nr. 11 sind heute ca. 95% des Umfanges prüfbar. In einem Bereich dieser Schweissnaht, der 1999 erstmals mit Ultraschall geprüft werden konnte, wurde ein Riss von ca. 220mm Länge gefunden. Er war bei den früheren Ultraschallprüfungen von der Aussenseite des Kernmantels her nicht zugänglich gewesen. Hiermit beträgt die Risslängensumme an dieser Naht nun rund 1,4m (keiner der Risse ist wanddurchdringend). Sie liegt damit noch deutlich unter der kritischen Risslänge von 2,8m für einen wanddurchdringenden Riss.

Gültigkeit der TÜV-Expertise vom Februar 1998

Die Ergebnisse der bisherigen HSK-Sicherheitsanalysen und insbesondere die Resultate, der mit anderen Rechnercodes resp. anderen Methoden erstellten TÜV-Expertise sind einschränkungslos weiterhin gültig: Der heutige Zustand des Kernmantels des KKM bedeutet somit keine Sicherheitseinbusse für den Normalbetrieb der Anlage. Selbst im Fall einer extremen störfallbedingten Beanspruchung wäre die strukturelle Integrität des Kernmantels nicht gefährdet. Die wesentlichen Schutzziele «Abschaltbarkeit» und «Kühlbarkeit» werden auch während der nächsten Betriebszyklen gewährleistet bleiben.

Die in den HSK-Analysen und in der TÜV-Expertise zugrunde gelegten Unsicherheiten durch bisher nicht ultraschall-prüfbare Bereiche der sicherheitstechnisch wichtigsten Schweissnähte bestehen seit 1998 durch den Einsatz der neuen Innenprüfung mit Ultraschall und Wirbelstrom nicht mehr. Die bruchmechanischen Bewertungen der angerissenen Schweissnähte – selbst ohne Zugstangenstabilisierung – sind deshalb noch konservativer, das heisst belastbarer geworden.

siehe auch die nachstehende Zusammenfassung der TÜV-Expertise zur sicherheitstechnischen Bedeutung der Risse im Kernmantel des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM), welche als kompetente Zweitmeinung im Auftrag des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) erstellt wurde.

Expertise des TÜV Energie Consult

zur sicherheitstechnischen Bedeutung der Rissen im Kernmantel des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM)

Erstellt im Auftrag des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Zusammenfassung

Die Auswirkungen der Risse im Kernmantel des Kernkraftwerkes Mühleberg auf die Sicherheitsziele «Abschaltbarkeit» und «Kühlbarkeit» des Reaktorkerns wurden untersucht. Diese Untersuchung gliedert sich in folgende Teilabschnitte:

1. Ermittlung der relevanten Belastungen.
2. Berechnung und Bewertung der durch diese Belastungen hervorgerufenen Beanspruchungen im Kernmantel und den Zugankern.
3. Bestimmung des Rißwachstumsverhaltens und der kritischen Durchrißlängen der von Rissen betroffenen Schweißnähte auf der Grundlage der berechneten Beanspruchungen und der Schweißeigenstressungen.
4. Bewertung des Wiederholungsprüfprogramms für den Kernmantel und die Zugankerkonstruktion.

Die Angaben zu den maximalen Belastungen für den Normalbetrieb wurden dem letzten Sicherheitsbericht für das Kraftwerk entnommen. Durch kontinuierliche betriebsbegleitende Messungen wird überwacht, daß diese Belastungen nicht überschritten werden. Im bisherigen Anlagenbetrieb wurden keine höheren mechanischen und thermischen Belastungen festgestellt. Für den Lastfall anormaler Betrieb wurde eine thermische Transiente definiert, die die möglichen Transienten in dieser Lastfallkategorie abdeckend beschreibt.

Die Belastungen infolge der zu unterstellenden Rohrleitungsbrüche wurden von uns berechnet. Die von uns ermittelten Belastungen sind – u. a. wegen Konservativitäten in den Rechenannahmen und Berechnungsverfahren – größer als die von der Firma General Electric

ausgewiesenen fluiddynamischen Lasten. Die Erdbebenbeschleunigungen wurden einer neueren seismischen Analyse für das Kernkraftwerk Mühleberg entnommen. Diese Belastungen bilden Einhüllende für die zu erwartenden Belastungen und sind somit konservativ.

Die Beanspruchungen des Kernmantels und der Zugankerkonstruktion wurden mit einer Reihe von Finite Element Modellen ermittelt. Zur Feststellung, ob Auslegungsmängel für die Risse verantwortlich sein könnten, wurden zunächst die Beanspruchungen des intakten Kernmantels berechnet. Im zweiten Schritt wurde untersucht, welchen Einfluß die Risse auf die Kernmantelbeanspruchungen haben. Für dieses Untersuchungsziel wurde das Rechenmodell für den intakten Kernmantel modifiziert und die Risse abgebildet. Zuletzt wurde dieses zweite Rechenmodell um Modelle für die Zuganker und Federn ergänzt. Mit diesem Gesamtmodell, das den gegenwärtigen Konstruktionsstand wiedergibt, wurden die aktuellen Betriebsbeanspruchungen und die Beanspruchungen unter Störfallbedingungen ermittelt. Es wurden darüber hinaus die Beanspruchungen der Zugankerkonstruktion bei der scharfen Transiente des anormalen Betriebs und die sich ergebenden Veränderungen ihres Vorspannungszustandes untersucht, die durch lokale plastische Verformungen verursacht werden könnten. Die Zugankerkonstruktion ist auch dazu gedacht, den Kernmantel beim kompletten Durchriß einer Rund- oder Längsnaht in seiner bestimmungsgemäßen Position zu fixieren. Die Eignung der Zuganker und Federn für dieses Szenario wurde deshalb ebenfalls analysiert.

Alle Untersuchungen ergaben, daß weder der Kernmantel noch die Zugankerkonstruktion unzulässig beansprucht werden. Die Zuganker verhindern überdies unzulässige Verlagerungen des Kernmantels bei Nahtabrissen. Die durch die Risse abfließende Kühlmittelmenge führt weder bei einem eventuellen Rund- noch bei einem eventuellen Längsnahtabriß zu einer unzureichenden Kühlung der Brennelemente.

Im Rahmen der durchgeführten bruchmechanischen Analysen wurden das zu erwartende Rißwachstum sowie die kritischen Durchrißlängen der von Rissen am stärksten betroffenen Schweißnähte bestimmt. Grundlagen dieser Analysen waren neueste Untersuchungsergebnisse zum Rißwachstum unter Einbeziehung der vorliegenden wasserchemischen Bedingungen, zu Schweißbeigenspannungen sowie zur Berechnung von Spannungsintensitätsfaktoren für die gegebenen Abmessungen und Beanspruchungen des Kernmantels.

Die kritischen Durchrißlängen, die unter Zugrundelegung der Beanspruchungen beim abdeckenden Störfall berechnet wurden, sind durchwegs größer als die bisher gefundenen Rißgrößen. Bei Berücksichtigung der spannungssenkenden Wirkung der Zugankerkonstruktion beträgt der Abstand zwischen kritischer Durchrißlänge und dem längsten Riß von 482mm Umfangserstreckung in der Schweißnaht SN1 1 nahezu 3m. Selbst bei Vernachlässigung der Zugankerkonstruktion ergibt sich ein Abstand von etwa 1500mm.

Die durchgeführten Rißwachstumsberechnungen zeigen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der zerstörungsfreien Prüfungen, daß die Sicherheitsreserven gegenüber den kritischen Durchrißlängen auch in den nächsten Jahren nur unwesentlich verringert werden. Die berechnete Rißwachstumsgeschwindigkeit beträgt dabei für die untersuchten Rißkonfigurations-

onen mit den jeweils größten Riabmessungen in Umfangsrichtung maximal 20mm pro Jahr. Bezüglich des Rißwachstumsverhaltens in Wanddickenrichtung wurde festgestellt, daß mit zunehmender Rißtiefe eine Verlangsamung der Rißwachstumsgeschwindigkeit eintritt, so daß die Risse ungefähr in Wanddickenmitte i. a. zum Stillstand kommen.

Die Prüfung des Wiederholungsprfplanes für den Kernmantel ergab, daß die eingesetzten Prüfverfahren dem Stand der Technik entsprechen. Die Prüffristen und der Umfang der Prüfungen reichen aus, Risse zu entdecken und die Entwicklung der schon vorhandenen Risse zu verfolgen. Die Längen der bisher nicht geprüften Abschnitte der Rundnähte sind kleiner als die minimale kritische Durchrißlänge. Bei sorgfältiger Durchführung der Wiederholungsprüfungen können somit alle Risse gefunden werden lange bevor sie auf die Größe der kritischen Durchrißlänge angewachsen sind.

Der Wiederholungsprfplan für die Zugankerkonstruktion sollte gegebenenfalls überarbeitet werden. Während der Umfang der visuellen Prüfungen als ausreichend angesehen werden kann, ist der Prüfplan hinsichtlich der Kontrolle der mechanischen Vorspannung der Zuganker unvollständig. Eine regelmäßige Kontrolle der Vorspannung scheint insbesondere unter dem Gesichtspunkt, daß bestimmte thermische Belastungen zu einer Einbuße der Vorspannung führen könnten, notwendig.

Zusätzlich ist zu klären, ob die Fehlfunktion einer gleichartigen Zugankerkonstruktion in einer amerikanischen Kernkraftwerksanlage zu einer weiteren Detaillierung der Prüfplans Anlaß geben.

Zusammenfassend stellen wir fest, daß die Sicherheitsziele «Abschaltbarkeit» und «Nachkhlbarkeit» des Reaktorkerns durch die Risse im Kernmantel des Kernkraftwerkes Mühleberg nicht gefährdet werden. Die Beanspruchungen des Kernmantels und der Zugankerkonstruktion liegen bei allen relevanten Belastungsbedingungen im zulässigen Bereich. Ein Versagen des Kernmantels und eine Behinderung des Einfahrens der Steuerelemente bzw. eine Verlegung von Kühlkanälen durch Kernmantelbruchstcke ist auszuschließen. Auch die Verformungen des Kernmantels unter diesen Belastungen bleiben klein, so daß weder die Verfahrspalte für die Steuerelemente noch die Kühlkanäle zwischen den Brennstäben unzulässig verengt werden.

Auf der Grundlage der durchgeführten Analysen und Auswertungen können die in der Einleitung formulierten Zusatzfragen wie folgt beantwortet werden:

Die vom Hersteller, der Firma General Electric, zugrunde gelegten Strfallkombinationen sind abdeckend und hinsichtlich der Belastungen und Beanspruchungen konservativ.

Die strukturmechanischen Berechnungen für den Kernmantel mit Rissen, aber ohne Zugankerkonstruktion zeigen, daß die beiden genannten Sicherheitsziele auch eingehalten würden, wenn die Zugankerkonstruktion nicht vorhanden wäre. Die Beanspruchungen und Verformungen des Kernmantels mit Rissen unterscheiden sich kaum von denen des intakten Kernmantels, für den der Nachweis der ausreichenden sicherheitstechnischen Funktion bei

der Erstauslegung und bei unserer Nachrechnung erbracht wurde. Zudem ist die kritische Durchrißlänge auch bei Vernachlässigung der Zuganker noch immer deutlicher größer als die gegenwärtige maximale Rißlänge.

Die von der Anlagenbetreiberin ermittelte kritische Durchrißlänge ist konservativ. Sie ist kleiner als die von uns berechnete Durchrißlänge unter Berücksichtigung der Zugankerkonstruktion.

Die Beanspruchungen der Komponenten der Zugankerkonstruktion bleiben sowohl bei der aktuellen Rißkonfiguration als auch bei einem Abriß der Schweißnaht SN 11 in zulässigen Grenzen. Die Konstruktion ist damit in Übereinstimmung mit den Regelwerken ausgelegt.

Die Prüfprogramme und Prüfmethoden sind geeignet, horizontale und vertikale Risse im Kernmantel zu erkennen und ihre Größe zu bestimmen. Die Prüffristen und der Umfang der Prüfungen reichen aus, Risse zu entdecken bevor sie eine sicherheitstechnisch relevante Größe erreicht haben und die Entwicklung der schon vorhandenen Risse aufgrund des festgestellten Rißwachstumsverhaltens zu verfolgen. Das Prüfprogramm für die Zugankerkonstruktion sieht visuelle Prüfungen in ausreichendem Umfang vor. Es ist jedoch um Prüfschritte zur Kontrolle der Zugankervorspannung zu ergänzen. Zusätzlich halten wir es für zweckmäßig zu prüfen, ob sich aus der Fehlfunktion eines Zugankers in einer amerikanischen Anlage die Notwendigkeit ergibt, das Prüfprogramm zu erweitern.

Vertikale Risse haben einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Erfüllung der Schutzziele. Der Kühlmittelverlust durch die Nebenströmung über den Riß beeinträchtigt die Kühlung der Brennstäbe nicht. Die Beanspruchungen des Kernmantels und der Zugankerkonstruktion bleiben auch nach dem Durchriß einer Längsnaht im zulässigen Bereich.

München, den 29.1.1998

sign.

Dr. Vinzens

Direktor des TÜV Energie Consult