Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 72 (1981)

Heft: 5

Artikel: Kabel für höchste Sicherheitsanforderungen

Autor: Briker, H. / Mathys, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905084

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 01.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Kabel für höchste Sicherheitsanforderungen

Von H. Briker und W. Mathys

621.315.21;

Der Bericht befasst sich mit den Anforderungen und der Prüfung an Kernkraftwerkkabeln der Klasse 1E-LOCA. Es handelt sich dabei um Kabel, die höchsten Sicherheitsanforderungen genügen müssen.

Description des exigences posées à des câbles de la classe 1E-LOCA pour centrales nucléaires et de leurs essais. Il s'agit de câbles qui doivent satisfaire aux exigences les plus sévères en ce qui concerne la sécurité.

1. Einleitung

Kernkraftwerke erfordern ein Höchstmass an Sicherheit, vor allem im Bereich des Nuklearteiles. Die Vorschriften über die Sicherheit von Kernkraftwerken stellen deshalb auch an die Kabel sehr hohe Anforderungen.

Die in einem Kernkraftwerk eingesetzten Kabel können grundsätzlich in drei Klassen eingeteilt werden:

Klasse Hausinstallationskabel: Es handelt sich um Kabel für Beleuchtungsanlagen, Hilfsanlagen usw., d.h. um Kabel, die mit der Sicherheit des Reaktorsystems nichts zu tun haben. Neu ist bei diesen Kabeln einzig die Forderung nach erhöhter Brandsicherheit.

Klasse 1E: Diese Klasse umfasst Kabel, die für die Sicherheit des Reaktorsystems, z.B. die Notabschaltung, Kühlung usw., von Bedeutung sind. Kabel dieser Klasse müssen speziellen Qualitätsanforderungen genügen und unterliegen strengen Qualitätssicherungsmassnahmen.

Klasse 1E-LOCA: Diese Kabel der Klasse 1E müssen selbst bei einem Reaktorstörfall (LOCA) funktionstüchtig bleiben. LOCA bedeutet *L*oss *o*f *C*oolant *A*ccident, also Unfall infolge Kühlmittelverlust. Es handelt sich um Kabel, die im Reaktorsicherheitsgebäude (Containment) eingesetzt werden.

Dieser Bericht befasst sich mit Kernkraftwerkkabeln der Klasse 1E-LOCA, insbesondere mit deren Anforderungen und Prüfung.

2. Anforderungen an die 1E-LOCA-Kabel

Grundsätzlich müssen diese Kabel den Anforderungen der Spezifikationen IEEE 383 und 323 [1; 2] genügen:

Im Normalbetrieb müssen sie während 40 Jahren bei erhöhter Temperatur (ca. 65 °C) und unter dem Einfluss einer gewissen Strahlendosis funktionstüchtig bleiben. Temperatur und Strahlendosis sind je nach Reaktortyp verschieden.

Beim LOCA-Störfall, d.h. im Falle eines Kühlmittelverlustes im Reaktorgebäude, werden die Kabel hoher Temperatur, gesättigtem Wasserdampf und zusätzlicher Strahlung ausgesetzt. Dabei muss angenommen werden, dass dieser Störfall auch erst nach 40 Jahren Normalbetrieb eintreten kann und das Kabel auch in einem solchen Falle funktionstüchtig bleiben muss. Kabel, die einem derartigen Störfall ausgesetzt waren, müssen in jedem Fall ersetzt werden.

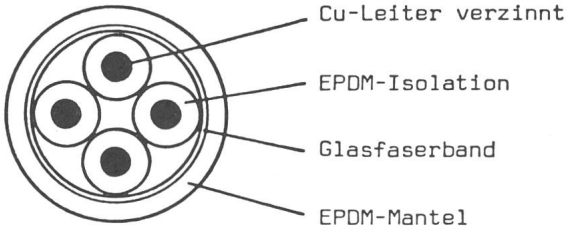

Fig. 1 Kabelaufbau

Bei lokaler Brandeinwirkung dürfen die Kabel den Brand nicht weiterleiten. Zusätzlich wird von den Kabeln Halogenfreiheit, minimale Qualmbildung und Funktionstüchtigkeit während einer gewissen Flammeinwirkungszeit gefordert.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass Kabel vom Typ 1E-LOCA alterungsbeständig, funktionstüchtig im LOCA-Störfall und brandsicher sein müssen.

3. Kabelentwicklung

Auf dem Markt sind eine Reihe von Kabeltypen erhältlich, die dem Anforderungsprofil nach IEEE 383/323 genügen. Damit der Brandtest nach IEEE 383, Punkt 2.5, bestanden wird, sind entsprechend schwerentflammbare Isolier- und Mantelmaterialien erforderlich. Aus diesem Grunde kamen bis anhin Fluorkunststoffe, chlorsulphoniertes Polyäthylen und Polyolefine mit Halogenzusätzen zum Einsatz. Um jedoch zusätzlich eine höhere Brandsicherheit bezüglich Korrosivität der Brandgase (Halogenfreiheit) und Qualmbildung zu erzielen, mussten neue Meterialien gefunden werden. Aufgrund dieser Forderungen nach erhöhter Brandsicherheit beschränkte sich die Auswahl der in Frage kommenden Materialien auf vernetzte Polyolefine, wie z.B. Äthylen-Propylen-Kautschuk (EPDM) und vernetztes Polyäthylen (XLPE) [4]. Diese Polyolefine sind darum gut geeignet, weil sie

- halogenfrei sind,
- sich mit Aluminiumtrihydrat-Zusätzen schwer entflammbar machen lassen,
- strahlungsbeständig sind,
- wasserbeständig sind,
- gut erhältlich sind und eine wirtschaftliche Lösung darstellen.

Grundsätzlich könnten auch spezielle Silikontypen den Anforderungen genügen, wobei hinsichtlich Strahlungs- und Wasserdampfbeständigkeit sowie Preis gewisse Nachteile vorhanden sind.

Vorversuche und Tests bestätigen die Tauglichkeit von speziellen EPDM-Mischungen für diese Anwendung. Ein entsprechendes Kabel ist gemäss Figur 1 aufgebaut.

4. Prüfmethode

Die Prüfung nach IEEE, 383 Punkt 2.4, gliedert sich wie folgt:

– *Alterung im Heissluftofen:* Temperatur und Dauer werden so gewählt, dass 40 Jahre Normalbetrieb unter den im Kernkraftwerk herrschenden Dauergebrauchstemperaturen simuliert werden *(Arrhenius)*.

– *Bestrahlung:* Die Bestrahlung erfolgt mit einer Co-60-Quelle. Die Totaldosis wird aus der Summe der während 40 Jahren Normalbetrieb einwirkenden plus der beim Störfall anfallenden Strahlungsdosis errechnet. Strahlungsdosis nach IEEE 383: 1×10^6 rad/h (Maximalwert).

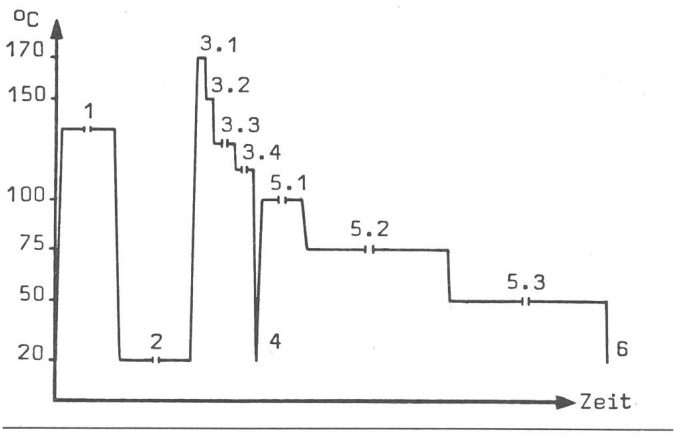

Fig. 2 Test-Profil (Temperatur im Zeitablauf)
Bedeutung der Zahlenangaben vgl. Text

– *LOCA-Test:* Die gealterten und bestrahlten Proben werden in einem Druckkessel einer Behandlung mit gesättigtem Wasserdampf unterzogen. Dauer und Temperatur bzw. Druck richten sich nach dem jeweiligen Reaktortyp. Die Prüflinge stehen während der ganzen Dauer dieses Testabschnittes unter Nennstrom und Nennspannung.

– *Post-LOCA-Test:* Im Anschluss an den LOCA-Test werden die Prüflinge wiederum unter Strom und Spannung einer Lagerung in heissem Wasser unterzogen. Die Temperatur und die Dauer richten sich nach dem jeweiligen Reaktortyp.

Die Prüfung gilt als bestanden, wenn

– die vorgeschriebenen Spannungsprüfungen jeweils nach der Bestrahlung sowie nach der Dampfeinwirkung (LOCA) und nach der Heisswasserlagerung (Post-LOCA) positiv verlaufen,

– während LOCA und Post-LOCA die Kabel unter Strom und Spannung funktionstüchtig bleiben,

– die Kabel am Schluss der Prüfung nach erfolgtem Wickeltest keine Risse aufweisen,

– der Isolationswiderstand während der ganzen Prüfdauer einen bestimmten Wert nicht unterschreitet.

5. Prüfung und Ergebnis

Das EPDM-Kabel gemäss Figur 1 wurde in 3 verschiedenen Dimensionen unter normalen Fabrikationsbedingungen hergestellt und der Prüfung nach IEEE 383 unterzogen: als Niederspannungskabel 5×4 mm² (A), als Niederspannungssteuerkabel $5 \times 1{,}5$ mm² (B) und als abgeschirmtes Steuerkabel $8 \times 2 \times 1{,}5$ mm² (C) in Form von 4 m langen Prüflingen.

Der Prüfungsablauf lässt sich in Form eines Diagramms gemäss Figur 2 darstellen. Die Zahlenangaben bedeuten die folgenden Etappen:

(1) Alterung der Prüflinge im Heissluftofen: 14 Tage bei 135 °C.

(2) Gammabestrahlung (Cobalt 60) mit einer Gesamtdosis von $5{,}5 \times 10^7$ rad und einer Dosisleistung von $1{,}0 \times 10^5$ rad/h. Zusätzlich wurde dieser Bestrahlung je ein ungealterter Prüfling ausgesetzt und in der Folge mitgeprüft. Anschliessend erfolgte die Wickelprüfung mit einer Spannungsprüfung: Nach der Bestrahlung Wickeln der Prüflinge um einen Dorn mit 20fachem Kabeldurchmesser; in dieser Form Lagerung während 1 h in Wasser von 20 °C, dann Spannungsprüfung während 5 min, Prüflinge A mit 2500 V AC, 50 Hz; Prüflinge B + C mit 1500 V AC, 50 Hz.

(3) LOCA-Test – Dampfprüfung, d.h. Lagerung der Prüflinge in Dampf

3.1 3 h bei 170 °C, 8,0 bar
3.2 3 h bei 160 °C, 6,4 bar
3.3 90 h bei 128 °C, 2,7 bar
3.4 72 h bei 115 °C, 1,8 bar

Während der Dampfprüfung standen die Prüflinge unter Wechselspannung 750 V und Strombelastung 10 A (1,5 mm²) bzw. 20 A (4 mm²).

(4) Spannungsprüfung: Nach der Dampfprüfung Lagerung während 1 h in Wasser von 20 °C, anschliessend Spannungsprüfung im Wasser während 1 min für Prüflinge A mit 2500 V AC, 50 Hz; für Prüflinge B + C mit 1500 V AC, 50 Hz.

(5) Post-LOCA-Test: Lagerung der Prüflinge in heissem Wasser

5.1 5 Tage bei 98 °C
5.2 42 Tage bei 75 °C
5.3 46 Tage bei 50 °C

Während des Post-LOCA-Tests standen die Prüflinge unter Wechselspannung 750 V und Strombelastung 10 A bzw. 20 A.

(6) Wickelprüfung mit Spannungsprüfung: Am Schluss der Wasserlagerung Wickeln der Prüflinge um einen Dorn mit 40fachem Kabeldurchmesser, in dieser Form Lagerung während 1 h in Wasser von 20 °C, anschliessend Wiederholung der Spannungsprüfung wie unter (2).

Ergebnis: Während den LOCA- und Post-LOCA-Tests blieben die Kabel funktionstüchtig, d.h., es erfolgte kein Spannungsdurchschlag bei 750 V bzw. 300 V. Sämtliche Spannungsprüfungen wurden bestanden. Der Isolationswiderstand bewegte sich während der Tests in den vorgeschriebenen Grenzen. Nach der Prüfung wurde ein Isolationswiderstand von 6×10^3 MΩ ermittelt.

Die geprüften Kabel erfüllen die genannten Anforderungen und entsprechen somit den Spezifikationen IEEE 323/383.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, Kernkraftwerkkabel der Klasse 1E-LOCA in brandsicherer, halogenfreier Ausführung herzustellen.

Die Anforderungen an diese Kabel sind jedoch abhängig vom Reaktortyp und dessen Bauart. Das bedeutet, dass weitere Prüfungen und evtl. eine Weiterentwicklung notwendig sind.

Literatur

[1] Standard for type test of class 1E electric cables, field splices, and connections for nuclear power generating stations. ANSI/IEEE-Standard 383–1974.
[2] Standard for qualifying class 1E electric equipment for nuclear power generating stations. IEEE-Standard 323–1974.
[3] Methodes d'éssais pour les enveloppes isolantes et les gaines des câbles électriques rigides et souples (mélanges élastomères et thermoplastiques). Publication de la CEI N° 540, 1976.
[4] *H. Briker:* Brandsichere Kabel. Bull. SEV/VSE 69(1978)2, S. 67...71.

Adresse der Autoren
H. Briker und *W. Mathys*, Dätwyler AG, 6460 Altdorf.