

## **RSK – Stellungnahme**

### **Stellungnahme zu Mängeln an Mittelspannungskabeln mit sicherheitstechnischer Bedeutung in deutschen Kernkraftwerken aus Anlass des Meldepflichtigen Ereignisses ME E 13.1/04 - Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB) „Störung in der Eigenbedarfsversorgung mit RESA“ vom 23.08.2004**

09.03.2006 (391. Sitzung)

#### **1 Beratungsauftrag**

In Fortsetzung der Beratungen zum Meldepflichtigen Ereignis ME E 13.1/04 - Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB) „Störung in der Eigenbedarfsversorgung mit RESA“ vom 23.08.2004 hat sich der RSK-Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN mit Mängeln an Mittelspannungskabeln mit sicherheitstechnischer Bedeutung in deutschen Kernkraftwerken befasst. Das BMU hat in dem Zusammenhang um Stellungnahme zum Beratungsauftrag AG RS I 3 – 14306/29 vom 17.10.2005 gebeten:

Zum Ereignis „Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB) – Meldepflichtiges Ereignis ME E 13.1/04 „Störung in der Eigenbedarfsversorgung mit RESA vom 23.08.2004“ hat der RSK-Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN (RSK-EE) Beratungen auf Grundlage der Berichte der zuständigen Behörde MSGV SH, der Betreiberinnen des KKB und der zugezogenen Sachverständigen sowie der dem Ausschuss vom BMU übermittelten Sachverhalte und Berichte der Behörde aufgenommen. Insbesondere wurde zur Übertragbarkeit der Ereignisse im KKB auf andere Anlagen und die daraus zu ziehenden Schlüsse beraten. Die GRS hat am 13.07.2005 eine Weiterleitungsnachricht mit Empfehlungen zur Überprüfung von Mittelspannungskabeln erstellt.

Am 14.09.2005 hat die VGB im RSK-EE über den Austausch von Mittelspannungskabeln (10 kV) in fast allen KKW innerhalb der letzten 25 Jahre auf Grund von Herstellungsfehlern bzw. vorzeitiger Alterung berichtet. Es wurde ein VGB-Programm zur systematischen Überwachung der eingesetzten Kabel im 10- und 6-kV-Bereich vorgestellt. Die angehörten Sachverständigen der VdTÜV befürworteten grundsätzlich die Vorgehensweise und verwiesen auf die jeweils anlagenspezifisch erforderliche Umsetzung.

Wegen der grundsätzlichen generischen Bedeutung eines nicht rechtzeitig entdeckten – möglicherweise vielfachen – Kabelversagens mit sicherheitstechnisch bedeutsamen Auswirkungen auf Grund von Herstellungsfehlern bzw. Überwachungsdefiziten wird die RSK nach § 9 der Satzung um eine schriftliche Stellungnahme zur Auswertung der Ereignisse und Vorkommnisse und den bisher gezogenen Konsequenzen im Bereich der Mittelspannungskabel und insbesondere zu den folgenden Fragen gebeten:

- 1 Entsprechen die von der VGB vorgeschlagenen und von den Gutachtern des TÜV Nord mit Bezug auf die Anlagen KKB und KKK bestätigten Verfahren zur Überprüfung und Kontrolle von PVC-Mittelspannungskabeln (6 und 10 kV) mit sicherheitstechnischer Bedeutung für alle deutschen Kernkraftwerke dem Stand von Wissenschaft und Technik oder sind darüber hinaus weitere, genauere Verfahren zur zuverlässigen Kontrolle und Überwachung von PVC-Kabeln im Mittelspannungsbereich vorhanden?
- 2 Entspricht die von der VGB vorgeschlagene Vorgehensweise für die Überwachung und Kontrolle (Trendverfolgung) von inzwischen eingesetzten VPE-Mittelspannungskabeln dem Stand von Wissenschaft und Technik?

## **2 Beratungsgang**

In der 165. Sitzung am 18.11.2004 wurde der Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN von der Aufsichts- und Genehmigungsbehörde Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie, Jugend und Senioren des Landes Schleswig-Holstein (MSGF-SH), dem Betreiber KKB und den Sachverständigen über das Meldepflichtige Ereignis ME E 13/04, eingestuft in INES 1 und das als Folge auftretende Ereignis ME N 14/04 „Nichtverfügbarkeit eines UNS-Notstromdiesels“, eingestuft in INES 0 informiert. Dabei wurde der Ausschuss über den Ereignisablauf, die derzeitige Ursachenermittlung und die darauf hin getroffenen Maßnahmen unterrichtet [1 - 6].

In der 166. Sitzung des Ausschusses ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN am 08.12.2004 teilte das BMU dem Ausschuss mit, dass die GRS hinsichtlich der Schäden an Kabeln und der Übertragbarkeit auf andere Anlagen in seinem Auftrag eine Weiterleitungsnachricht erstelle.

In der 170. Sitzung des Ausschusses ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN am 01.06.2005 berichteten GRS und MSGF-SH über neue Erkenntnisse zum Kabelversagen. Der Ausschuss beriet außerdem über Prüfungen und Diagnoseverfahren für eine Zustandsbewertung von kunststoffisolierten Mittelspannungskabeln [7 - 14].

In der 171. Sitzung des Ausschusses ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN am 14.07.2005 wurde der Ausschuss darüber informiert, dass MSGF-SH zur weiteren Ursachenklärung des Kabelversagens im KKB zusätzliche Sachverständige herangezogen habe. Insbesondere sollte der Frage nachgegangen werden, ob noch andere Kabeltypen betroffen sein könnten.

In Fortsetzung seiner Beratungen [15 – 29] zu dem Thema Mängel an Mittelspannungskabeln mit sicherheitstechnischer Bedeutung in deutschen Kernkraftwerken berichteten in der 172. Sitzung des Ausschusses ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN am 14.09.2005 MSGF-SH, VGB/Betreiber und Sachverständige zu den nachfolgenden Punkten:

- 1 Bisher erfolgter Austausch von Mittelspannungskabeln in deutschen Anlagen und die dazu geführten Gründe.
- 2 Eingeführte bzw. vorgesehene Prüfverfahren und -konzepte zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit von Mittelspannungskabeln nach Stand von Wissenschaft und Technik.

- 3 Fragestellung hinsichtlich der Sicherstellung der Informationsweiterleitung bei erkannten Mängeln an Mittelspannungskabeln mit potenzieller sicherheitstechnischer Bedeutung innerhalb der Betreiber- bzw. Sachverständigenorganisationen.

In der 173. Sitzung des Ausschusses ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN am 13.10.2005 stellte das BMU den Beratungsauftrag vor. Die RSK bat in ihrer 388. Sitzung am 10.11.2005 den Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN, eine Stellungnahme für den BMU zu erstellen. In der 174. Sitzung am 17.11.2005 verabschiedete der Ausschuss diese Stellungnahme und legte sie der RSK zur Beschlussfassung in ihrer 390. Sitzung am 16.02.2006 vor. Die RSK verabschiedete die Stellungnahme in ihrer 390. Sitzung.

### **3 Sachverhalt zum Meldepflichtigen Ereignis „Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB) – ME E 13/04 „Automatische Schnellabschaltung infolge einer Störung in der Eigenbedarfsversorgung“, INES 1“**

#### **3.1 Ereignisablauf und Ursachenermittlung**

Im KKB kam es zu einem Kurzschluss im Bereich der Kabelverbindung zwischen der 10-kV-Unterspannungsseite des Eigenbedarfstrafos und der Eigenbedarfsschaltanlage. Dies führte dann zum Öffnen des 380-kV-Leistungsschalters des Hauptnetzes und der 10-kV-Schalter der Eigenbedarfsschaltanlage. Gleichzeitig erfolgten eine TUSA-Auslösung mit anschließender RESA-Auslösung, die Entregung des Generators und die Einleitung der Langzeitschaltung auf die Eigenbedarfsanlage des Gasturbinenwerks (GTW). Unter Nutzung der Hauptwärmesenke wurde die Anlage abgefahren.

Zur Befundaufnahme wurde das vom Kurzschluss betroffene Kabel, das sich in einer im Erdreich verlaufenden Kabeltrasse befunden hatte, freigelegt. Auf einer Länge von ca. einem Meter war das Kabel nicht mehr vorhanden. Weitere Kabel in diesem Bereich sind in Folge des Ereignisses beschädigt worden. Hersteller des betroffenen 10-kV-PVC-Kabels war die Firma VDK Berlin & Duisburg. Das Kabel war seit 1976 in Betrieb.

Im Auftrag des Betreibers wurden von verschiedenen Institutionen Kabelproben des Kabeltyps aus unterschiedlichen Einsatzorten untersucht, die sichtbare Schädigungen aufwiesen. Die elektrische Isolationsfähigkeit der untersuchten Kabel war signifikant reduziert. Die Kabel des Eigenbedarfstrafos BT11 zeigten Spuren lokaler thermischer Alterung sowie Spaltbildung zwischen der inneren Leitschicht und der Isolierung. Linienförmige braune Verfärbungen aufgrund von Teilentladungen waren sichtbar [11]. Das Schadensbild ließ auf Herstellungsfehler schließen. Bei den Kabeln der Eigenbedarfsversorgung zum GTW, deren Schädigung durch Abspanntests ( $3 \times U_0$ ) erkannt wurde, wurden linienförmige Hohlräume der Aderisolierung im Bereich des Übergangs zur Leitschicht festgestellt. Bei einem solchen Hohlraum kam es beim Abspanntest zum Durchschlag. Diese Hohlräume zwischen Isolierwerkstoff und Leitschicht ließen darauf schließen, dass seinerzeit das Spritzverfahren zum Aufbringen der Leiterisolierung vom Hersteller nicht beherrscht wurde. Solche Hohlräume befanden sich nicht nur an der Innenseite zu den Kupferadern hin sondern auch direkt in der Leiterisolierung.

Die Ergebnisse der Untersuchungen waren seitens des Sachverständigen in der Gesamtheit als Indiz für eine stark fortgeschrittene Alterung bewertet worden. Aufgrund der festgestellten inhomogenen Verteilung

lokaler Schadstellen konnten nach Auffassung der Sachverständigen daher auch ohne zusätzliche Beanspruchungen, wie beispielsweise durch erhöhte Umgebungstemperaturen spontane Erd- bzw. Kurzschlüsse, an den vorgeschädigten Kabeln nicht ausgeschlossen werden. Der aufgetretene Schaden sei letztendlich auf Herstellungsmängel zurückzuführen, die zu einer beschleunigten Alterung der Kabel geführt haben.

Wie der Sachverständige TÜV Nord zwischenzeitlich ermittelte, hatte die Nachfolgefirma des Herstellers der 10-kV-Kabel in KKB (VDK Berlin & Duisburg) - die Firma Kabelrheydt – im Rahmen einer Untersuchung für das Kernkraftwerk Würiggassen 1993 darauf hingewiesen, dass an Kabeln aus dem Fertigungszeitraum 1970 bis 1977 eine thermische Alterung, erkennbar an bräunlichen Verfärbungen der Adernisolation, aufgetreten war. Folgen dieser fertigungsbedingten beschleunigten Alterung waren ein abnehmender Isolationswiderstand, schlechte dielektrische Eigenschaften und hohe Teilentladungswerte. Ein Austausch der Kabel wurde empfohlen [7]. Gemäß Mängelmeldung des VdTÜV aus 1990 [13], hat im Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG) ein ähnlicher Sachverhalt bestanden. Betroffen waren 10-kV-PVC-Kabel des Herstellers AEG, die bis zum Jahr 1978 gefertigt wurden.

### **3.2 Maßnahmen des Betreibers**

Als Abhilfemaßnahmen wurde zunächst die Erdschlussüberwachung in das Schutzabschaltungskonzept für 10-kV-Verbraucher eingebunden. Vor dem Wiederanfahren in 2004 sind alle betroffenen 10-kV-Kabel des Trafos BT11 aus dem Bereich der Eigenbedarfsversorgung und die Kabel der VC-Pumpenmotoren sowie auf der Oberspannungsseite der Transformatoren für die 6-kV-Notstromversorgung ausgetauscht worden. Nach dem Wiederanfahren 2004 sind zwischenzeitlich bis auf wenige Ausnahmen alle 10-kV-Kabel einschließlich der Kabel für das UNS ausgetauscht worden.

Ein Prüfkonzept zum Nachweis der Betriebssicherheit von Mittelspannungskabeln war bis zu dem Ereignis im KKB nicht vorhanden. Es wurde daher ein WKP-Konzept für 10-kV-Kabel aufgestellt, das auf Empfehlungen des ZVEI (Fachverband Kabel und isolierte Drähte), zurückgeht und sich an einer Siemens Service-Information vom 15.03.1988 [12] orientiert. Dieses Verfahren (Isolationswiderstandsmessung auf Basis kabeltypspezifischer Grenzwerte) ist jeweils in der VGB und innerhalb des VdTÜV abgestimmt worden.

Weiterhin legte der Betreiber ein Prüfkonzept für 6-kV-Kabel in Anlehnung an das Prüfkonzept für 10-kV-Kabel vor. Nach den Ergebnissen der in der Revision 2005 durchgeführten Isolationswiderstandsmessungen wurde bei keinem 6-kV-Kabel ein Wert unterhalb des unteren Grenzwertes festgestellt. Die Messergebnisse einiger Kabel lagen unterhalb von Erwartungswerten. Diese Kabel sollen betriebsbegleitend im Oktober 2005 bzw. in der Revision 2006 ausgetauscht werden. Des Weiteren soll ein umfangreiches Untersuchungsprogramm (elektrisch, mechanisch, visuell) an einer entnommenen Kabelprobe durchgeführt werden.

Eine abschließende Bewertung der Ergebnisse der umfangreichen Untersuchungen an 6-kV-PVC-Kabeln steht noch aus. Außerdem soll ein WKP-Konzept für die neuen PE/VPE-Kabel (6 kV und 10 kV) vorgelegt werden.

### 3.3 Sicherheitstechnische Bedeutung des Ereignisses

Direkt vom Ereignis betroffen waren die Kabel der Eigenbedarfsversorgung. Da weitere vergleichbare Kabel in der Anlage bei den durchgeführten Untersuchungen eine fortgeschrittene Alterung zeigten, hätte bei eventuellen weiteren Fehlern, z. B. durch einen entsprechenden Schaden als Folge ebenfalls vorgeschädigter Kabel in der Zuleitung des Reservenetzanschlusses, die Notstromversorgung angefordert werden können. Grundsätzlich besteht bei einem vergleichbaren Kurzschluss auch die Gefahr eines sich ausbreitenden Brandes.

Der Betreiber hatte die Alterung der Mittelspannungskabel im Prüfkonzert bisher nicht berücksichtigt. Es lag kein Prüfkonzert zur Feststellung der relevanten Größen für die Betriebssicherheit der Kabel vor. Gemäß der Empfehlung der RSK zum Alterungsmanagement vom 22.07.2004 ist eine Beurteilung von relevanten Alterungsmechanismen auch für Kabel durchzuführen.

## 4 Zusammenfassung der anlagenbezogenen Beratungsergebnisse zum Meldepflichtigen Ereignis ME E 13/04

Die Ursachenermittlung hat ergeben, dass eine aufgrund von Herstellungsfehlern begünstigte fortgeschrittene Alterung der 10-kV-PVC-Kabel in KKB vorgelegen hat. Betroffen waren alle 10-kV-Kabel des Herstellers VDK Berlin & Duisburg, dessen Nachfolger die Firma Kabelrheydt ist, aus dem Fertigungszeitraum 1970 – 1978. Eine entsprechende Herstellerwarnung hat den Betreiber nicht erreicht bzw. wurde nicht als relevant erkannt und dementsprechend nicht umgesetzt. Weitere Informationen über Schäden an 10-kV-PVC-Kabeln des Herstellers AEG aus dem Fertigungszeitraum 1970 - 1979 führten z. T. zu Austauschaktionen in anderen Anlagen. Diese Informationen gingen nicht allen Betreibern, Sachverständigen und Behörden zu. Die RSK hat hinsichtlich der Weitergabe sicherheitstechnisch relevanter Informationen in ihrer Stellungnahme **„Beherrschung eines Kühlmittelverluststörfalles bei DWR unter Berücksichtigung von Totvolumina im Reaktorsicherheitsbehälter – Sicherheitsmanagement-Aspekte“ vom 15./16.12.2005 (389. Sitzung)** behandelt.

Zusammenfassend kommt die RSK hinsichtlich des Meldepflichtigen Ereignisses E 13/04 zu dem Ergebnis, dass der Betreiber für die Anlage KKB alle notwendigen Maßnahmen getroffen hat. Es wurde ein entsprechendes Programm zur Alterungsüberwachung initiiert, alle 10-kV-Kabel einschließlich Einspeiseleitungen zum UNS werden bzw. wurden bereits ausgetauscht. Eine Übertragbarkeit des Ereignisses auf andere Anlagen hält die RSK für gegeben.

## 5 Sachverhalt der generischen Aspekte

### 5.1 Bisher erfolgter Austausch von Mittelspannungskabeln in deutschen Anlagen und die Gründe

Gemäß Auskunft der VGB sind in fast allen deutschen Anlagen PVC-Mittelspannungskabel zumeist wegen zu geringer Isolationswiderstände ausgetauscht worden [25]. Die Abnahme der Isolationswiderstände ist zum

Teil auf Verlegefehler, auf Fertigungsfehler und auf Alterung zurückzuführen. Neben dem Kurzschluss in KKB sind in einigen Anlagen Erdschlüsse an einigen Kabeln aufgetreten, die daraufhin ausgetauscht wurden.

In einigen Anlagen werden regelmäßig wiederkehrende Prüfungen an Kabeln durchgeführt, andere Anlagen haben ereignisabhängig Prüfungen durchgeführt. Nach Wartungsarbeiten an Verbrauchern werden üblicherweise Isolationsmessungen, die das Zuleitungskabel beinhalten, vorgenommen. Eine durchgehende Prüfung zur Trendverfolgung des Zustandes von Kabeln wird nur in wenigen Anlagen praktiziert.

Insgesamt befindet sich der überwiegende Teil der Mittelspannungskabel seit der Inbetriebnahme der Anlagen noch im Einsatz. Bisher sind drei Ereignisse aufgrund von Kabelschäden davon zwei im Rahmen von Prüfungen bekannt geworden [25].

## **5.2 Eingeführte bzw. vorgesehene Prüfverfahren und -konzepte zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit von Mittelspannungskabeln nach Stand von Wissenschaft und Technik**

Nach den Vorträgen von Herrn Dr. Rittinghaus und Prof. Dr. Voigt [26 – 28] zum Stand von Wissenschaft und Technik für Prüfungen an Mittelspannungskabeln liegen derzeit im Gegensatz zu PE/VPE-isolierten Kabeln für PVC-Kabel keine gesicherten Modellvorstellungen für eine elektrische Alterung vor. Für PE/VPE-Isolierungen wurden in Abhängigkeit von den möglichen Schwachstellen im Kabel und in den Kabelbestandteilen Prüf- und Diagnoseverfahren entwickelt. Für PVC-Kabel liegt als zerstörungsfreie Prüfung derzeit nur die Ermittlung des Isolationswiderstandes als anerkanntes Prüfverfahren vor. Dieses Verfahren eignet sich gut zur Trendverfolgung. Auch können Schädigungen der Endverschlüsse (z. B. Verschmutzung) damit ermittelt werden. Allerdings können lokale Schwachstellen des Kabels nicht identifiziert werden, da die Widerstandsmessung ein integral erfolgt.

Der Grenzwert des Isolationswiderstands wird aus dem Mindestwert des spezifischen Isolationswiderstands für ein neues Kabel nach DIN VDE 0276 in Abhängigkeit von Leiterquerschnitt und Temperatur hergeleitet. So erhält man für einen Leiterquerschnitt von 120 mm<sup>2</sup> bei Raumtemperatur einen minimalen Isolationswiderstandsbelag von 11,47 MΩ km, d. h. mit 15 MΩ km pro Einzelader ist so ein ausreichender Sicherheitsabstand gewährt.

Ein Prüfkonzept zum Nachweis der Betriebssicherheit von Kabeln war bis zu dem Ereignis im KKB nicht vorhanden. Auf der Grundlage einer Siemens-Information von 1988 hat der VGB/ZVEI ein WKP-Konzept erarbeitet.

- Liegen bei Messungen mit angeschlossenen Verbrauchern die Werte des Isolationswiderstandsbelags über 20 MΩ km vor, sei nicht von einer Beeinträchtigung der Betriebssicherheit auszugehen.
- Liegen bei Messungen mit angeschlossenen Verbrauchern die Werte zwischen 5 und 20 MΩ km, wird eine jährliche Überprüfung empfohlen
- Bei Werten unter 5 MΩ km sollen Verbraucher abgeklemmt und die Kabeladern einzeln gemessen werden. Als Grenzwert für die Beeinträchtigung der Betriebssicherheit wird ein

Isolationswiderstandsbelag von 15 MΩ km, gemessen Leiter gegen Erde ohne angeschlossenen Verbraucher, zu Grunde gelegt.

Zur Absicherung des unteren Grenzwertes (15 MΩ km) wurde im Aufsichtsverfahren des Kernkraftwerkes Krümmel (KKK) ein eigenständiges Prüfkonzept entwickelt. Dieses Konzept beinhaltet

- a) die Durchführung zusätzlicher visueller und elektrischer Prüfungen an Kabelproben aus der Anlage zur Erfassung des momentanen Zustands relativ zum Grenzwert und
- b) eine zusätzliche thermische Voralterung von Kabelproben aus der Anlage und die Wiederholung der Prüfungen gemäß a) zur Absicherung der zeitlichen Entwicklung des Isolationswiderstandsbelags.

Zunächst wurde eine Einteilung der Isolationswiderstandsbeläge  $R'_{is}$  gealterter abgeklemmter Kabel, gemessen bei Raumtemperatur in der Anlage, in drei Güteklassen vorgenommen:

- Güteklasse 1:  $R'_{is} \leq 15 \text{ M}\Omega \text{ km}$ ,  
Güteklasse 2:  $15 < R'_{is} \leq 50 \text{ M}\Omega \text{ km}$ ,  
Güteklasse 3:  $50 < R'_{is} \leq 120 \text{ M}\Omega \text{ km}$ .

Bei einem Großteil der Kabel wurde ein Wert  $R'_{is} > 120 \text{ M}\Omega \text{ km}$  gemessen. Insgesamt sind je Güteklasse drei Kabel mit insgesamt neun Adern untersucht worden.

Zunächst wurden an den Kabeln visuelle Prüfungen zur Beurteilung des optischen Erscheinungsbildes, z. B. Teilentladungsspuren, braune Stellen, durchgeführt. Dann wurden bei Leitertemperaturen von jeweils Raumtemperatur, 30° C, 50° C und 70° C die Isolationswiderstände sowie die Verlustfaktoren  $\tan\delta$  gemessen. Teilentladungsmessungen erfolgten bei Raumtemperatur und bei 70° C. Diese Ergebnisse hatten als Orientierung für die Durchführung der Spannungsprüfung (Step-Test) gedient, die dann bei Raumtemperatur durchgeführt wurden. Bei diesem Test wurde das Kabel bei  $2U_0$  30 Min. lang belastet, dann bei  $3 U_0$  60 Min. lang. Anschließend erfolgte alle fünf Minuten eine Erhöhung um  $U_0$  bis ca.  $7 U_0$ . Die bisweilen praktizierte Spannungsprüfung mit  $3 U$  bei 0,1 Hz ist nach Auffassung von Dr. Rittinghaus lediglich für PE/VPE-Kabeladern geeignet. Bei PVC-Kabeln ist der Verlustfaktor  $\tan\delta$  maßgeblich, daher sollte ein Spannungstest stets bei 50 Hz durchgeführt werden. In dem Falle würde nach VDE eine Spannung von  $2 U_0$  genügen.

Weiterhin wurde eine thermische Alterung bei 70° C für eine Dauer von 13 Wochen vereinbart. Von Gutachter Seite wurde zur Reduzierung der Vorbeanspruchungszeit die n-Grad-Regel mit  $n = 10$  vorgeschlagen, wobei die für PVC-Kabel zulässige Leiternennntemperatur von 70° C nicht überschritten werden darf. Statt der Anwendung dieser Regel wurde von Betreiberseite alternativ der Vergleich der Messwerte vor und nach einer angemessenen Alterung – z. B. 13 Wochen bei 70° C – vorgeschlagen.

Geprüft wurden AEG-Kabel der Bauart NYSEY 3 x 240RM/6 6/10 kV mit mindestens neun Adern je Probengruppe. Insgesamt sind nur wenige Adern der Güteklasse 1 identifiziert worden. Bei der Messung des Isolationswiderstands als Funktion der Temperatur lag für eine Ader der Isolationswiderstandsbelag von 8,7 MΩ km deutlich unterhalb des Grenzwertes. Während der Messung des Verlustfaktors mit  $2 U_0$  bei einer Leitertemperatur von 70° C ist die Isolierung dieses Leiters (oder dieser Ader) durchgeschlagen. Die visuelle

Untersuchung der Durchschlagstelle hat dort signifikante Vorbelastungen durch lokale Teilentladungen gezeigt.

Bei der Spannungsprüfung mit  $7 U_0$  ist bei einer Ader eines weiteren Kabels (Isolationswiderstandsbelag von 12,74 M $\Omega$  km) ein Durchschlag festgestellt worden. Die visuelle Prüfung ergab an den durchgeschlagenen Kabeln mehrere Teilentladungsstellen an einer Ader sowie eine Teilentladungsstelle an einer weiteren Ader eines anderen Kabels. Alle anderen visuellen Prüfungen waren befundfrei.

Insgesamt wurde seitens Dr. Rittinghaus festgestellt, dass anhand der Werte für Isolationswiderstand, Permittivitätszahl und Verlustfaktor der geprüften Adern die später durchgeschlagenen Aderisolierungen bereits als auffällig identifiziert werden konnten. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass Isolationswiderstandsmessungen sensitiver sind als Teilentladungsmessungen. Außerdem lassen die bisher durchgeführten Prüfungen bei allen anderen Kabeln eine ausreichende Reserve vermuten. Insgesamt ist nach Meinung der Betreiber der Isolationswiderstandsbelagsgrenzwert mit 15 M $\Omega$  km pro Ader durch die Ergebnisse der Prüfungen als geeigneter Grenzwert bestätigt worden.

Die bei den Untersuchungen festgestellten Defekte betrafen jeweils in einem Kabel nur eine Ader. Bei allen Vorkommnissen waren immer Herstellungsmängel mit verursachend. Insgesamt haben sich aber PVC-Kabel als langlebige Komponenten bewährt. Eine Korrelation von Herstellungsdatum und Kabelschäden konnte nicht nachgewiesen werden. Auffällig war jedoch, dass VDK-Kabel durchweg schlechtere Messergebnisse zeigten als Kabel anderer Hersteller.

Prof. Dr. Voigt bestätigte die Ausführungen von Dr. Rittinghaus. Die angesprochenen Diagnoseverfahren „Messung von Teilentladungen“ und „Messung des Verlustwinkels  $\tan\delta$ “ sowie zwei weitere Verfahren sind untersucht worden. Die Diagnosemethoden „IRC-Untersuchung (Isotherme Relaxationsströme)“ und „RVM-Methode (Wiederkehrspannungsmessung)“ haben sich für PVC-Kabel als ungeeignet erwiesen. Beide Methoden werden hauptsächlich dazu verwendet, sogenannte „Wasserbäumchen“ in Kabelisolierungen zu finden. Diese Methoden kommen mehr bei Kabeln zum Tragen, die direkt der Feuchtigkeit ausgesetzt sind sowie bei PE/VPE-Kabeln. Für PVC-Kabel ist nach Stand der Norm der Isolationswiderstandsbelag der Wert, der als Bewertungsgröße herangezogen werden kann. Auch die Messung des Verlustwinkels  $\tan\delta$  ist für PVC-Kabel geeignet. Beide Messgrößen sind stark von der Temperatur abhängig. Die Messung des Isolationswiderstands hat den Vorteil, dass er bei geringen Spannungen und angeschlossenen Verbrauchern gemessen werden kann. Insgesamt ist es durch die kurzen Kabel in den Kraftwerken möglich, auch einzelne Fehler in den Kabeladern zu identifizieren. Bei allen Untersuchungen von fehlerhaften Kabeladern wurde festgestellt, dass immer eine thermische Beanspruchung vorlag. In der Bewertung sollte wenn möglich berücksichtigt werden, in welchem Umfang Kabel durch thermische Beanspruchung deutlich stärker gealtert sein können. Dies sollte in einer Routineüberprüfung von Kabeln berücksichtigt werden.

Zu dem Grenzwert des Isolationswiderstandsbelags von über 30 Jahre alten PVC-Kabeln, für die keine Literaturangaben vorliegen, sollten noch intensive Diskussionen zu den Messergebnissen geführt werden. Weiterhin sollten Überlegungen angestellt werden, ob Teilentladungsmessungen nicht sinnvoll sein könnten, denn die Schäden, die gefunden wurden, waren eindeutig auf Teilentladung und Alterung zurückzuführen. Dazu müssten jedoch in KKK erst die Versuche abgeschlossen sein.

Nach Auskunft des Sachverständigen wurden in KKB und KKK im Jahr 2005 Basismessungen (Isolationswiderstände unter Heranziehen der Grenzwerte nach ZVEI) durchgeführt. Diese Messungen sollen in 2006 zur Erlangung eines Trends wiederholt werden. In der Anlage KKK wurden mit dem Prüfkonzept Prüfungen zur Absicherung des Grenzwertes von 15 MΩ km einschließlich einer Vorbeanspruchung zur Erzielung eines zeitlichen Vorlaufs durchgeführt. Nach Abschluss der Prüfungen in 2006 liegen dann erste Ergebnisse zur Bewertung eines Trends vor, die als Basis zur Zustandsbestimmung von Kabeln herangezogen werden können. Darauf aufsetzend kann in Zukunft eine Trendverfolgung entwickelt werden, indem jedes Jahr eine definierte Menge von Kabeln unter gleichen Rahmenbedingungen gemessen wird.

In Anlehnung an das Prüfkonzept für 10-kV-Kabel können die Isolationswiderstandsbeläge von 6-kV-Kabeln ebenfalls in drei Gruppen (Güteklassen) eingeteilt werden. Die Grenzwerte der Isolationswiderstandsbeläge sind dabei aufgrund des anderen Kabelaufbaus mit einem Faktor 1,1 gegenüber den Grenzwerten der 10-kV-Kabel berechnet worden. Als unterer Grenzwert für 6-kV-Kabel ist 16,5 MΩ km ermittelt worden (15 MΩ km für 10-kV-Kabel). Diese Grenzwerte sind zunächst für KKB angewandt worden.

Eine abschließende Bewertung der Ergebnisse der umfangreichen Untersuchungen an 6-kV-PVC-Kabeln steht noch aus.

## **6 Bewertungsmaßstäbe**

Der übergeordnete Maßstab für die sicherheitstechnische Bewertung gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik von Kabelschäden in der Eigenbedarfsversorgung muss eine geringe Eintrittshäufigkeit des Notstromfalls sein. Dazu muss ein geeignetes Alterungsmanagementsystem vorhanden sein, das auch die Alterung von Kabeln mit erfasst. Die folgenden Regeln sind dabei zu berücksichtigen:

- RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren, Ursprungsfassung (3. Ausgabe vom 14. Oktober 1981) mit Änderungen vom 15.11.1996,
- RSK–EMPFEHLUNG zur Beherrschung von Alterungsprozessen in Kernkraftwerken vom 22.07.2004 (374. Sitzung),
- KTA 3702 „Notstromerzeugungsanlagen mit Diesellaggregaten in Kernkraftwerken“ und
- KTA 3705 „Schaltanlagen, Transformatoren und Verteilungsnetze zur elektrischen Energieversorgung des Sicherheitssystems in Kernkraftwerken“.

## **7 Beantwortung der BMU-Fragen und Empfehlungen**

### **Frage 1**

Entsprechen die von der VGB vorgeschlagenen und von den Gutachtern des TÜV Nord mit Bezug auf die Anlagen KKB und KKK bestätigten Verfahren zur Überprüfung und Kontrolle von PVC-Mittelspannungskabeln (6 und 10 kV) mit sicherheitstechnischer Bedeutung für alle deutschen

Kernkraftwerke dem Stand von Wissenschaft und Technik oder sind darüber hinaus weitere, genauere Verfahren zur zuverlässigen Kontrolle und Überwachung von PVC-Kabeln im Mittelspannungsbereich vorhanden?

Der RSK wurden Methoden zur Überprüfung des Zustandes von PVC-Kabeln vorgestellt. Die u. a. angewendete Isolationswiderstandsmessung zeigt einen integralen Wert über das gesamte Kabel an. Es ist zu beachten, dass wie im KKK geschehen, zunächst Messungen an Kabeln mit angeklebten Verbrauchern durchgeführt werden und nur wenn die Messwerte eine Schädigung vermuten lassen, werden aussagefähigere Messungen mit abgeklemmten Verbrauchern durchgeführt. Im Falle von Erneuerungen von Mittelspannungskabeln werden PVC-Kabel häufig durch PE/VPE-Kabel ersetzt.

Die untersuchten PVC-Kabel zeigten aufgrund unterschiedlicher Betriebstemperaturen, PVC-Mischungen und Fertigungsqualität unterschiedliches Alterungsverhalten. So wiesen VDK-Kabel insgesamt schlechtere Werte auf als vergleichbare Kabel anderer Hersteller. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass durch Herstellungsmängel beschleunigte Alterungsmechanismen wirksam werden, die zu den aufgezeigten Schadensbildern führen. In der Diskussion wurde aber deutlich, dass auch bei fehlerfrei gefertigten Kabeln eine relevante Verringerung der Isolationswiderstände über die Betriebszeit auftritt und deshalb regelmäßige Prüfungen erforderlich sind.

Für die Kontrolle und Überwachung (Diagnose) von PVC-Kabeln im Mittelspannungsbereich sind neben den Isolationswiderstandsmessungen grundsätzlich auch Teilentladungs- und  $\tan\delta$ -Messungen anwendbar. Mit Teilentladungsmessungen können unter bestimmten Randbedingungen insbesondere lokale Fehlerstellen in der Isolierung erfasst werden; mit  $\tan\delta$ -Messungen insbesondere globale Alterungseffekte.

Aus den Beratungen kommt die RSK zu dem Ergebnis, dass die Isolationswiderstandsmessung für die Überwachung des Alterungsverhaltens von PVC-Mittelspannungskabeln als geeignetes Messverfahren nach Stand von Wissenschaft und Technik anzusehen ist. Das entsprechende Messverfahren ist in Kernkraftwerken eingeführt, einfach durchführbar und die Messergebnisse sind anhand von Grenzwertvorgaben einfach zu bewerten. Eine Schädigung oder Stressbelastung der Kabel ist durch dieses Messverfahren nicht zu unterstellen. Die anderen o. g. Messverfahren sind nach Ansicht der RSK für spezielle Untersuchungen geeignet.

Im Rahmen der Beratungen wurde seitens der Betreiber dargestellt, dass bei einzelnen Anlagen eine Trendverfolgung mittels der Bestimmung von Isolationswiderständen durchgeführt wird bzw. werden soll. Im KKB und KKK wurden im Jahr 2005 Basismessungen (Isolationswiderstände unter Heranziehen der Grenzwerte nach ZVEI) durchgeführt. Diese Messungen sollen in 2006 zur Feststellung eines Trends wiederholt werden. In der Anlage KKK wurden entsprechend dem Prüfkonzept Prüfungen zur Absicherung des Grenzwertes von 15 M $\Omega$  km einschließlich einer Vorbeanspruchung zur Erzielung eines zeitlichen Vorlaufs durchgeführt. Nach Abschluss der Prüfungen in 2006 liegen dann erste Ergebnisse zur Bewertung eines Trends vor, die als Basis zur Zustandsbestimmung von Kabeln herangezogen werden können. Darauf aufsetzend soll in Zukunft ein Verfahren zur Trendverfolgung entwickelt werden, indem jedes Jahr eine definierte Menge von Kabeln unter gleichen Rahmenbedingungen geprüft wird.

Die RSK hält die Vorgehensweise von Isolationswiderstandsmessungen von Kabeln zur Zustandbewertung in Verbindung mit einer Trendverfolgung für eine geeignete und ausreichende Maßnahme, um

Alterungsphänomene zu verfolgen. Mit der Anwendung dieses Verfahrens einschließlich der Trendverfolgung kann sichergestellt werden, dass sicherheitstechnisch relevante Alterungseffekte und daraus resultierende sicherheitstechnische Defizite rechtzeitig erkannt werden.

In Anlagen, in denen bisher keine Messungen zur Zustandsbestimmung von Mittelspannungskabeln durchgeführt worden sind, sind die Basismessungen für die Trendverfolgung (Isolationswiderstände unter Heranziehen der Grenzwerte nach ZVEI) durchzuführen.

## **Frage 2**

Entspricht die von der VGB vorgeschlagene Vorgehensweise für die Überwachung und Kontrolle (Trendverfolgung) von inzwischen eingesetzten VPE-Mittelspannungskabeln dem Stand von Wissenschaft und Technik?

Nach Ansicht der RSK ist zu erwarten, dass zukünftig vermehrt PE/VPE-Kabel als Ersatz für die bisherigen PVC-Kabel zum Einsatz kommen. Gemäß den Ausführungen der Sachverständigen liegen für diese Kabel umfangreiche und langjährige Betriebserfahrungen insbesondere aus dem Einsatz in Energieversorgungsverteilungsnetzen vor. Es existieren Modelle für die Beschreibung der elektrischen Alterung für PE/VPE-Kabel. Für PE/VPE-Isolierungen sind zum Auffinden von den möglichen Schwachstellen in Kabeln Prüf- und Diagnoseverfahren entwickelt worden.

Der RSK wurde aber im Rahmen der Beratungen noch kein konkretes Konzept zur Erfassung des Alterungsverhaltens von PE/VPE-Kabeln in Kernkraftwerken vorgestellt. Die RSK hält es für erforderlich, dass auch die PE/VPE-Kabel (6 kV und 10 kV) in das Alterungsmanagement analog den PVC-Kabeln eingebunden werden. Die RSK ist der Auffassung, dass für das Alterungsverhalten von PE/VPE-Kabeln die Notwendigkeit für Prüfungen bzw. Trendverfolgung zu klären und ggf. ein entsprechendes Konzept zu entwickeln ist. Vor dem Hintergrund der Erfahrungen mit PVC-Kabeln schlägt die RSK vor, dass die Betreiber innerhalb von sechs Monaten zur Fragestellung der Erfordernis und ggf. geeigneter Prüfmethode hinsichtlich PE/VPE-Kabeln vortragen.

## **Beratungsunterlagen**

- [1] Schreiben der Geschäftsstelle BR031104\_EE165/waf-heb vom 03.11.2004  
„Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB) – ME E 13/04 „Automatische Schnellabschaltung  
infolge einer Störung in der Eigenbedarfsversorgung“ und ME N 14/04  
„Nichtverfügbarkeit eines UNS-Notstromdiesels“, jeweils INES-1“  
einschließlich der Anlagen:
1. KKB ME 13.1/04 vom 23.08.04 (Mitteilung des MSGV SH vom 10.09.04),
  2. KKB ME 14/04 vom 27.08.04 (Mitteilung MSGV SH vom 30.08.04),
  3. Schreiben BMU - AG RS I 3 – 14306/29 an die Länderbehörden vom 09.09.  
und 13.09.04,
  4. Antworten der Länderbehörden NMU, HMLUV, MUV BW, BStMUGV,  
SenStadtB jeweils vom 13.10.04 sowie BStMUGV (22.10.04), MVEL NW  
(12.10.04),
  5. Schreiben des MSGV SH – VIII 603-416.798.236 vom 22.10.04 (17 Seiten),
  6. Schreiben des MSGV SH – VIII 603-416.798.236 vom 22.10.04 (e-Mail, 2 Seiten),
  7. Schreiben des MSGV SH – VIII 601-416.798.236 vom 24.10.04 (3 Seiten) und
  8. Schreiben des MSGV SH – VIII 62-416.758.290 zu KKK vom 18.09.04 (5 Seiten).
- [2] Ministerium für Soziales, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Schleswig-  
Holstein, KKB, Meldepflichtige Ereignisse, ME 13/2004 „Störung in der  
Eigenbedarfsversorgung mit Reaktorschnellabschaltung“ und ME 14/2004  
„Nichtverfügbarkeit eines UNS-Notstromdiesels bei Kurzschluss im Eigenbedarf“,  
Foliensatz
- [3] Vattenfall Europe Nuclear Energy, KKB, „Störung in der Eigenbedarfsversorgung mit  
RESA“ (ME 13/4), Foliensatz
- [4] Vattenfall Europe Nuclear Energy, KKB, „Nichtverfügbarkeit eines UNS-  
Notstromdiesels bei Kurzschluss im Eigenbedarf“ ME 14/04, Foliensatz
- [5] TÜV Nord, Kernkraftwerk Brunsbüttel, „Störung in der Eigenbedarfsversorgung mit  
Reaktorschnellabschaltung am 23.08.2004“ (ME 13/4), Vortrag des TÜV NORD  
anlässlich der 165. Sitzung RSK-EE, Foliensatz
- [6] TÜV Nord, KKB ME N14/04, „Nichtverfügbarkeit eines UNS-Notstromdiesels“,  
Vortrag des TÜV NORD anlässlich der 165. Sitzung RSK-EE, Foliensatz
- [7] Telefax vom Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie, Jugend und Senioren des  
Landes Schleswig-Holstein vom 10.05.2005 mit der Anlage

Schreiben der Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. KG (Az.: E-HBE2 sü-te) vom 22.04.2005 an das Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie, Jugend und Senioren des Landes Schleswig-Holstein, betr.: Kernkraftwerk Brunsbüttel, Meldepflichtiges Ereignis ME 13/2004 „Austauschkonzept 10 kV-Kabel“ mit Anlagen

- [8] Schreiben der TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG (Az.: KKB2005/1076) vom 17.05.2005 an das Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie, Jugend und Senioren des Landes Schleswig-Holstein, betr.: Kernkraftwerk Brunsbüttel, Meldepflichtiges Ereignis ME 13/2004 „Störung in der Eigenbedarfsversorgung mit Reaktorschnellabschaltung“, hier: Statusbericht zum Erkenntnis- bzw. Bearbeitungsstand
- [9] Schreiben des Ministeriums für Soziales, Gesundheit, Familie, Jugend und Senioren des Landes Schleswig-Holstein (Az.: VIII 603 – 416.798.236) vom 18.05.2005, betr.: Kernkraftwerk Brunsbüttel, Meldepflichtiges Ereignis ME 13/04 vom 23.08.2004: „Störung in der Eigenbedarfsversorgung mit Reaktorschnellabschaltung“, Sachstandsinformation
- [10] GRS, V. Wild, „Vorbereitung der WLN: Kurzschluss in einem 10-kV-Kabel der Eigenbedarfsversorgung im Kernkraftwerk Brunsbüttel aufgetreten am 23.08.2004“, 170. Sitzung des Ausschusses ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN  
Vortragsfolien
- [11] TÜV Nord, „Kernkraftwerk Brunsbüttel, Störung in der Eigenbedarfsversorgung mit Reaktorschnellabschaltung (ME 13/2004), Status zum Erkenntnis-/Bearbeitungsstand“, Vortrag der TÜV Nord SysTec GmbH bei der 170. Sitzung RSK-EE  
Vortragsfolien
- [12] Schreiben des Ministeriums für Soziales, Gesundheit, Familie, Jugend und Senioren des Landes Schleswig-Holstein VIII 60 – 416.798.236 vom 30.05.2005, betr.: Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB), Meldepflichtigen Ereignis Nr. E 13/2004 Störung der Eigenbedarfsversorgung mit Reaktorschnellabschaltung vom 23.08.2004, hier: Zustandsbewertung der 10-kV-Kabel, Mängelmeldung aus dem Bereich Elektrotechnik des TÜV Bayern e.V. vom 11.05.1990 an die TÜV-Leitstelle bei der VdTÜV (Registrier-Nr. 12/21) Beschluss 159 (50. Leitstellensitzung), Teilentladung an 10-kV-PVC-Kabel durch Spaltbildung zwischen Isolierung und innerer Leiterglättungsschicht im Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KWG)“  
Tischvorlage

- [13] Schreiben des TÜV Nord SysTec GmbH & Co. KG KKB2005/1417 vom 31.05.2005, betr.: Kernkraftwerk Brunsbüttel, Meldepflichtiges Ereignis Nr. E 13/2004, Störung in der Eigenbedarfsversorgung mit Reaktorschnellabschaltung vom 23.08.2004, hier: Zustandsbewertung der 10-kV-Kabel, Nmängelmeldung aus dem Bereich Elektrotechnik des TÜV Bayern e. V. vom 11.05.1990 an die TÜV-Leitstelle bei der VdTÜV (Registrier-Nr. 12/21) Beschluss 159 (50. Leitstellensitzung), Teilentladung an 10-kV-PVC-Kabel durch Spaltbildung zwischen Isolierung und innerer Leiterglättungsschicht im Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KWG)“  
Tischvorlage
- [14] Prof. Dr.-Ing. R. Bärsch, Elektrische Prüfung und Diagnoseverfahren für eine Zustandsbewertung von kunststoffisolierten Mittelspannungskabel (Überblick) Zittau, 10.05.2005
- [15] Schreiben der RSK-Geschäftsstelle an den VdTÜV „Beratungsunterlagen für den RSK-Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN“, Az: VdTÜV.BR2200705 vom 22.07.2005
- [16] Schreiben der RSK-Geschäftsstelle an den VGB „Beratungsunterlagen für den RSK-Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN“, Az: VdTÜV.BR2200705 vom 22.07.2005
- [17] TÜV Nord SysTec GmbH & Co. KG,  
Schreiben an das Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie, Jugend und Senioren des Landes Schleswig-Holstein, „Kernkraftwerk Krümmel, Prüfkonzept für PVC-isolierte Mittelspannungskabel der Bauart NYSEY 3x240RM/25 6/10 kV, Stand 28.07.2005“, Az: KKK2005/2061 vom 08.08.2005
- [18] Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie, Jugend und Senioren des Landes Schleswig-Holstein  
Schreiben an das BMU, „Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB), Meldepflichtiges Ereignis Nr. N 13/2004: Störung der Eigenbedarfsversorgung mit RESA, GRS Weiterleitungsnachricht Nr. 2005/11 vom 14.07.2005: Kurzschluss in einem 10-kV-Kabel der Eigenbedarfsversorgung im Kernkraftwerk Brunsbüttel am 23.08.2004, Hier: Zustandsbewertung der 6 kV-Kabel“, Az: VIII 60 - 416.798.260 vom 03.08.2005 einschließlich Anlagen
- [19] Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie, Jugend und Senioren des Landes Schleswig-Holstein

Schreiben an das BMU, „Kernkraftwerk Krümmel, /1/ Mängelmeldung des KKG vom 08.05.1990 und Prüfung auf Übertragbarkeit; /2/ Schreiben der KKK GmbH & Co. oHG TKEI seng ex vom 29.07.2005 mit dem Prüfkonzept vom 28.07.2005 in der Anlage; /3/ Fachgespräch im KKK zwischen dem MSGF, der KKK GmbH & Co. oHG und der TÜV Nord SysTec am 19.08.2005“  
Az: VIII 62 - 416.758.290 vom 20.08.2005

- [20] Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie, Jugend und Senioren des Landes Schleswig-Holstein  
Schreiben an das BMU, „Kernkraftwerk Brunsbüttel, Meldepflichtiges Ereignis Nr. N 13/2004: Störung der Eigenbedarfsversorgung, /1/ 2. Statusbericht der TÜV Nord SysTec GmbH & Co. KG vom 15.08.2005“, Az: KKB2005/2304 vom 26.08.2005
- [21] VdTÜV, Informationswesen der in der Leitstelle Kerntechnik des VdTÜV vertretenen TÜV Sachverständigenorganisationen, Folie
- [22] VGB PowerTech, Erfassung, Aufbereitung und Kommunikation sicherheitstechnisch wichtiger Informationen bei den Betreibern  
Vortragsfolien zur 169. Sitzung des RSK-Ausschusses REAKTORBETRIEB am 22.06.2005
- [23] Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie, Jugend und Senioren des Landes Schleswig-Holstein  
Schreiben an das BMU, „Kernkraftwerk Krümmel, /1/ Mängelmeldung des KKG vom 08.05.1990 und Prüfung auf Übertragbarkeit; und Prüfkonzept vom 28.07.2005; /2/ Schadhafte gelieferte 10-kV-Kabel der Fa. Pirelli; /3/ Sitzung des RSK-A-EE am 14.09.2005; /4/ Schreiben des MSGF an BMU vom 22.08.2005  
Einschließlich der 5 Anlagen:  
Anlage 1: IPH, Prüfprotokoll  
Anlage 2: Pirelli, Technischer Bericht, TB-Nr. 03/05  
Anlage 3: Dr.-Ing. Rittinghaus, Beurteilung der Prüfergebnisse an Kabelproben  
Anlage 4: Kabel 10 kV Isolationsmessungen  
Anlage 5: Pirelli: Zuarbeit zum Bericht der Besprechung am 24.08.2005

- [24] Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie, Jugend und Senioren des Landes Schleswig-Holstein  
„KKB, Austausch von Mittelspannungsanlagen“ Foliensatz
- [25] VGB Power Tech  
„Austausch von Mittelspannungsanlagen in deutschen Anlagen, eingeführte Prüfverfahren bei Mittelspannungskabeln mit PVC-Isolierung“  
RSK-Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN 14.09.2005, Foliensatz
- [26] Dr. Dirk Rittinghaus, energy cable consult,  
“Beanspruchungen und Alterungsmechanismen von PVC-isolierten Mittelspannungskabeln”, RSK-Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN 14.09.2005, Foliensatz
- [27] Dr. Dirk Rittinghaus, energy cable consult,  
“Vorstellung des KKK-Prüfkonzepts für 10 kV PVC Kabel sowie erste Ergebnisse“, RSK-Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN 14.09.2005, Foliensatz
- [28] Prof. Dr. Gunter Voigt, Fachhochschule Konstanz, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Gestaltung, „Diagnose von Mittelspannungskabeln“, Foliensatz
- [29] Mathias Remstedt, TÜV Nord SysTec,  
„Sicherstellung der Informationsweiterleitung der erkannten Mängeln an Mittelspannungskabeln mit potenzieller Bedeutung innerhalb der Sachverständigenorganisationen“, RSK- Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN am 14.09.2005, Foliensatz
- [30] GRS, Weiterleitungsnachricht zu Ereignissen in Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland (WLN 2005/11) „Kurzschluss in einem 10-kV-Kabel der Eigenbedarfsversorgung" im Kernkraftwerk Brunsbüttel, aufgetreten am 23.08.2004, Köln, 14.07.2005