

1. Ausfertigung

Untersuchungsbericht

U 99 059

Qualifizierung der Brandschutzbeschichtung „FLAMRO ABA“ bezüglich der Verminderung des Brandrisikos von Kabeltrassen mit PVC-Kabeln

Auftraggeber: FLAMRO Brandschutzsysteme GmbH,
Talstraße 2, 56291 Leiningen-Sauerbrunn

26. April 1999

Dieser Untersuchungsbericht umfaßt 14 Blatt und 13 Anlagen.

Der Untersuchungsbericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Eine Veröffentlichung, auch auszugsweise, bedarf der schriftlichen Genehmigung.

INHALT

1	Einleitung	3
2	Vorgehensweise	3
3	Versuchsaufbau	4
3.1	Brandkammer und Rauchabzugsystem	4
3.2	Kabeltrasse	6
3.3	Meßtechnik	7
3.4	Cone-Calorimeter	8
4	Beschreibung der Brandversuche	9
4.1	Vertikale Kabeltrasse, 400 - 450 °C	9
4.2	Reduzierung der Energiefreisetzungsrate	10
5	Qualität der Brandschutzbeschichtung „FLAMRO ABA“	11
6	Zusammenfassung	12

1 EINLEITUNG

Kabelanlagen sind in modernen Bauwerken in großen Mengen und erheblichen Massierungen vorhanden. Diese Anlagen stellen im Brandfall ein erhebliches Risiko dar. Einerseits können sich die brennbaren Isolierungen der elektrischen Leitungen am Brandgeschehen eines an anderer Stelle ausgebrochenen Feuers beteiligen, andererseits können sie durch Selbstentzündung selbst Ursache des Brandes sein. Durch die allgemein über große Abschnitte fortlaufende Verlegung kann sich ein Feuer, unabhängig von seiner Entstehung, über Kabelanlagen ausbreiten und in Bereiche gelangen, die ansonsten nicht vom Brand betroffen wären. Sind Kabel mit PVC-Isolierung entzündet, können sie sich mit erheblicher Energiefreisetzung und Rauchentwicklung am Brand beteiligen. Dies kann eine zusätzliche Belastung von Bauteilen und eine Gefährdung von Personen durch Verrauchung von Rettungswegen und Angriffswegen der Feuerwehr bedeuten. Der Verlust der elektrischen Funktionsfähigkeit kann auch sicherheitstechnisch wichtige Leitungen betreffen. Der Abbrand halogenhaltiger Isolierungen kann mittelfristig zur Zerstörung von Bauteilen und Anlagen führen.

Aufgabe eines Schutzsystems auf Kabelanlagen muß die Verringerung des Brandentstehungsrisikos, der Brandausbreitung und der Brandwirkung sein. Das Schutzsystem sollte den Zugang zur Kabelanlage nicht behindern und in einfacher Form, auch nachträglich, zu erstellen sein. Da Kabelanlagen ständig verändert oder erweitert werden, muß das Schutzsystem diesen Modifikationen angepaßt werden können. Die Brandschutzbeschichtung „FLAMRO ABA“ ist in Hinblick auf den Schutz von Kabelanlagen entwickelt worden. Die Wirksamkeit soll im Rahmen der hier dargestellten Untersuchung nachgewiesen werden.

Aufgrund neuer Erkenntnisse über das Brandverhalten von elektrischen Leitungen mit PVC-Isoliermantel und die Wirkungsweise von Schutzanstrichen (Dämmschichtbildner, Ablationsbeschichtungen) und vergleichbarer Kabelschutzsysteme zur Reduzierung des Brandentstehungs- und Brandausbreitungsrisikos auf Trassen mit PVC-Kabeln ist es möglich, durch großmaßstäbliche Brandversuche an Trassen mit beschichteten Kabeln den aufgetragenen Anstrich bzw. das Schutzsystem zu qualifizieren [1, 2, 3]. Im Labormaßstab kann die Verminderung der Energiefreisetzungsrates quantitativ nachgewiesen werden [4]. Zum Stand der Diskussion über ein offiziell anerkanntes Qualifizierungsverfahren und die Anwendung von Kabelschutzsystemen wird auf aktuelle Veröffentlichungen verwiesen [5, 6, 7, 8].

Das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der Technischen Universität Braunschweig wurde von der Firma FLAMRO Brandschutzsysteme GmbH, Leiningen, beauftragt, die Brandschutzbeschichtung „FLAMRO ABA“ unter den entsprechenden Randbedingungen zu untersuchen und die Eignung als Schutzsystem für PVC-Kabel nachzuweisen.

2 VORGEHENSWEISE

Die Kabelanlagen können selbst die Ursache der Brandentstehung sein. Der Brand kann dabei lokal durch Kurzschluß oder Überhitzung entstehen. Andererseits besteht die Möglichkeit, daß die Kabelanlagen durch ein bereits an anderer Stelle, mit anderen Brandlasten entstandenes Feuer vorgewärmt und durch eine in der direkten Umgebung befindliche Flamme oder, bei hohen Raumtemperaturen, durch Selbstentzündung in Brand geraten. In beiden Fällen kommt es in Abhängigkeit von der Größe des durch die „primäre“ Brandlast verursachten Feuers und der Bauart, Belegung und Orientierung der Kabeltrassen zu einer Teilnahme am Brand als „sekundäre Brandlast“.

Um diese Vorstellung in die Untersuchungen einzubinden, wird das Feuer der „primären Brandlast“, unabhängig von der Ursache, durch Vorheizen des Brandraums mit den installierten Ölbrennern simuliert. Die Flammen der Brenner dürfen aber nicht die zu untersuchende Kabelpritsche direkt beaufschlagen und unkontrolliert entzünden. Für die direkte Beflammung wird ein separater Gasbrenner eingesetzt, der zu einem beliebigen Zeitpunkt zugeschaltet und mit geregelter Leistung betrieben werden kann. Durch die Trennung von Aufheizen und Beflammen können die Einflüsse der Vorwärmung und der Zündquelle unabhängig voneinander beobachtet werden.

Untersucht wird eine praxisingerecht aufgebaute Kabelpritsche, die mit PVC-Kabeln belegt und mit dem Schutzsystem versehen ist. Es wird ein Versuch mit vertikaler Kabeltrasse (Vorheiztemperatur 400 - 450 °C) durchgeführt. Zusätzlich werden Kabelstücke im Labormaßstab untersucht.

3 VERSUCHSAUFBAU

3.1 BRANDKAMMER UND RAUCHABZUGSYSTEM

Der Brandversuch wird in einem Brandraum mit einer Grundfläche von 3,6 m × 3,6 m und einer Höhe von 5,4 m (Volumen: 70 m³) durchgeführt. Der Raum besitzt eine 3,0 m hohe und 0,8 m breite Öffnung (Tür), die vom Boden bis ca. 2,0 m Höhe verschlossen wird. Durch den offenen Abschnitt der Tür im oberen Bereich strömen die Rauchgase ab. Zuluft gelangt durch diverse Öffnungen im Boden in den Brandraum. In der Vorderwand des Raums befindet sich eine zusätzliche 0,8 m × 0,8 m große Luke (Mannloch), die bei Bedarf, z. B. Sauerstoffmangel während des Versuchs, geöffnet werden kann, um zusätzliche Zuluft bereitzustellen.

Im Boden der vorderen Raumhälfte sind 3 Ölbrenner eingelassen, die zum Vorheizen des Raums eingesetzt werden. Das Stahlgestell zur Befestigung der Kabelpritschen steht auf 40 cm hohen Sockeln, da im Gegensatz zu älteren Untersuchungen [1, 2, 3] ohne Abbrandwaage gearbeitet wird. Die beiden Raumhälften sind durch eine 1,4 m hohe Wand voneinander getrennt. Die Wand schattet den unteren Bereich der vertikal angeordneten Trasse gegen die Strahlung der Ölbrennerflammen ab. Der Kiesbettbrenner mit 0,3 × 0,3 m² Ausströmfläche steht am Fuß der vertikalen Kabeltrasse.

Die aus dem oberen Bereich der Türöffnung austretenden Rauchgase werden unter der 2,9 m × 2,9 m großen Öffnung der Abzughaube gesammelt. Um ein Ausströmen von Rauchgasen in die Halle zu vermeiden, sind an 3 Seiten der Haube 1,0 m tiefe Schürzen eingehängt. Über die Haube, den Haubenaufsatz und die horizontal verlegte Rohrleitung mit der Meßstrecke werden die Gase der Hauptleitung zur Rauchgasreinigung zugeführt (siehe Bild 1, 2).

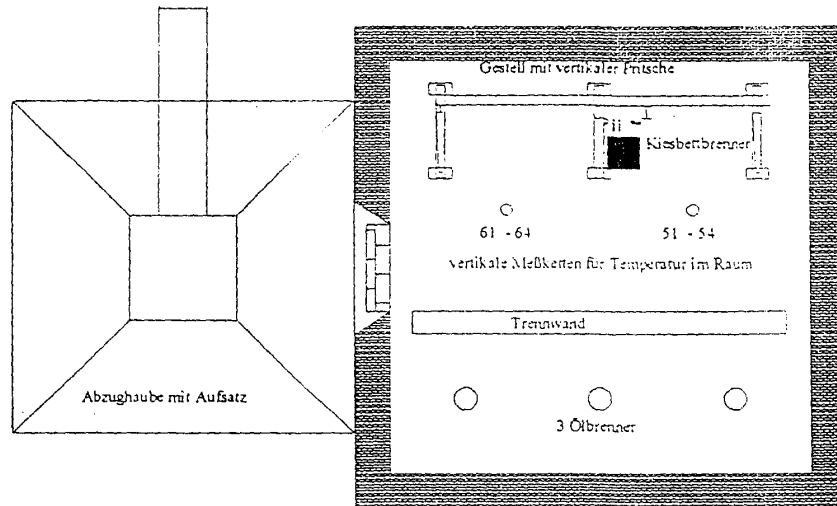


Bild 1: Draufsicht des Brandraums und des Abzugsystems mit vertikal angeordneter Kabeltrasse

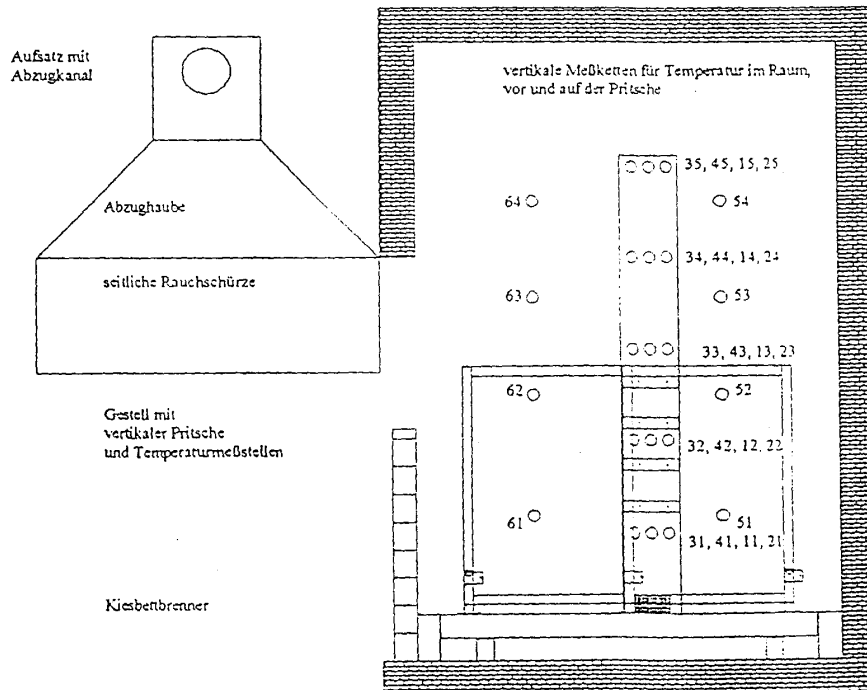


Bild 2: Seitenansicht des Brandraums und des Abzugsystem mit vertikal angeordneter Kabeltrasse

3.2 KABELTRASSE

Die Kabeltrasse ist mit Leistungs- und Steuerkabeln belegt, wobei die beiden Bündel durch einen Zwischenraum voneinander getrennt sind. Die Kabelarten und ihre Lage sind der Tabelle 1 und dem Bild 3 zu entnehmen. Die vertikale Trasse ist 4 m hoch. Die Kabel sind auf der Pritsche mit Schellen befestigt. Aus der Summe der Kabel ergeben sich der PVC-Anteil und der Heizwert pro Längeneinheit für die eingesetzte Kabeltrasse. Die theoretische Brandlast beträgt 27 kg (435 MJ) Isoliermaterial bei vertikaler Anordnung.

Tabelle 1: „Standard“-Belegung der Kabeltrasse

Index 1)	Bezeichnung der Kabel	Durch- messer	PVC-Anteil 2)	Heizwert pro Längen- einheit 3)	effektiver Heizwert 4)	Anzahl der Kabel
1	NYCWY 3 * 120 sm 70	45 mm	0,9286 kg/m	4,47 kWh/m	17,33MJ/kg	1
2	NYCWY 3 * 35 sm 16	30 mm	0,6964 kg/m	2,14 kWh/m	11,63 MJ/kg	2
3	NY Y - 14 * 16	22 mm	0,42 kg/m	2,03 kWh/m	17,00 MJ/kg	2
4	NYCY - 14 * 4	20 mm	0,4071 kg/m	1,11 kWh/m	9,16 MJ/kg	4
5	IE - Y (ST) Y	20 mm	0,2172 kg/m	1,50 kWh/m	24,62 MJ/kg	5
6	IE - Y (ST) Y	16 mm	0,1234 kg/m	0,72 kWh/m	21,05 MJ/kg	6
7	IE - Y (ST) Y	6 mm	0,06 kg/m	0,19 kWh/m	11,00 MJ/kg	6
	„Standard“-Belegung		6,762 kg/m	108,8 MJ/m		

- 1) siehe Bild 3
- 2) nach Herstellerangabe
- 3) siehe Mitteilungen DIBt 3/1994, S. 97 - 101
- 4) berechnet, Quotient aus Heizwert pro Längeneinheit und PVC-Anteil

Auf die Kabel der vormontierten Trasse wurden nach Anbringen der Thermolemente die Beschichtung „FLAMRO ABA“ aufgetragen. Die Trockenschichtdicke beträgt allgemein mehr als 1 mm, an wenigen Stellen wird die maximale Dicke von ca. 3 mm erreicht. Die Beschichtung ist geringfügig in die Zwischenräume zwischen den Kabeln des Steuerkabelbündels eingedrungen. Die Oberfläche der Beschichtung ist sehr rau und unregelmäßig, weist aber keinerlei Lücken oder Fehlstellen auf. Die Befestigungsschellen sind mit „FLAMRO ABA“ beschichtet, auf zusätzliche flankierende Maßnahmen wurde verzichtet. Die horizontalen Sprossen und die senkrechten Profile der Kabeltrasse wurden nicht beschichtet.

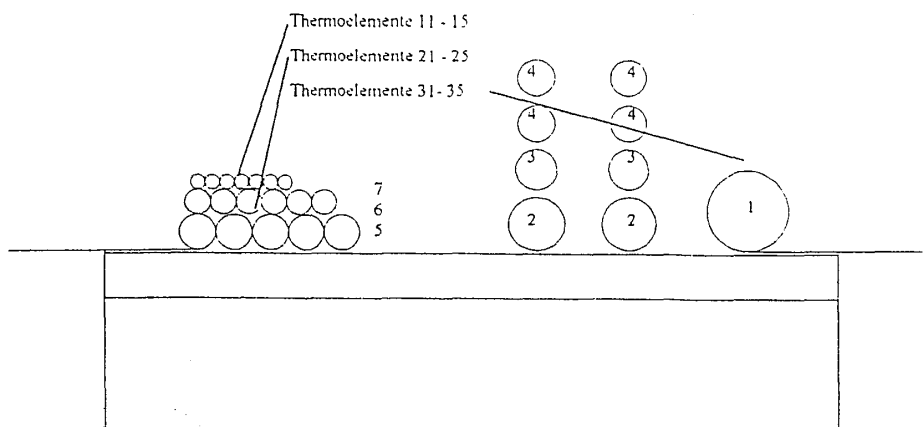


Bild 3: Standardbelegung der vertikalen Kabeltrasse (ohne Befestigungsschellen)

3.3 MESSTECHNIK

Zur Dokumentation und Bewertung des Geschehens im Brandversuch ist die Temperatur an festen Punkten im Raum und auf der Kabeltrasse die wichtigste Größe. Im Brandraum wird über 2 vertikale Meßketten mit jeweils 4 NiCr-Ni-Thermoelementen mit Schweißperle und 4 NiCr-Ni-Mantelthermoelementen die vertikale Temperaturverteilung erfaßt (Position 51 - 54, 61 - 64); 0,2 m vor der vertikal angeordneten Trasse ist zur Erfassung des lokalen Geschehens eine zusätzliche Meßkette mit 5 NiCr-Ni-Thermoelementen angebracht (Position 41 - 45). Auf der Vorderseite der Steuer- und der Leistungskabel wurden jeweils 5 Thermoelemente bei Montage der Kabel auf dem Trassenkörper befestigt (Position 11 - 15, 31 - 35). Diese Elemente liegen unterhalb der Beschichtung, also in der Grenzschicht zwischen PVC-Oberfläche und Beschichtungsunterseite. Außerdem wurden im Inneren des Bündels der Steuerkabel Thermoelemente angebracht (Position 21 - 25).

Die Temperaturangaben der vertikalen Meßketten „an der Tür“ (Position 61 - 64) und „an der Wand“ (Position 51 - 54) stellen die Temperaturschichtung im Brandraum dar. Durch die Temperatur an der „vertikalen Kette vor der Trasse“ (Position 41 - 45) wird die thermische Belastung der Kabel bzw. der Beschichtung dokumentiert. Bei vertikaler Anordnung ist die Temperaturschichtung über die gesamte Höhe der Kabeltrasse im Brandraum zu betrachten, wobei am unteren Trassenende (Position 41) die gewünschte Vorheiztemperatur nicht erreicht werden kann.

Die Meßstellen „Vorderseite auf den Steuerkabeln“ (Position 11 - 15) und „Vorderseite auf den Leistungskabeln“ (Position 31 - 35) dienen zur Erfassung der Temperaturänderung der PVC-Oberfläche beim Vorheizen. Am Verlauf des Signals von Thermoelement 11 und 31 erkennt man zusätzlich die Phasen der direkten Beflammung. Die Ergebnisse der Temperaturmessung sind für alle Versuche in der Anlage zum Untersuchungsbericht dargestellt.

Die Phasen direkter Beflammung werden durch Erfassung des Propangasstroms festgehalten. Die Leistung des Kiesbettbrenners und damit die lokale Beaufschlagung der Kabel bzw. der Beschichtung ergibt sich aus dem Heizwert des Propangases und dessen geregelttem Volumenstrom.

Alle bisher genannten Meßgrößen werden als elektrische Spannung bereitgestellt, digitalisiert und über die rechnergesteuerte Datenerfassung in festen Zeitintervallen (10 s) gespeichert.

3.4 CONE-CALORIMETER

Die Kabel werden in horizontaler Anordnung bei definierter Strahlungsflußdichte untersucht. Für die Untersuchungen wird das „Cone-Calorimeter“ in Anlehnung an ISO 5660 [4] benutzt. Der Versuchsaufbau ist in Bild 4 dargestellt.

Als Proben dienen 10 cm lange Kabelstücke vom Typ IE - Y(ST)Y Bd 40 × 2 × 0.8 (Durchmesser ca. 14 mm), die sowohl unbeschichtet als auch mit „FLAMRO ABA“ beschichtet geprüft werden. Die Kabel liegen auf einer mit Aluminiumfolie abgedeckten Mineralfaserplatte, mit der die Probenpfanne ausgelegt ist. Zur Gewichtsmessung steht die Probenpfanne auf der Wägezelle. Die Kabelstücke werden durch den „Cone-Heizer“ einer in der horizontalen Ebene homogenen Wärmestromdichte von 50 kW/m² ausgesetzt. Zwischen Kabeloberseite und Heizer sind zwei Elektroden eingeschwenkt, die einen periodischen, elektrischen Funken erzeugen, um eventuell austretende brennbare Gase zu entzünden.

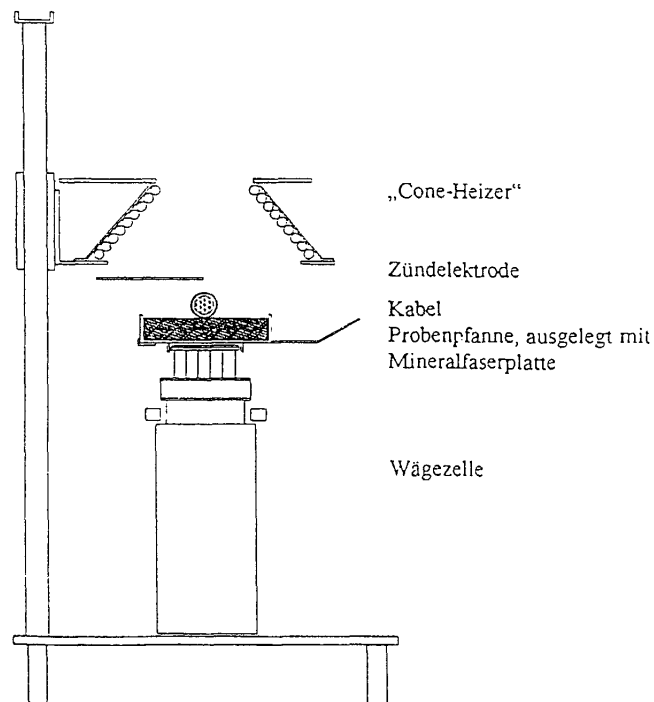


Bild 4: Aufbau des Cone-Calorimeters mit Probenanordnung

Das Prüfverfahren ermöglicht auf Basis der Sauerstoffkalorimetrie die Berechnung der Energiefreisetzungsrates, der Abbrandrate und der effektiven Verbrennungswärme. Im Fall der beschichteten Kabel sind Abbrandrate und effektive Verbrennungswärme allerdings nicht zur Beurteilung der Verbrennung von PVC heranzuziehen, da auch die Reaktion der Brandschutzbeschichtung mit Massenverlust verbunden ist.

4 BESCHREIBUNG DER BRANDVERSUCHE

4.1 VERTIKALE KABELTRASSE, 400 - 450 °C

Der Brandraum wird innerhalb von 20 Minuten auf 420 - 450 °C aufgeheizt. Nur im unteren Bereich ist die Temperatur kleiner als 400 °C (siehe Anlage 2, 3). Vor der Kabeltrasse herrschen nach 20 Minuten 330 °C am unteren Ende (0,7 m über Unterkante) und ca. 430 °C am oberen Ende (3,1 m und 3,9 m über Unterkante). Im Verlauf der stationären Phase steigt die Temperatur im oberen Abschnitt auf ca. 450 °C. Im mittleren und oberen Trassenabschnitt sind die Temperaturunterschiede aufgrund der Heißgasschichtung nur sehr gering. Der Gasbrenner wird in der 21. und 30. Minute eingeschaltet und mit einer Leistung von 50 kW betrieben. Während der direkten Beflammung steigt die Temperatur vor der Trasse im unteren Bereich (0,7 m Höhe) auf bis zu 500 °C (Anlage 4). Die Ölbrenner zum Vorheizen des Brandraums werden in der 39. Minute abgeschaltet.

In der 16. Minute setzt eine Verfärbung der Beschichtung auf den Kabeln ein. Im oberen Bereich der Trasse wechselt die Farbe des ursprünglich weißen Anstrichs über grau in schwarz. Vor Beginn der ersten Phase direkter Beflammung erkennt man Risse im Beschichtungssystem auf den Leistungskabeln. Während und nach der ersten direkten Beflammung (21. - 25. Minute) ist auch im unteren Trassenabschnitt, wo die Flamme des Kiesbettbrenners direkt auf die Kabel geschlagen ist, kein Ausgasen oder Mitbrennen der Kabel zu beobachten. Vor Beginn der zweiten Phase direkter Beflammung (ab der 30. Minute) sind alle Kabel oberhalb von ca. 70 cm von einer aufgeblähten, schwarzen Schutzschicht umgeben. Die Risse in der Beschichtung auf den Leistungskabeln sind scheinbar durch das Blähen / Aufquellen geschlossen worden. Nach ca. 2 ½-minütiger direkter Beflammung (32 ½ Minuten) ist im unteren Bereich ein Mitbrennen der Leistungskabel eindeutig erkennbar. In der 34. Minute sind auch Flammen vor den Leistungskabeln am oberen Trassenende sichtbar, der Gasbrenner wird daher vorzeitig (34. Minute) abgeschaltet. Nach Abschalten des Gasbrenners verlöschen die Flammen auf den Leistungskabeln am oberen Trassenende sofort. Im unteren Abschnitt brennen die Kabel selbständig weiter ohne daß eine nennenswerte Ausbreitung nach oben zu beobachten wäre. In der 38. Minuten zünden dann die Steuer- und Leistungskabel schlagartig über die gesamte Trasse nach oben durch. Das Vorheizen der Brandkammer wird in der 39. Minute durch Abschalten der Ölbrenner beendet. Ab der 45. Minute werden die Rauchgase direkt aus der Kammer abgesaugt, daher die schnelle Abkühlung der Trassenumgebung (Anlage 2, 3 und 4).

Bei Betrachtung der Erwärmung muß zwischen Steuer- und Leistungskabeln unterschieden werden. Während sich die Steuerkabel verhältnismäßig langsam erwärmen, wird bei den Leistungskabeln in der oberen Trassenhälfte bereits nach weniger als 20 Minuten die bei allen vorherigen Untersuchungen als kritisch angesehene Temperaturschwelle von 275 °C überschritten (Anlage 5). Auf den dazu parallel verlegten Steuerkabeln wird diese Temperatur frühestens nach 30 Minuten, also 10 Minuten später erreicht (Anlage 6). Allerdings erwärmen sich die Leistungskabel ab der 20. Minute nur noch geringfügig. Diese Unterschiede in der Erwärmung sind für die Meßstellen 3,1 m (Anlage 11) und 3,9 m über der Trassenunterkante (Anlage

12) deutlich erkennbar. Es wird vermutet, daß dieses Erwärmungsverhalten der Leistungskabel mit der nur auf dieser Kabelsorte beobachteten Rißbildung in der Beschichtung zusammenhängt.

Anhand der Temperaturentwicklung auf den Kabeln oder im Bündel der Steuerkabel kann der Beginn einer endothermen Reaktion (bei Ablation) oder ein Aufschäumen / Blähen (bei Dämmschichtbildner) nicht nachgewiesen werden.

Nach dem Versuch zeigt die Beschichtung an den unteren Kabelabschnitten (0 - 0,7 m Höhe) mit Ausnahme der Verfärbung des Anstrichs keine nennenswerte Veränderung. Der Anstrich selbst besitzt auch nach dem Brandversuch in diesem Trassenabschnitt eine gute Haftung auf dem scheinbar intakten, darunterliegenden Kabelmantel. Ansonsten ist die Beschichtung spröde geworden und hat sich durch das Blähen / Aufquellen von der Kabelisolierung gelöst bzw. läßt sich leicht von den Kabelresten entfernen. Der Anstrich bildet eine Hülle, die nur an wenigen Stellen an Resten der Kabelisolierung haftet. Die metallischen Leiter der Kabel liegen nach Entfernen der Hülle der Beschichtung großflächig völlig frei. Die Kabelisolierungen sind nach der Untersuchung im Bereich oberhalb ca. 1,0 m Höhe fast vollständig verbrannt.

4.2 REDUZIERUNG DER ENERGIEFREISETZUNGSRATE

Die Wirkung der Beschichtung „FLAMRO ABA“ wird anhand der verzögerten Entzündung und der verringerten Energiefreisetzungsrates beurteilt. Die unbeschichteten oder mit „FLAMRO ABA“ versehenen Kabelstücke werden im Cone-Calorimeter einer Strahlungsflußdichte von 50 kW/m² ausgesetzt.

Die Beschichtungsmenge (trocken) liegt bei den drei untersuchten Kabelstücken in der Größenordnung von 1 - 1,5 kg/m² (siehe Tabelle 2). Entsprechend liegt die Trockenschichtdicke im Bereich von 1 - 1,5 mm.

Tabelle 2: Probandaten

Versuch-Nr.	Probenmasse [g]	Masse der Beschichtung [g]	Durchmesser [mm]	Dicke der Beschichtung [mm]
008	57,6	-	18,1	-
006	61,8	4,2	20,0	0,95
007	65,7	8,1	20,6	1,25
009	63,5	5,9	21,3	1,60

Tabelle 3: Energiefreisetzungsrate

Versuch Nr.	Zündzeitpunkt [s]	maximale Energiefreisetzungsrate		durchschnittliche Energiefreisetzungsrate	
		absolut [kW/m ²]	Verhältnis [%]	absolut [kW/m ²]	Verhältnis [%]
008	20	464	-	308	-
006	(20) 83	361	78	209	68
007	(16) 146	351	76	209	68
009	(14) 86	331	71	237	77

Das unbeschichtete Einzelkabel läßt sich unter den genannten Randbedingungen nach 20 s entzünden, während mit „FLAMRO ABA“ versehene Kabel nach 80 - 140 s selbständig brennen. Allerdings lassen sich Pyrolyseprodukte der Beschichtung zwischen der 14. und 20. s entzünden und brennen über einen Zeitraum von 30 - 45 s mit einer maximalen relativen Energiefreisetzungsrate von 150 kW/m² (siehe Anlage 13). Dieses Verhalten wird durch die schlagartig Erwärmung der Beschichtung und das damit verbundene schnelle und konzentrierte Austreten eines Bestandteils der Beschichtung erklärt. Die maximalen und die durchschnittlichen relativen Energiefreisetzungsraten sind in Tabelle 3 zusammengefaßt. Anhand der Meßwerte ergibt sich der Reduktionsfaktor für die maximale bzw. durchschnittliche relative Energiefreisetzungsrate zu 0,75 bzw. 0,71. Eine grafische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der relativen Energiefreisetzungsrate ist für mit „FLAMRO ABA“ beschichtete und unbeschichtete Kabel beigelegt (Anlage 13).

5 QUALITÄT DER BRANDSCHUTZBESCHICHTUNG „FLAMRO ABA“

Die Beschichtung „FLAMRO ABA“ bildet nach dem Trocknen eine zähe Schicht auf den Kabeln und den Schellen. Sie ist unempfindlich gegen Schläge mit stumpfen oder scharfen Gegenständen. Die Beschichtung ist so zäh und flexibel, daß sie auch bei Verformung der beschichteten Bauteile und Kabel keine Risse bekommt. Die Schutzschicht besitzt eine sehr gute Haftung auf PVC und den verzinkten Metallteilen der Schellen. Im Brandfall verformen sich Kabel und Bauteile bei Erwärmung. „FLAMRO ABA“ ist ausreichend flexibel, um dieser Verformung zu folgen. Abtropfen oder Abfallen des Anstrichs wurde nicht beobachtet. Im Laufe der Erwärmung bilden sich - allerdings nur auf den Leistungskabeln - Risse in der Beschichtung, die erst zu einem späten Zeitpunkt im Zuge des Blähens / Aufquellens geschlossen werden. Die Ursache dieser Rißbildung und deren Einfluß auf die Schutzwirkung ist noch nicht abzuschätzen. Bei vertikaler Anordnung der Kabeltrassen ist keine eingeschränkte Wirkung der Beschichtung im Bereich der Kabelbefestigungen zu erkennen, so daß auf flankierende Maßnahmen in diesem Bereich grundsätzlich verzichtet werden kann.

Im Brandfall stellt „FLAMRO ABA“ in mehrfacher Hinsicht einen Schutz der Kabel dar. Zum einen wirkt der Anstrich bei Erhöhung der Umgebungstemperatur im geringen Maße als thermische Isolierschicht, die aber die Wärmeabfuhr im Betrieb nicht beeinträchtigen darf. Zum anderen wird nach Auslösen von endothermen Reaktionen in beschränktem Umfang Energie verbraucht, so daß die Erwärmung der Kabel zeitweise verlangsamt wird. Zum dritten soll bei der energieverzehrenden Reaktion Wasserdampf freigesetzt werden, der inertisierend wirkt und die

Flammenentwicklung behindert. Außerdem wird durch das Blähen / Aufquellen des Anstrich die Wärmeleitung von der heißen Umgebung zum Kabelmantel behindert, so daß auch nach Abschluß der endothermen Reaktionen der Anstrich eine Isolierschicht darstellt, die die Erwärmung der Kabelisolierung verlangsamt und das Austreten von Zersetzungsprodukten behindert.

Bei einem Brand, der die Umgebung einer Kabeltrasse auf 400 - 450 °C erwärmt, verhindert die untersuchte Beschichtung bis zur 30. Minute die Beteiligung der Kabel am Brandgeschehen auch bei direkter Beflammung. Danach kann eine Entzündung austretender Pyrolysegase und die Brandausbreitung über eine Kabeltrasse nicht mehr ausgeschlossen werden. Die Brandausbreitung verläuft nach der Entzündung mit hoher Geschwindigkeit über die gesamte Kabeltrasse. Energiefreisetzung und Rauchentwicklung sind im Vergleich zu ungeschützten Kabeln verringert. Abfallen oder Abtropfen von PVC-Isolierung konnte nicht beobachtet werden.

Aus Untersuchungen zum Brandverhalten von ungeschützten PVC-Kabeln ergab sich eine Zersetzungstemperatur für das Isoliermaterial von ca. 200 °C [8]. Bei der Qualifizierung von andersartigen Brandschutzanstrichen wurde ein kritisches Verhalten von beschichteten PVC-Kabeln nach Überschreiten einer Kabelmanteltemperatur von 275 °C beobachtet. Dies steht in guter Übereinstimmung mit dem hier beobachteten Verhalten der Steuerkabel. Die schnelle Erwärmung der Leistungskabel und die Entstehung der Risse in der Beschichtung auf den Leistungskabeln kann nicht in Zusammenhang gebracht werden. Ribildung wurde bisher nur bei dämmschichtbildenden Anstrichen beobachtet, hatte aber keinen negativen Einfluß, da die Risse durch das starke Aufschäumen verhältnismäßig früh geschlossen wurden. Die frühe Entzündung und das kurze Brennen innerhalb der ersten Versuchsminute, das bei der Untersuchung im Cone-Calorimeter beobachtet wurde, wird wahrscheinlich von Bestandteilen der Beschichtung verursacht, die bei der von Anfang an hohen Wärmestromdichte von 50 kW/m² sehr schnell und konzentriert austreten und deshalb ein zündfähiges Gemisch bilden. Bei einer etwas langsameren Erwärmung, wie sie bei realen Bränden oder z. B. bei dem Raumbrandversuch erfolgt, ist eine vorzeitige Entzündung dieser Beschichtungsbestandteile nicht zu erwarten.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Aufgrund des durchgeführten Naturbrandversuches an einer vertikalen Kabeltrasse mit PVC-Kabeln, die mit der Brandschutzbeschichtung „FLAMRO ABA“ versehen war, kann im direkten Vergleich die Schutzwirkung der Beschichtung qualitativ und quantitativ erfaßt werden. Das genannte Beschichtungssystem der Firma FLAMRO Brandschutzsysteme GmbH verringert das Risiko der Brandentstehung an PVC-Kabeln deutlich und schließt eine Brandausbreitung über diese Kabelanlagen lange Zeit aus. Bei Brandentstehung an anderer Stelle verhindert oder verzögert „FLAMRO ABA“ die Entzündung der Kabel und die Brandausbreitung. Die Freisetzung von Energie und korrosiven Rauchgasen wird verringert. Flankierende Maßnahmen im Bereich der Befestigungsschellen vertikaler Trassen sind nicht notwendig, im Gegensatz zur Anwendung von qualifizierten Dämmschichtbildnern. Die Untersuchung im Cone-Calorimeter ergibt eine Reduzierung der maximalen und durchschnittlichen Energiefreisetzungsrates auf weniger als 80 % gegenüber unbeschichteten Kabeln. Diese Risikoverminderung im Vergleich zu unbeschichteten Kabeln fällt geringer aus als bei dämmschichtbildenden Beschichtungen [3].

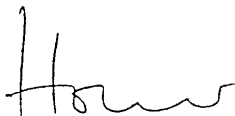
Unter Berücksichtigung der Einbausituation und der Menge und Verteilung anderer Brandlasten ist bei einer mit „FLAMRO ABA“ beschichteten Kabelanlage eine reduzierte rechnerische PVC-Brandlast [9] anzusetzen. Unter speziellen Bedingungen, wie sie besonders in Kraftwerken herrschen, könnte bei Beschichtung der Kabel mit „FLAMRO ABA“ auf den Einbau automatischer Löschanlagen verzichtet werden. In Kernkraftwerken kann die Beschichtung mit

„FLAMRO ABA“ in sehr begrenztem Umfang auch als flankierende Maßnahme zur Unterstützung einer räumlichen Redundanztrennung dienen. Für diese Anwendung ist aber allgemein die Eignung einer Kabelbeschichtung - Dämmschichtbildner oder Ablationsbeschichtung - sehr genau zu prüfen, da nur unter bestimmten Randbedingungen durch eine Kabelbeschichtung die Einhaltung dieses Schutzziels gewährleistet werden kann.

Die Vorgehensweise bei den experimentellen Untersuchungen stellt im Vergleich zu vorliegenden Prüfverfahren nach DIN 4102 Teil 9 [10], Teil 11 [11], Teil 12 [12] und DIN VDE 0472 Teil 804 [13] bzw. IEC 332-3 [14] einen neuen Ansatz für eine umfassende Qualifizierung der Schutzwirkung von Kabelbeschichtungen auf PVC-Kabeln dar. Die Untersuchungsmethodik ist eventuell mit der Klassifizierung des Brandverhaltens von Baustoffen vergleichbar, darf aber auf keinen Fall in den Zusammenhang mit Bauteilklassifizierungen gebracht werden.

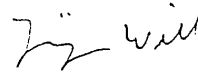
Für die Verwendung in der Praxis sollte die bauaufsichtliche Zulassung von „FLAMRO ABA“ als Brandschutzbeschichtung erwirkt werden.

Braunschweig, 26. April 1999



Univ.-Prof. Dr.-Ing. D. Hosser

Sachbearbeiter:



Dipl.-Phys. J. Will

LITERATUR

- [1] Will, J. und Rohling, A.: Qualifizierung von Kabelschutzsystemen. Kurzreferate, Weiterbildungsseminar Brandschutz bei Sonderbauten, 5. und 6. Oktober 1994, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), TU Braunschweig, Heft 112, Braunschweig 1994
- [2] Will, J. und Hosser, D.: Brandversuche an Kabeltrassen. Kurzreferate, Braunschweiger Brandschutz-Tage '95, 6. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis, 4. und 5. Oktober 1995, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), TU Braunschweig, Heft 115, Braunschweig 1995
- [3] Will, J. und Hosser, D.: Dämmschichtbildner für Kabelbeschichtungen. VGB-Fachtagung „Brandschutz im Kraftwerk 1996“, 25. Januar 1996, VGB Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V., Essen 1996
- [4] ISO 5660 Fire Tests - Reaction to Fire Part 1: Rate of Heat Release from Building Products (Cone Calorimeter Method), 1993
- [5] Hosser D. and Will, J.: Cable fire experiments including qualification of intumescent coatings. In: Fire Safety in Nuclear Plants and Insulations: Proceedings of 5th Post Conference Seminar No. 6; held in Conjunction with 14th international conference on structural mechanics in reactor technology, August 25-29, 1997, Lyon, France. Villeurbanne: Electricité de France / Direction de l'Équipement, 1997. S. 297-313
- [6] Hosser, D. und Will, J.: Brandverhalten von Kabelanlagen unter Berücksichtigung von Dämmschichtbildnern. vfdB 3/97, 1997
- [7] Will, J. und Hosser, D.: Leistungsnachweise und Qualitätssicherungsmaßnahmen für Dämmschichtbildner als Kabelschutzsystem. Kurzreferate, Braunschweiger Brandschutz-Tage '97, 7. Fachseminar Brandschutz - Forschung und Praxis, 1. und 2. Oktober 1997, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), TU Braunschweig, Heft 133, Braunschweig 1997
- [8] Hosser, D., Siegfried, W. und Will, J.: Untersuchungen zum Brandverhalten von Kabelanlagen und zur Schutzfunktion von dämmschichtbildenden Anstrichen auf Kabeln. Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU-1998-525, ISSN 0724-3316, 1998
- [9] DIN 18230 - 1: Baulicher Brandschutz im Industriebau Teil 1 - Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer, Entwurf März 1996
- [10] DIN 4102 Teil 9: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Kabelabschottungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, Ausgabe April 1998 (im Druck)
- [11] DIN 4102 Teil 11: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Rohrummantelungen, Rohrabschottungen, Installationsschächte und -kanäle sowie Abschlüsse ihrer Revisionsöffnungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, Ausgabe Dezember 1985
- [12] DIN 4102 Teil 12: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Funktionserhalt von elektrischen Kabelanlagen; Anforderungen und Prüfungen, Ausgabe Januar 1991
- [13] DIN VDE 0472 Teil 804: Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen, Brennverhalten, November 1989
- [14] IEC Report 332-3: Tests on electric cables under fire conditions, Tests on bunched wires or cables, 1992

Qualifizierung der Brandschutzbeschichtung
„FLAMRO ABA“
bezüglich der Verminderung des Brandrisikos
von Kabeltrassen mit PVC-Kabeln

ZIEL DER QUALIFIZIERUNG

Die Brandschutzbeschichtung „FLAMRO ABA“ der FLAMRO Brandschutz-Systeme GmbH, Leinungen, soll vom Deutschen Institut für Bautechnik allgemein bauaufsichtlich zugelassen werden. Bisher fehlt allerdings ein Leistungsnachweis für die Anwendung auf Kabeltrassen mit PVC-Kabeln. Im Rahmen umfangreicher Grundsatzuntersuchungen im Labor- und Großmaßstab am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der Technischen Universität Braunschweig unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. D. Hosser / Dipl.-Phys. J. Will wurde seit 1994 die Schutzwirkung verschiedener dämmschichtbildender Baustoffe als Beschichtung auf PVC-Kabeln untersucht und ein Verfahren zur Qualifizierung dieser und anderer Brandschutzanstriche entwickelt. Das einer Ablationsbeschichtung ähnliche Produkt „FLAMRO ABA“ wurde 1999 unter entsprechenden Randbedingungen untersucht, um im direkten Vergleich mit unbeschichteten Kabeln die Schutzwirkung qualitativ und quantitativ nachzuweisen.

VERSUCHSKONZEPT

Kabel können sich lokal durch Kurzschluß oder Überhitzung selbst entzünden oder werden durch einen Brand anderer Ursache vorgewärmt und durch direkte Flammeneinwirkung entzündet. Um alle Risiken der Brandentstehung abzudecken wurde im Rahmen der Untersuchung die Wärmeentwicklung einer „primären Brandlast“ durch Vorheizen des Brandraumes analog zur sog. Schwelbrandkurve bis zu einem bestimmten Temperaturniveau simuliert. Dann folgte zusätzlich eine phasenweise unterbrochene direkte Beflammung mit einem separaten Brenner, der mit einer Leistung von 50 kW etwa der Intensität eines Papierkorbbrandes in unmittelbarer Umgebung der Trasse entspricht. Diese Vorgehensweise stellt eine Erweiterung der in DIN 4102 Teil 1 oder DIN VDE 0472 Teil 804 (vergleichbar mit IEC 332-3) festgelegten Leistungsnachweise dar, bei denen beschichtete Kabel einer lokal begrenzt wirksamen direkten Beflammung - ohne Vorheizen der gesamten Kabelumgebung - ausgesetzt werden können. Zusätzlich zu den Raumbrandversuchen wurden beschichtete Kabelstücke im Cone-Calorimeter in Anlehnung an ISO 5660 mit einer Beaufschlagung von 50 kW/m² geprüft. Diese Wärmestromdichte entspricht der Wirkung eines Vollbrandes. Das Versuchskonzept ist im Untersuchungsbericht Nr. U 99 059 vom 26. April 1999 bzw. im Fachbeitrag der vfdb-Zeitschrift, Heft 2, Mai 1999 ausführlich dargestellt.

Die im Raumbrandversuch eingesetzte vertikale Kabeltrasse wurde mit verschiedenen, häufig in der Praxis eingesetzten Steuer- und Leistungskabeln mit PVC-Mänteln belegt. Die Kabel wurden mit „FLAMRO ABA“ beschichtet. Die Trockenschichtdicke des Anstrichs auf den Kabeln betrug mindestens 1 mm. Im Labormaßstab wurden Steuerkabel mit entsprechender Beschichtung untersucht.

UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Eine ungeschützte horizontale Kabeltrasse wird nach 20-minütiger Vorwärmung von 200 °C bei direkter Beflammung nach 3 - 4 Minuten entzündet, das Feuer breitet sich dann mit 3 - 5 cm/min aus. Bei Vorwärmung auf 350 °C erfolgt die Entzündung innerhalb einer Minute, die Flamme breitet sich mit 110 - 120 cm/min aus. Wird ein unbeschichtetes Kabelstück einer Wärmestromdichte von 50 kW/m² ausgesetzt, so erfolgt die Entzündung nach ca. 20 Sekunden und das Kabel brennt mit einer relativen Energiefreisetzungsrate von maximal 6,5 kW/m bzw. durchschnittlich 4,3 kW/m.

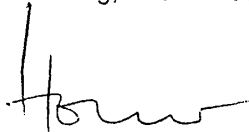
Eine mit „FLAMRO ABA“ beschichtete Kabeltrasse läßt sich bei Umgebungstemperaturen von 400 - 450 °C frühestens nach 30 Minuten entzünden. Nach der Entzündung kann die Brandausbreitung sowohl bei horizontaler als auch bei vertikaler Anordnung der Kabeltrasse nicht mehr ausgeschlossen werden, setzte aber beim Raumbrandversuch mit einer vertikalen Trassen erst mit 8-minütiger Verzögerung ein. Durch die Untersuchung im Labormaßstab konnte eine verzögerte Brandteilnahme des Kabels beobachtet werden. Durch die Beschichtung wurde eine Reduzierung der relativen Energiefreisetzungsrate auf weniger als 80 % nachgewiesen. Detaillierte Beschreibungen der Versuchsergebnisse können dem Untersuchungsbericht Nr. U 99 059 vom 26. April 1999 entnommen werden.

ZUSAMMENFASSUNG

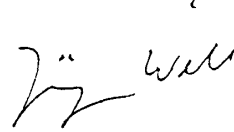
Wird eine Trasse mit PVC-Kabeln ordnungsgemäß mit der Brandschutzbeschichtung „FLAMRO ABA“ versehen, läßt sich auch bei einem Stützfeuer mit Umgebungstemperatur bis zu 450 °C und direkter Beflammung in der Intensität eines Papierkorbbrandes mindestens 30 Minuten lang die Entzündung der Kabel und die Brandausbreitung über eine Kabelverlegung sicher verhindern. Nach der Entzündung wird die Energiefreisetzungsrate der Kabelisolierung im Vergleich zu unbeschichteten Kabeln auf weniger als 80 % reduziert.

Im weiteren sei auf die Entwicklung einer eigenständigen Prüfrichtlinie für Brandschutzbeschichtungen auf Kabeln und die Verwendung von Beschichtungen auf elektrische Kabeln anstelle von Bauteilen mit klassifiziertem Feuerwiderstand in Flucht- und Rettungswegen hingewiesen. Der aktuelle Stand der Diskussion ist im Fachbeitrag der vfdB-Zeitschrift, Heft 2, Mai 1999 aus Sicht des iBMB wiedergegeben. Unter Berücksichtigung der hier zusammengefaßten Untersuchungsergebnisse sind die im Fachbeitrag getroffenen Aussagen auf die Brandschutzbeschichtung „FLAMRO ABA“ übertragbar.

Braunschweig, im Juni 1999



Univ.-Prof. Dr.-Ing. D. Hosser



Dipl.-Phys. J. Will