

Schaden **prisma**

Zeitschrift
für Schadenverhütung
und -forschung
der öffentlichen
Sachversicherer

Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden

Sonderheft Dezember 1973

Feuersozietät Berlin



schaden
Zeitschrift
für Schadenverhütung
und -forschung
der öffentlichen
Sachversicherer
prisma

Postanschrift: 1 Berlin 30, Am Karlsbad 4-5, Ruf 26 10 11

Für die Herausgabe der Gesamtauflage zeichnet:

Feuersozietät Berlin, 1 Berlin 30, Am Karlsbad 4-5

Beauftragter: Direktor Werner Schmidt, 1 Berlin 47, Wesenberger Ring 27 a

Schriftleiter:

Dipl.-Ing. Günter Paschke,

Privatanschrift: 1 Berlin 37, Zinsweiler Weg 2, Ruf 813 16 66

Redaktion:

Versicherungskaufmann Helmut Friedrich,

Branddirektor Dipl.-Ing. Heinz-Peter Günther,

Baudirektor Hans Jaenke,

Technischer Direktor Dipl.-Ing. Klaus Kempe,

Leitender Baudirektor Dipl.-Ing. Hans-Ulrich Noack,

Dipl.-Ing. Karl-Wilhelm Werner,

Prof. Dr.-Ing. Joachim Zehr

Die Verantwortung für die namentlich gezeichneten Aufsätze tragen die Verfasser

Verlag, Druck, Anzeigen, Auslieferung:

Walter Grütmacher, 1 Berlin 61, Gneisenaustraße 41, Ruf 693 10 31

Bezugspreis: 1 Heft 2,50 DM, 4 Hefte jährlich 9,- DM einschließlich 5,5% Mehrwertsteuer
zuzüglich Porto

Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden

von Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Im Februar des Jahres 1970 wurden von der Fachgruppe 2.4 - Bautenschutz - der BAM auf Anregung des Institutes für Bautechnik in Berlin mit Unterstützung der Berliner Kraft- und Licht-Aktiengesellschaft (BEWAG) orientierende Versuche zum Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden ausgeführt. Diese Versuche wurden auf 16 mm-Farbfilm festgehalten.

Durch Bereitstellung von Mitteln der Stiftung für Forschungen im Wohnungs- und Siedlungswesen, Berlin, konnten die Versuche, die im Prüffeld der BEWAG, Sellerstraße, ausgeführt wurden, durch das Studium von Literatur und Statistiken ergänzt und zu der vorliegenden Arbeit erweitert werden.

	Seite
1. Einleitung	1
2. Allgemeine Betrachtungen zum Brandrisiko von elektrischen Leitungen und Installationen	2
2.1. Wärmewirkung stromdurchflossener Leiter und Verbindungen mit Übergangswiderstand	2
2.2. Auftreten von Lichtbögen in Leitungen und Installationen	2
2.3. Ausbreitung von Bränden sowie Übertragung von Bränden von Brandabschnitt zu Brandabschnitt durch elektrische Leitungen	2
3. Statistische Aussagen zum Brandrisiko von elektrischen Leitungen und Installationen	3
3.1. Allgemeine Tendenzen von Elektrobränden	3
3.2. Aussagen aufgrund englischer Untersuchungen und Statistiken zum Brandrisiko von elektrischen Betriebsmitteln, speziell auch von festen Leitungen und Installationen	3
3.2.1. Grundsätzliche Feststellungen	3
3.2.2. Spezielle Aussagen	4
3.3. Aussagen aufgrund deutscher Untersuchungen und Statistiken zum Brandrisiko von elektrischen Betriebsmitteln, speziell auch von festen Leitungen und Installationen	6
3.3.1. Grundsätzliche Bemerkungen zu englischen und deutschen Statistiken	6
3.3.2. Aussagen aufgrund der BEWAG-/Feuerwehrstatistik	6
3.3.3. Aussagen aufgrund der Brandschadenstatistik von Schäden über DM 50 000, -- des Verbandes der Sachversicherer, Köln	6
4. Experimentelle Aussagen und Aussagemöglichkeiten zum Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden	8
4.1. Grundlegende Bemerkungen	8
4.2. Modellversuche zur Überlastung von Leitungen in Verbindung mit Dämmschichten	8
4.3. Modellversuche zur Simulation von kurzzeitig auftretenden hohen Temperaturen in Wärmedämmschichten	9
4.3.1. Reheating test (Glüh-Würfeltest) nach den Vorschriften der American Coast Guard und abgeänderte Verfahren	9
4.3.2. Versuche an Wärmedämmschichten mit thermischer Zündung	10
4.4. Modellversuche zur Simulation von länger auftretenden hohen Temperaturen in Wärmedämmschichten	11
4.4.1. Versuche mit einem Lichtbogen zwischen Kohleelektroden und einer Heizwendel	11
4.4.2. Versuche an Wandmodellen mit einer Abzweigdose unter Simulierung des Lichtbogens durch einen glühenden Graphitstab in der Abzweigdose	12
4.4.2.1. Allgemeines, Beschreibung der Wandmodelle	12
4.4.2.2. Schaltung	13
4.4.2.3. Versuchsausführung und Versuchsergebnisse	13

4.5.	Modellversuche zur Übertragung von Bränden von Brandabschnitt zu Brandabschnitt durch elektrische Leitungen	16
4.5.1.	Einleitende Bemerkungen	16
4.5.2.	Modellversuche und Versuche im Maßstab 1 : 1 von Hinrichs (Entstehungsbrand)	16
4.5.3.	Versuche mit Kabeldurchführungen durch Wände im vollentwickelten Brand	17
4.5.4.	Versuche mit Kabeldurchführungen durch Decken in einem Kleinversuchsstand nach DIN 18 082, Blatt 2 (vollentwickelter Brand)	18
4.5.5.	Versuchsmethode zur Feststellung der Flammenausbreitung über senkrecht angeordnete Kabel	18
5.	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	19
6.	Nachwort der Redaktion	19
7.	Schrifttum	20

4.5.	Modellversuche zur Übertragung von Bränden von Brandabschnitt zu Brandabschnitt durch elektrische Leitungen	16
4.5.1.	Einleitende Bemerkungen	16
4.5.2.	Modellversuche und Versuche im Maßstab 1 : 1 von Hinrichs (Entstehungsbrand)	16
4.5.3.	Versuche mit Kabeldurchführungen durch Wände im vollentwickelten Brand	17
4.5.4.	Versuche mit Kabeldurchführungen durch Decken in einem Kleinversuchsstand nach DIN 18 082, Blatt 2 (vollentwickelter Brand)	18
4.5.5.	Versuchsmethode zur Feststellung der Flammenausbreitung über senkrecht angeordnete Kabel	18
5.	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	19
6.	Nachwort der Redaktion	19
7.	Schrifttum	20

Erklärtes Ziel der Brandschutzforschung und des baulichen Brandschutzes ist es, die Gesetzmäßigkeiten von Bränden von der Brandursache, den Zündquellen, der Flammenausbreitung über die Baustoffe bis zur Durchdringung der Bauteile, d. h. dem Feuerdurchtritt, zu weiteren Brandabschnitten und der Brandübertragung von Gebäude zu Gebäude theoretisch und praktisch zu erfassen. Theoretische Erkenntnisse, experimentelle und anhand von Schadenfällen gewonnene Erfahrungen haben ihren Niederschlag vor allem in den bauaufsichtlichen Vorschriften und Normen des vorbeugenden baulichen Brandschutzes gefunden.

Eine sich seit dem 2. Weltkrieg schnell ändernde Bautechnologie und der Einsatz neuer Baustoffe und Bauarten machen es im Angesicht stetig stei-

gender volkswirtschaftlicher Verluste infolge Feuer notwendig, auch das Zusammenwirken von vorbeugenden baulichen Brandschutzmaßnahmen mit den Brandursachen zu erkennen und entsprechend in Vorschriften zu berücksichtigen. Eines dieser Probleme ist die ständig zunehmende Elektrifizierung aller Bauten, die mit einer ebenso anwachsenden Zahl von Feuern infolge des Gebrauchs der Elektrizität verbunden ist. In engem Zusammenhang damit steht die Frage, inwieweit die Durchführungen elektrischer Leitungen durch Bauteile, ihre Führung in ihnen und die auf und in den Bauteilen befestigten Installationen vom Zähler über die Verteilerdosen, Schalter bis zur Steckdose die Entstehung und Ausbreitung von Bränden, auch in andere Brandabschnitte, begünstigen und ermöglichen.

2. Allgemeine Betrachtungen zum Brandrisiko vom elektrischen Leitungen und Installationen

Außer der Weiterleitung von Bränden durch elektrische Leitungen (Brandweiterleitung z. B. ins nächsthöhere Stockwerk) können Brände durch elektrische Einrichtungen auf zwei Arten entstehen, nämlich durch die einem elektrischen Leiter eigene Wärmeentwicklung bei Stromdurchgang sowie durch das Auftreten von elektrischen Lichtbögen (vgl. hierzu insbesondere [1]).

2.1. Wärmewirkung stromdurchflossener Leiter und Verbindungen mit Übergangswiderstand

Die in der Zeit t von einem Strom der Stromstärke I in einem Leiter mit dem Widerstand R geleistete Arbeit

$$W = I^2 \cdot R \cdot t$$

wird voll in Wärmeenergie umgesetzt (Joulesche Stromwärme).

Nach den Vorschriften der Deutschen Elektrotechnischen Kommission VDE 0100 § 41 N [2] werden zur Einhaltung der zulässigen Dauerbelastung isolierter Leitungen der Nennquerschnitt dimensioniert und die Überstrom-Schutzorgane (Sicherungen) den Nennquerschnitten isolierter Leitungen zugeordnet. Je nach Art der verwendeten Leitung und Höhe der Umgebungstemperatur wird der Ausnutzungsgrad des Leiterquerschnitts abgeändert. Allgemein sind die Leiterquerschnitte nach den vorliegenden Betriebsverhältnissen zu bemessen. Überstrom-Schutzorgane gegen Überlast und gegen Kurzschluß schützen Leitungen und Kabel gegen zu hohe Erwärmung sowohl im Falle der betriebsmäßigen (langdauernden) Überlastung als auch im Falle eines vollkommenen Kurzschlusses, da Überlast- und Kurzschlußschutz in ihren Strom-Zeit-Abschaltkennlinien den entsprechenden Leitungscharakteristiken angepaßt sind und damit ein Überschreiten der zulässigen thermischen Belastung von Leitungen und Kabeln verhindern. In jedem Stromkreis können jedoch auch unzulässige Erwärmungen an Verbindungsstellen mit zu hohem Übergangswiderstand bei der dort auftretenden erhöhten Stromdichte entstehen, wie bei gelockerten Klemmverbindungen, Wackelkontakten in Schaltern, Zählern, Abzweigdosen, Steckdosen und elektrischen Verbrauchsmitteln.

Hierbei können ohne weiteres Temperaturen von 800°C entstehen, was in der Regel zu einer vollständigen Zerstörung des umgebenden Isolationsmaterials, zum Auftreten von Lichtbögen und zum Schmelzen des Leitermaterials führt (Schmelzpunkte Kupfer 1083°C, Aluminium 658°C).

2.2. Auftreten von Lichtbögen in Leitungen und Installationen

Das Auftreten von Lichtbögen steht meist in engem Zusammenhang mit Isolationsfehlern in elektrischen Betriebsmitteln. Isolationsfehler können entstehen durch natürliche und chemische Alterungsprozesse, durch mechanische Beschädigungen bei Errichtung und Gebrauch des Betriebsmittels, durch zu hohe Erwärmung der Isolation wegen zu hoher Leiter- oder Umgebungstemperatur.

Durch Verunreinigung der Oberfläche des Isolators durch leitende Beläge können sich Kriechspuren und damit Kriechströme bilden. Derartige Vorgänge und Störungen der Isolation können nach Tagen oder Wochen zu Durchschlägen durch die Isolation - besonders bei Überspannungen, ausgelöst durch Schaltvorgänge oder atmosphärische Überspannungen - führen und damit zu Leiter-, Körper-, Kurz-, Erdschlüssen.

Bei zusätzlichen mechanischen Beanspruchungen der Isolation oder Vorhandensein von Feuchtigkeit ist damit eine Ausweitung auf einen Lichtbogen möglich, der Temperaturen bis 4000°C erreichen kann. Dieser Lichtbogen kann bis zum Ansprechen und Abschalten des Überstrom-Schutzorgans fließen oder länger, wenn dessen Abschaltstromstärke gar nicht erreicht wird. Die z. B. mit einem Lichtbogenkurzschluß verbundene hohe Temperatur zerstört sofort organische Isolationen und setzt brennbare Teile des Betriebsmittels in Brand.

2.3. Ausbreitung von Bränden sowie Übertragung von Bränden von Brandabschnitt zu Brandabschnitt durch elektrische Leitungen

Ein, wenn auch nicht aktives, so doch passives Brandrisiko der Brandweiterleitung ist waagrecht und senkrecht verlaufenden Leitungen in Hohlräumen sowie Wärmedämmschichten sowie Wand- und Deckendurchbrüchen für Kabel- und Leitungstrassen zuzuordnen.

Besonders in senkrechter Anordnung und senkrechten Kabelschächten ist außer einer Brandausbreitung durch Fortleitung des Feuers an den Isolierstoffen auch ein Hochsteigen brennbarer Gase mitzuberücksichtigen. Die Brandausbreitung hängt hier vor allem von der Art und Ausbildung der Decken- und Wanddurchführung sowie dem Isoliermaterial der verwendeten Leitungen ab.

3.1. Allgemeine Tendenzen von Elektrobränden

Zur Zeit werden in der BRD etwas über 200 TWh* pro Jahr verbraucht. Bei einer jährlichen Zunahme des Stromverbrauches von 7% verdoppelt sich der Stromverbrauch etwa in 10 Jahren. Damit ist für das Jahr 1980 ein Stromverbrauch von über 400 TWh zu erwarten. Damit steigt die Anzahl der elektrischen Betriebsmittel, vor allem die Anzahl der elektrischen Verbrauchsmittel. Nach der Statistik des Verbandes der Sachversicherer, Köln, betrug der Anteil der Brandschäden durch elektrische Betriebsmittel in den Jahren 1960 bis 1969 im Mittel 19,66% entsprechend 614717 Schadenfällen.

Davon entfielen auf festverlegte Leitungen (hinter der Hauptsicherung) 26 406 Fälle entsprechend 0,84% der Gesamtschadenanzahl. Daher wird in [3] auf die besondere Bedeutung der Revision elektrischer Anlagen für den Sachversicherer hingewiesen. (Nähere Einzelheiten und weiteres Zahlenmaterial s. Abschnitt 3.3.3).

Nach den United Kingdom Fire and Loss Statistics 1968 [4] wird für das Jahr 1975 ein Viertel aller Feuer in Gebäuden auf elektrische Ursachen zurückzuführen sein. Das entspricht etwa 23 000 Alarmmeldungen.

3.2. Aussagen aufgrund englischer Untersuchungen und Statistiken zum Brandrisiko von elektrischen Betriebsmitteln, speziell auch von festen Leitungen und Installationen

Grundlage der folgenden Aussagen sind die United Kingdom Fire and Loss Statistics von 1968 [4] und zwei grundlegende Arbeiten [6, 7, 8] der Fire Research Station bei London speziell zum Feuerisiko von elektrischen Betriebsmitteln.

3.2.1. Grundsätzliche Feststellungen

Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Feuer elektrischen Ursprungs ausbricht, ist erwartungsgemäß abhängig von der übertragenen elektrischen Leistung und, da es sich um ein statistisches Problem handelt, von der Zeitdauer, während der die Übertragung stattfindet. Das legt die Vermutung nahe, daß die Zahl der Feuer elektrischen Ursprungs proportional zur übertragenen und damit verbrauchten Energie ist. Tatsächlich existiert ein linearer Zusammenhang zwischen der jährlichen Anzahl von Elektrobränden und der

übertragenen Elektroenergie. Ein den Zeitraum von 1947 bis 1959 umfassendes Diagramm (Bild 1) macht dies deutlich.

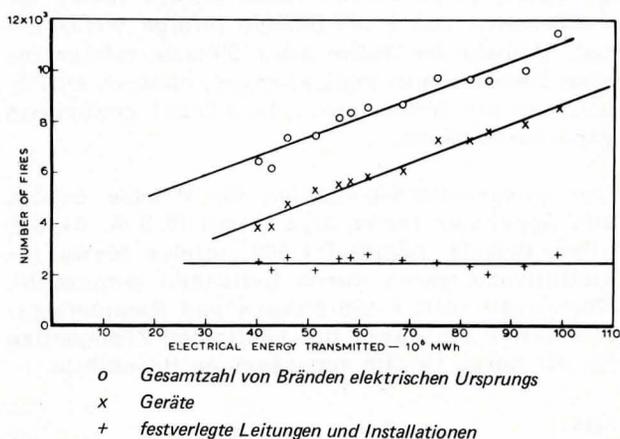


Bild 1

Jährliche Rate von Bränden elektrischen Ursprungs in Abhängigkeit von der übertragenen elektrischen Energie in TWh nach [6, 9]

Diese Brände können in zwei Arten eingeteilt werden, die, die den elektrischen Geräten sowie ihrem Gebrauch und die, die den elektrischen Leitungen zugeschrieben werden können. Hierbei werden in dieser statistischen Betrachtung unter Bränden infolge elektrischer Leitungen alle die Brände verstanden, die ihren Ursprung in fest installierten elektrischen Stromkreisen haben, also auch Steckdosen, Schalter, Sicherungskästen und Zähler umfassen, ausgenommen sind alle Steckverbindungen und flexiblen Verbindungen zu Geräten.

Aus Bild 1 geht hervor, daß der jährliche Anteil der Leitungen an den Bränden nahezu konstant ist, jedenfalls nur geringfügig zunimmt, während der jährliche Anteil der elektrischen Geräte an den Schadenfeuern den überwiegenden Anteil an der Zahl der Brände elektrischen Ursprungs einnimmt.

Ferner ist zu entnehmen, daß bei einer etwa gleichbleibenden Basisrate von ca. 3000 Schadenfeuern pro Jahr (infolge von Leitungen und Installationen) die Zuwachsrate für die Schadenfeuer infolge falschen Gebrauchs oder Fehlern in Geräten 100 Schadenfeuer je TWh beträgt, also für das Jahr 1975 bei einem geschätzten Energieverbrauch von 200 TWh mit 23 000 Schadenfeuern elektrischen Ursprungs gerechnet werden muß. Nach [8] beträgt die jährliche Schadenfeurrate unter Zugrundelegung der Verhältnisse der Jahre 1957/1958 etwa 100 Brandfälle auf eine Million Installationen (Leitungen). Im Jahre 1975 wird für

*) 1 TWh = 10^9 kWh

festen Installationen mit 5000 Schadenfällen in Großbritannien gerechnet.

3.2.2. Spezielle Aussagen

Um genauere Aussagen über Schadenfeuer elektrischen Ursprungs machen zu können, wurden von Fry und Lustig [8] mit Hilfe zahlreicher Organisationen vom 1. September 1957 bis zum 31. August 1958 sämtliche Schadenfeuer elektrischen Ursprungs in Großbritannien genau untersucht. Hierbei wurden 9 385 Brände in Gebäuden und im Freien (ausgenommen in Fahrzeugen) ausgewertet, davon 2 896 Brände infolge fester Installationen und 6 489 Brände infolge von Geräten. Beinahe die Hälfte aller Brände infolge fester Installationen und Leitungen, nämlich 44,1 %, entfielen auf Wohnhäuser, 14,3 % auf gewerblich genutzte Gebäude.

Die entsprechenden Zahlen für Brände infolge von Apparaten lauten 57,1 % und 19,5 %. 64,5 % aller Brände, nämlich 1 867, infolge fester Installationen waren durch Leitungen verursacht. Kochgeräte mit 1 406 Feuern und Raumheizgeräte mit 1 345 waren die häufigsten Zündquellen für die durch Geräte verursachten Brandfälle.

Tafel 1

Brände infolge elektrischer Leitungen und Installationen in Gebäuden in Großbritannien von 1947 bis 1960 nach [8]

Jahr	Zahl der Brände		
	zu Geräten führend	nicht zu Geräten führend	insgesamt
1947		2 556	2 556
1948		2 316	2 316
1949		2 640	2 640
1950	288	1 900	2 188
1951	200	2 456	2 656
1952	192	2 504	2 696
1953	255	2 525	2 780
1954	254	2 344	2 598
1955	304	2 196	2 500
1956	248	2 128	2 376
1957	214	1 810	2 024
1958	252	2 152	2 404
1959	192	2 704	2 896
1960	416	2 732	3 148

Tafel 1 gibt eine Übersicht über die von Leitungen verursachten Brände in Gebäuden in Großbritannien von 1947 bis 1960.

Aufschlüsse über den Fehlerort und die Ursache bei elektrischen Leitungen und Installationen gibt Tafel 2, über die Art der Anlagenteile Tafel 3.

Aus Tafel 1 ist zu entnehmen, daß das Auftreten von Bränden infolge Schäden an elektrischen Installationen und Leitungen nicht direkt von der Höhe der übertragenen elektrischen Energie be-

Tafel 2

Fehlerort und -ursache bei Bränden infolge elektrischer Leitungen und Installationen in Gebäuden in Großbritannien 1957 bis 1958 nach [8]

Fehler in der Hauptleitung	Teil der fehlerhaften Installation			
	Kabel und Leitung (nicht zu Geräten führend)		Andere Teile der Installation	
	Anzahl	%	Anzahl	%
Stromkreis überlastet	113	6,1	120	11,7
Defekter Kontakt	73	3,9	227	22,1
Mechanisch beschädigte Isolation	494	26,5	62	6,0
Nicht mechanisch beschädigte Isolation	855	45,8	304	29,5
Andere und unbekannte	332	17,8	316	30,7
Insgesamt	1 867	100,0	1 029	100,0

Bemerkung: 1 867 Schadenfälle - entsprechend 64,5 % - und 1 029 Schadenfälle - entsprechend 35,5 % - ergeben wiederum alle in festen Installationen und Leitungen 1957 bis 1958 vorgekommenen 2 896 Schadenfälle.

Tafel 3

Feste Installationen - fehlerhafte Anlagenteile nach [8]

Art des Anlagenteils	Anzahl	%
Leitungen und Kabel (nicht zu Geräten führend)		
Insgesamt	1 867	64,5
Sicherungstafeln	297	
Hauptschalter (circuit breaker)	58	
Insgesamt	355	12,3
Kabelkästen, Verteilerdosen, Verteilertafeln		
Insgesamt	274	9,5
Schalter, Fassungen		
Insgesamt	189	6,5
Transformatoren, Gleichrichter		
Insgesamt	62	2,1
Zähler		
Insgesamt	29	1,0
Verschiedenes		
Insgesamt	84	2,9
Unbekannt		
Insgesamt	36	1,2
Insgesamt	2 896	100,0

einflußt wird. Die Tatsache, daß die Anzahl neuer Installationen weit weniger schnell mit der Zeit zunimmt als die übertragene elektrische Energie, läßt darauf schließen, daß Brände infolge fehlerhafter Installationen und Leitungen keinesfalls durch dauernde Überlast der Leitungen verursacht werden. Diese Tatsache wird auch durch Versuche von Gosland [10] und Lawson und Fry [6] bestätigt, wonach die Stromstärke eines Leiters, die notwendig ist, um einen Entstehungsbrand einzuleiten (eine Energiedichte von 5 W/cm^2 ist ausreichend, um die meisten brennbaren Materialien schlagartig in Brand zu setzen), groß gegenüber der Nennstromstärke (wenigstens das Fünffache) sein muß. Demzufolge kann Überlastung der Leitungen als relativ geringe Schadensursache angesehen werden.

Demnach wäre ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Bränden und der Ausdehnung und dem Alter der Isolation zu erwarten, der sich aber außer durch Experimente [10] nicht bestätigen läßt. Der Einfluß des Alters der Leitung ist statistisch sehr schwer zu klären, einmal, weil der Beobachtungszeitraum der vorliegenden englischen Studie auf ein Jahr beschränkt war, andererseits, weil verschiedene neue Installationsmethoden (z. B. Fertighäuser), verbesserte Leiterisolationen mit kleinerer Anfälligkeit gegen nichtmechanische Schäden nach dem Krieg eingeführt wurden. Nach [10] enthielten die Gummimischungen, die für die Isolation von Leitern benutzt wurden, vor den 30er Jahren keine Antioxidantien (Alterungsschutzmittel gegen die schädigende Wirkung des Luftsauerstoffes auf Gummi). Auch die Einführung neuer Werkstoffe (Zunahme von Kunststoffprodukten im Bauwesen) ist hier von Wichtigkeit. Dadurch wird ein Abwägen der einzelnen Faktoren und Einflußgrößen gegeneinander außerordentlich erschwert.

Aus den Tafeln 2 und 3 geht jedoch eindeutig hervor, daß der größte Teil aller Brände (1867 Fälle entsprechend 64,5 %) durch Leitungen und Installationen durch ein Versagen von festverlegten Leitungen und Kabeln hervorgerufen wurde, was bei der damaligen (1958) Zahl von 16,5 Millionen Verbrauchern die bereits oben erwähnte Zahl von 100 Bränden auf eine Million Installationen ergibt. Wenn man annimmt, daß jeder Verbraucher mindestens einen Zähler und eine Sicherungstafel hatte, so ergibt sich bei 297 Schadenfällen mit Sicherungstafeln und 29 Schadenfällen mit Zählern ein Risiko von 18 pro Million für Sicherungstafeln und 2 pro Million für Zähler.

Hervorzuheben ist, daß nichtmechanische Zerstörung der Isolation (festverlegte Leitungen 45,8 %, andere Teile der Isolation 29,5 %) infolge von z. B. Feuchtigkeit, Hitze, Alter und chemischen Prozessen die häufigste Ursache von Bränden infolge fester Installationen und Leitungen war, nämlich in $885 + 304 = 1159$ Fällen, was 40 % aller Fehlerursachen in festen Installationen und Leitungen darstellt. Interessant sind ebenfalls die Zahlen über die Häufigkeit defekter Kontakte und mechanisch beschädigter Isolationen in Tafel 2.

Nur 6,1 % aller Brände infolge festverlegter Leitungen waren durch Überlastung hervorgerufen, eine gute Bestätigung des oben Gesagten.

Die vorliegende Zusammenfassung englischer Arbeiten soll abgeschlossen werden mit einem Auszug aus den United Kingdom Fire and Loss Statistics 1968 [4], die die bisher aufgezeigten Tendenzen bestätigen.

Tafel 4

Zündquellen von Bränden in Gebäuden in Großbritannien

Zündquelle	1960		1968	
	Anzahl	%	Anzahl	%
Insgesamt	62 460	100,0	104 180	100,0
Kinder und Feuer	7 072	11,3	20 736	19,9
Rauchwaren	7 132	11,5	8 644	8,3
Stadtgasgeräte und -installationen	3 672	5,9	6 128	5,9
Heizölgeräte und -installationen	5 240	8,4	5 768	5,5
Feststoffgeräte und -installationen	6 408	10,2	4 232	4,1
Schornsteine, Ofenrohre	4 700	7,5	4 072	3,9
Brandstiftung	676	1,1	2 996	2,9
Elektrische Geräte, Leitungen, Installationen	12 140	19,5	22 624	21,8
Elektrische Kochgeräte, Herde	2 768		7 456	
Elektrische Leitungen	3 220		5 232	
- außer zu Geräten	2 732		3 352	
- auf Fahrzeugen			204	
- zu elektrischen Heizdecken			348	
- zu elektrischer Beleuchtung			152	
- zu Tauchsiedern			108	
- zu anderen Geräten			428	
- Verschiedenes, nicht spezifiziert			640	
Elektrische Raumheizgeräte	1 408		2 372	
Heizkissen u. -decken	780		1 572	
Radio- u. Fernsehapparate	872		1 448	
Eisschränke	648		292	
Beleuchtung	776		1 304	
Anderes	1 668		2 948	

In Tafel 4 sind die wichtigsten Zündquellen (auch nichtelektrische) von Bränden, die in Gebäuden in Großbritannien auftraten, für 1960 und 1968 gegenübergestellt.

3.3. Aussagen aufgrund deutscher Untersuchungen und Statistiken zum Brandrisiko von elektrischen Betriebsmitteln, speziell auch von festen Leitungen und Installationen

3.3.1. Grundsätzliche Bemerkungen zu englischen und deutschen Statistiken

Im Vereinigten Königreich (Vereinigtes Königreich = Großbritannien und Nordirland, Großbritannien = England, Schottland, Wales) ist seit dem letzten Weltkrieg ein Berufsfeuerwehrsyst^em eingeführt [11]. Alle Brandberichte der Feuerwehren werden zentral von der Fire Research Station in Boreham Wood bei London, einer großen, weltbekannten Brandforschungsanstalt, ausgewertet. Aufgrund einer andersgearteten Feuerwehrstruktur in der BRD (Berufsfeuerwehren in den Städten, Freiwillige Feuerwehr auf dem Lande) und ihrer föderalistischen Struktur ist es in der Bundesrepublik Deutschland im Gegensatz zu ihren Nachbarländern bisher nicht gelungen, eine zusammenfassende Brandstatistik auf nationaler Ebene zu erstellen und zu betreiben [12].

Außer der in Köln vom Verband der Sachversicherer für das gesamte Bundesgebiet geführten Statistik [13] (Brandschäden über DM 50 000, --) existieren lediglich regionale Statistiken, enthalten z. B. in den Jahresberichten der großen Berufsfeuerwehren, wie z. B. Berlin [14] und Hamburg, oder geführt von den Energieversorgungsunternehmen, z. B. der Berliner Kraft- und Licht-Aktiengesellschaft (BEWAG) [5]. Als beispielhaft für eine regionale Zusammenarbeit kann die Zusammenarbeit bei der Brandursachenermittlung zwischen der BEWAG und der Berliner Feuerwehr bezeichnet werden. Eine kurzfristige, nach dem Auftreten von Bränden mit vermuteter elektrischer Brandursache telefonische Benachrichtigung ermöglicht der BEWAG meist noch eine fachliche Feststellung und Überprüfung der Brandursachen und Brandumstände. Die BEWAG-Ermittlungsergebnisse werden, falls sie von denen der Feuerwehr abweichen, der Feuerwehr zur Berichtigung ihrer Statistiken mitgeteilt.

3.3.2. Aussagen aufgrund der BEWAG-/Feuerwehrstatistik

Nach [5] und [14] ist bei Bränden elektrischer Ursache eine steigende Tendenz vorhanden. Während die Berliner Feuerwehr im Jahre 1965 noch 460 Brände mit elektrischer Zündenergie in ihrem Jahresbericht ausweist, sind es im Jahre 1970 bereits 803, wobei für 1970 Elektroherde mit 288 und Kurzschlüsse mit 292 Brandfällen an der Spitze stehen.

Eine Aufstellung der von der Berliner Feuerwehr der BEWAG telefonisch übermittelten Brandfälle, deren "Entstehungsursache vermutlich mit elektrischer Energie im Anschluß an das Versorgungsnetz der BEWAG zusammenhängt", zeigt ebenfalls seit dem BEWAG-Geschäftsjahr (jeweils vom 1. 7. bis 30. 6.) 1964/1965 (84 Brandfälle) bis 1968/1969 (155 Brandfälle) steigende Tendenz.

Interessant ist, daß bei einer Aufteilung dieser Brandfälle nach Zündquelle und Zündstelle festverlegte Leitungen und Verteilungen mit Hausanschlußleitungen und Erdkabeln zusammen mit Lampen, Leuchten, Leuchtröhren und Zubehör einen relativ hohen, etwa betragsgleichen Anteil einnehmen, der im Lauf der Jahre etwa konstant geblieben ist, vgl. Tafel 5.

Tafel 5

Zündquelle und Zündstelle bei Bränden im Zusammenhang mit elektrischer Energie nach der BEWAG-Brandursachenstatistik [5]

BEWAG Geschäftsjahr	Anzahl der Meldungen	Festverlegte Leitungen, Verteilungen	Hausanschlußleitungen, Erdkabel	Lampen, Leuchten, Leuchtröhren und Zubehör
61/62	102	28	7	22
62/63	103	20	4	18
63/64	126	19	6	29
64/65	84	20	4	19
65/66	124	15	6	27
66/67	145	34	7	18
67/68	125	11	3	29
68/69	155	23	6	25

Die BEWAG ist weiterhin den Fragen nachgegangen, wodurch der elektrische Zündvorgang ausgelöst wurde (z. B. Kurzschluß, Erdschluß, loser Kontakt) bzw. welche "persönlichen" Ursachen für den Zündvorgang verantwortlich zu machen seien (z. B. fehlerhafte Konstruktion, falsche Wartung, Materialalterung, Überlastung, falsche Benutzung).

Neben einer ständig steigenden Anzahl von unermittelten Fällen bei beiden Fragestellungen nehmen hier die Gruppen "loser Kontakt", "Kurz- und Erdschlüsse" einerseits bzw. die Gruppen "Überlastung, falsche Benutzung, Mißbrauch, Fremdeingriff, mechanische Beschädigung" und "falsche Wartung, - Pflege, - Aufsicht" andererseits Spitzenstellungen ein.

Die im einzelnen in [5] dargestellten Kurvenverläufe lassen jedoch keine weitergehenden Schlüsse zu, da die Aufschlüsselungen für die vorliegende Fragestellung noch zu grob sind.

3.3.3. Aussagen aufgrund der Brandschadenstatistik von Schäden über DM 50 000, -- des Verbandes der Sachversicherer, Köln

Besonders volkswirtschaftlich interessante Zahlen wurden der Bundesanstalt für Materialprüfung vom Verband der Sachversicherer e. V., Köln, zugänglich gemacht. Aus Gründen der Authentizität wird das Schreiben in vollem Wortlaut mit Anlage gebracht. Interessant sind die folgenden Punkte.

4. Experimentelle Aussagen und Aussagemöglichkeiten zum Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden

4.1. Grundlegende Bemerkungen

Während in Abschnitt 2 grundlegende Betrachtungen des Brandrisikos von elektrischen Leitungen und Installationen angestellt wurden, konnten die so aufgezeigten Gefahren - mit Ausnahme der passiven Brandweiterleitung - in Abschnitt 3, d. h. im wesentlichen durch Beobachtungen in der Praxis, statistisch belegt und klassifiziert werden. Hierbei mußten jedoch zwangsweise zwei ganz wesentliche Einflußgrößen auf das Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen ausgeklammert werden, nämlich das Brandverhalten der an die Zündquelle angelagerten und benachbarten Baumaterialien und sonstigen Einrichtungsgegenstände und Textilien sowie die Art und Weise der Installation der Leitungen und Installationen. (Auf-, Im-, Unterputzinstallation, Verlegung von Leitungen in Hohlräumen usw.) Die Abschätzung der Risikobeeinflussung durch diese beiden Einflußgrößen ist jedoch nicht mehr statistisch, sondern nur noch rein experimentell möglich. Auch dann muß die durch eine Vielzahl von möglichen Baukonstruktionen und Baustoffen bedingte große Zahl von Kombinationsmöglichkeiten auf eine kleine Anzahl von stark vereinfachenden Modellversuchen reduziert werden.

Im folgenden wird eine Reihe derartiger Modellversuche beschrieben, die vergleichende Betrachtungen zum Brandrisiko von elektrischen Leitungen und Installationen in Wänden ermöglichen.

4.2. Modellversuche zur Überlastung von Leitungen in Verbindung mit Dämmschichten

Von [6, 7] wurden Untersuchungen ausgeführt, um die Höhe des Überstroms festzustellen, der Brände zu verursachen imstande ist. Hierbei wurden ein- und mehradrige Leitungen untersucht. Bei mehradrigen Leitungen, bei denen jeder Leiter den Teststrom führte, wurden die einzelnen Leiter auf verschiedenen Potentialen gehalten, um einen Kurzschluß zwischen den Leitern beobachten zu können. Im Fall der einadrigen Leitung wurde eine die Leitung umgebende dünne Kupferfolie auf ein anderes Potential gelegt. Die Leitung wurde zwischen zwei 12,7 mm dicke Holzfaserverweichplatten gelegt und die Zeitdauer bis zum Kurzschluß und bis zur Entflammung der Proben gemessen.

Den Schaltplan zeigt Bild 2.

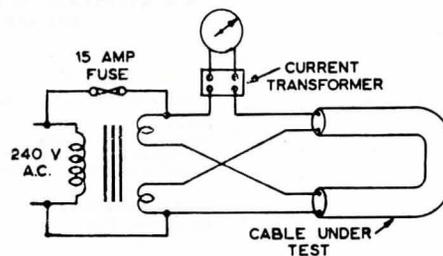


Bild 2

Schaltbild der Versuchseinrichtung zur Überlastung von Leitungen und Kabeln nach [7]

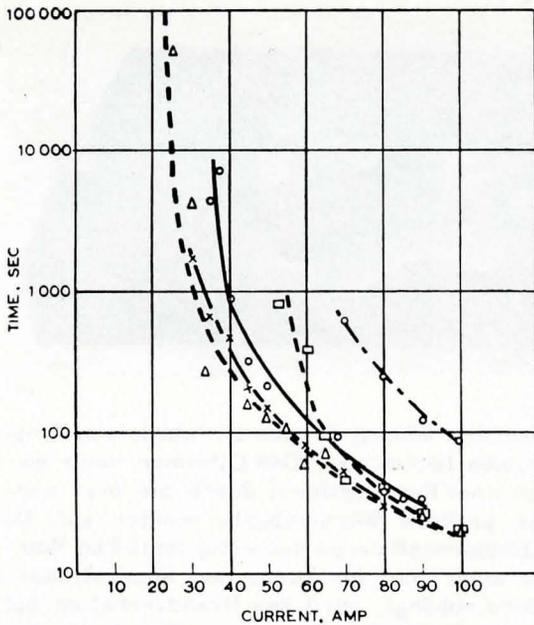
Die Schaltung besteht im wesentlichen aus einem Transformator mit mehreren Sekundärwicklungen, einem Stromwandler mit Amperemeter und der zu testenden Leitung. Die verschiedenartigen Potentiale der Einzelleiter der Testleitung werden durch mit einem Überstromschutzorgan gegen Kurzschluß abgesicherte Verbindungen mit den Potentialen der Primärspannung erzeugt.

Es wurden Versuche an folgenden Leitungstypen ausgeführt:

- (a) doppelt gummiisolierte 250 V-Leitung (einadrig, 1,12 mm ϕ , $F = 1,0 \text{ mm}^2$, Nennstrom 6,1 A)
- (b) doppelt PVC-ummantelte 660 V-Leitung (dreiadrig, 0,74 mm ϕ , $F = 0,43 \text{ mm}^2$, Nennstrom 7,8 A)
- (c) einfach mit vulkanisiertem Gummi isolierte Leitung (dreiadrig, 0,74 mm ϕ , $F = 0,43 \text{ mm}^2$, Nennstrom 7,8 A)
- (d) Proben alter mit vulkanisiertem Gummi ummantelter Leitung, installiert 1916 und entnommen 1952 (dreiadrig, 0,74 mm ϕ , $F = 0,43 \text{ mm}^2$, Nennstrom 7,8 A)

sowie

- (e) Polyäthylen-isolierte, PVC-ummantelte Leitung (dreiadrig, 0,74 mm ϕ , $F = 0,43 \text{ mm}^2$, Nennstrom 7,8 A)
- (f) Gummiisolierte Bleimantel-Leitung (einadrig, 1,12 mm ϕ , $F = 1,0 \text{ mm}^2$, Nennstrom 6,1 A)



Graph showing the time for either a fire or a short-circuit to develop on a cable when carrying various currents.

- x-x-x-x Tough-rubber-sheathed cable. Short-circuit.
- o-o-o-o Tough-rubber-sheathed cable. Fire.
- △-△-△-△ P.V.C.-insulated cable. Short-circuit.
- P.V.C.-insulated cable. Fire.
- Vulcanized-rubber-insulated cable. Short-circuit and fire.

Bild 3

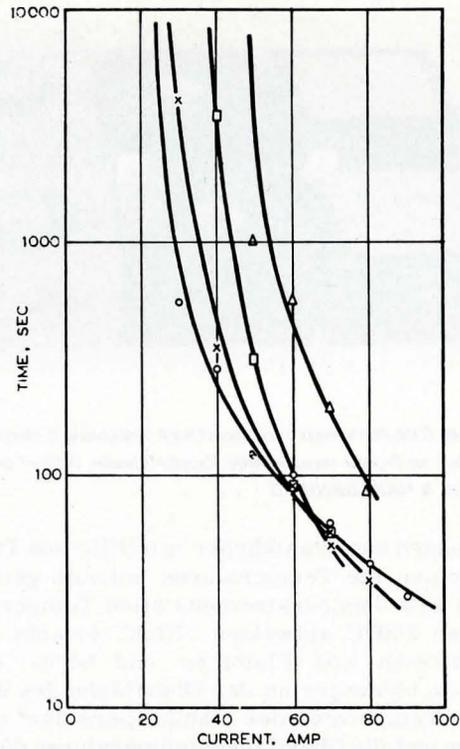
Zeitdauer bis zum Entstehungsbrand oder zum Kurzschluß in Abhängigkeit von der Stromstärke nach [6]

Die Ergebnisse zeigen die Bilder 3 und 4. Sie besagen, daß eine ganz wesentliche Überlastung der Leitung - mindestens das Fünffache des Nennstroms - vorhanden sein muß, um Ursache für einen Entstehungsbrand zu sein. Dies gilt sogar für die 36 Jahre alte gummiisolierte Leitung, die zwar eine härtere und sprödere Isolation aufwies, im übrigen aber keine wesentlichen Unterschiede zu neuen Leitungen gleichen Typs zeigte.

Ein 15 minütiges Kochen der Leitungen in Wasser senkte kurzfristig den Isolationswiderstand der Leitungen. Nach Verdampfung der Feuchtigkeit infolge der Wärmetwicklung während der Versuche stellte sich jedoch wieder der alte Isolationswiderstand ein.

Stromstärken, die einen Brand verursachen, können jedoch nur bei Überbrückung oder falscher Bemessung der lokalen Sicherung auftreten, so ist es zu erklären, daß nach Tafel 2 in Abschnitt 3.2.2 lediglich in 6,1 % der Fälle von Kabeln und Leitungen, die nicht zu Geräten führen, Brände infolge Überlastung auftreten.

Hierbei sei noch darauf hingewiesen, daß Holzfaserverweichte Weichplatten leichtentflammbar [15] sind, die gemachten Aussagen im Hinblick auf die Verwendung somit anderer Dämmaterialien mit anderen Brennbarkeitsklassen als der Klasse B 3 (leichtentflammbar), z.B. normalentflammbar (Klasse B 2), schwerentflammbar (Klasse B 1), nichtbrennbar (Klasse A 1, A 2) auf der sicheren Seite liegen.



Graph showing the time for either a fire or a short-circuit to develop on a cable when carrying various currents

- Polythene-insulated p.v.c.-sheathed 3/·029 in cable. Short-circuit.
- △-△-△-△ Polythene-insulated p.v.c.-sheathed 3/·029 in cable. Fire.
- x-x-x-x Rubber-insulated lead-covered 1/·044 in cable. Short-circuit.
- Rubber-insulated lead-covered 1/·044 in cable. Fire.

Bild 4

Zeitdauer bis zum Entstehungsbrand oder zum Kurzschluß in Abhängigkeit von der Stromstärke nach [7]

4.3. Modellversuche zur Simulation von kurzzeitig auftretenden hohen Temperaturen in Wärmedämmschichten

4.3.1. Reheating test (Glüh-Würfelttest) nach den Vorschriften der American Coast Guard und abgeänderte Verfahren

In den USA ist zur Beurteilung des Verhaltens nichtbrennbarer Baustoffe bei elektrisch verursachten hohen Temperaturen bei örtlicher Erwärmung, z.B. durch Lichtbogen oder Stromwärme, Hineinfallen von Schweißperlen u. ä., ein Verfahren der American Coast Guard eingeführt worden, der sogenannte Reheating test. Hierbei wird ein zylinderförmiger Stahlkörper mit 227 g Masse auf über 900°C erwärmt und bei 900°C mittig zwischen zwei etwa 30 cm x 30 cm x 15 cm große Proben aus dem zu prüfenden Wärmedämmstoff gebracht, so daß das glühende Stück Stahl im Schwerpunkt eines Würfels der Kantenlänge 30 cm angeordnet ist.

Im Falle harter oder halbharter Materialien müssen in den Probenhälften entsprechende Aussparungen zur Aufnahme des Stahlkörpers angebracht werden. Nach Einbringen des Stahlstücks werden die beiden Probenhälften durch das Gewicht einer parallel zur Trennfuge oben aufgetragenen Stahlplatte fest aufeinandergepreßt. Am Stahlkörper und in der Trennfläche werden in 3 verschiedenen

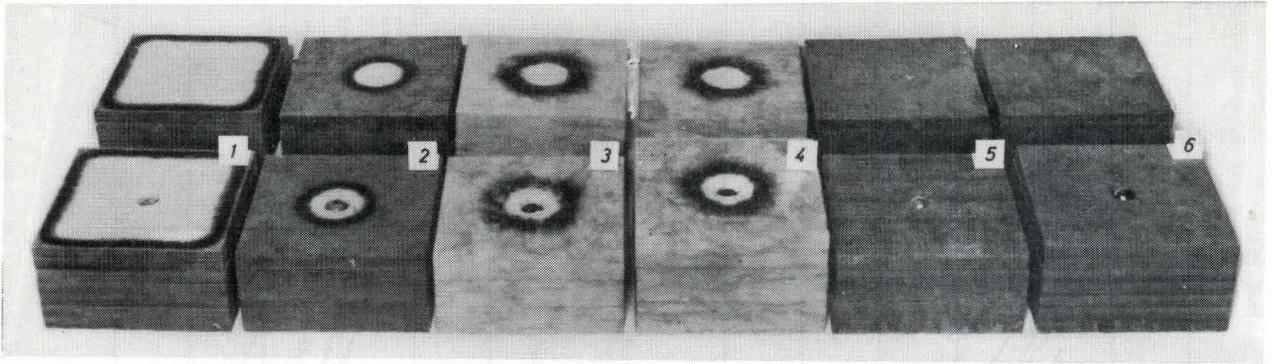


Bild 5
Ergebnisse des Glüh-Würfeltests (modifiziert nach Grünzweig & Hartmann, Ludwigshafen) an Proben verschiedener Baustoffklassen, Werks-Foto der GRÜNZWEIG & HARTMANN AG

Entfernungen vom Stahlkörper mit Hilfe von Thermoelementen die Temperaturen solange gemessen, bis alle Temperaturmeßstellen Temperaturen unter 200°C aufweisen. Nicht erlaubt sind das Auftreten von Flammen und Glüh- oder Glimmerscheinungen an der Oberfläche des Würfels, die Temperatur des Stahlkörpers darf nicht ansteigen und die Oberflächentemperaturen dürfen höchstens 10°C über der Stahlkörpertemperatur liegen.

Derartige Versuche an Dämmmaterialien wurden von der Firma Rockwool in Gladbeck und der Firma Grünzweig & Hartmann in Ludwigshafen, hier in etwas abweichender Form, ausgeführt. Mit freundlicher Genehmigung der Firma Grünzweig & Hartmann werden im folgenden eine kurze Versuchsbeschreibung und daraus abzuleitende Schlußfolgerungen für das spezielle Material sowie ein Werk-Foto der Firma zu den Versuchsergebnissen gebracht (s. Bild 5).

Glüh-Würfeltest

Für die Untersuchung wurden auf 750°C erhitzte Stahlkugeln von 25 mm Durchmesser in Würfeln aus Mineralfaser-Versuchsprodukten mit einer Kantenlänge von 250 x 250 x 250 mm³ gebracht. Es wurde über einen längeren Zeitraum gemessen und beobachtet, ob sich das Bindemittel dadurch entzündet und ausglimmt. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigt Bild 5. Der Gehalt an organischen und damit brennbaren Zusätzen nimmt von Probe 1 bis Probe 4 ab. Bei Probe 5 handelt es sich um die unbehandelte Probe 2, bei Probe 6 um die unbehandelte Probe 1.

Bei den Mineralfaser-Produkten, die nach den ergänzenden Bestimmungen zu DIN 4102 der Klasse nichtbrennbar A 1 angehören (Probe 4), sowie der Klasse nichtbrennbar A 2 (Probe 3), und der Klasse schwerentflammbar B 1 (Probe 2), ist kein Weiterglimmen aufgetreten. Das Bindemittel hat sich lediglich im Bereich der direkten Temperatureinwirkung durch die Stahlkugeln zersetzt.

Erst bei den Mineralfaser-Versuchsprodukten, die soviel organische Zusätze enthielten, daß sie nicht mehr als schwerentflammbar B 1 klassifi-

ziert werden können (Probe 1), wurde ein Weiterglimmen beobachtet. Das Glimmen hörte wenige cm vom Rand entfernt durch die dort vorhandene größere Wärmeabgabe wieder auf. Da der Glimmprozeß durch den erforderlichen Wärmestau auch von der Dicke des Mineralfaser-Produktes abhängt, wird das Brandverhalten bei geringeren Dicken günstiger sein. Bei den in der Praxis üblichen Dicken von 20 - 60 mm ist auch bei diesem Versuchsprodukt noch kein Ausglimmen des Bindemittels zu erwarten.

(Die Untersuchungen wurden im Brandschutztechnischen Laboratorium der Grünzweig + Hartmann AG durchgeführt; TV Wi/bu/16.12.71.)

Als Ergebnis der Untersuchungen kann festgehalten werden, daß bei Mineralfaser-Produkten mit organischen Bindemitteln nach dem geschilderten Verfahren erst dann eine Vergrößerung des Entstehungsbrandes durch Glimmen auftritt, wenn das geprüfte Material in die Baustoffklasse B 2 (normalentflammbar) nach [15] einzureihen ist. Dies stimmt mit Beobachtungen bei Versuchen nach dem Plattenschlotverfahren [16] überein, wo ein Weiterglimmen bis über die geforderte Restlänge hinaus bei den o.g. Baustoffen der Klassen B 1 (schwerentflammbar) und A 2 (nichtbrennbar) nicht eintritt.

4.3.2. Versuche an Wärmedämmschichten mit thermischer Zündung

Eine weitere Möglichkeit, das Brandverhalten von Wärmedämmschichten bei Entstehungsbränden infolge elektrischer Zündung zu studieren, ist das Anbringen von elektrischen Zündern oder Wärmekapseln innerhalb der Wärmedämmschicht. Da die Zündung jeweils elektrisch ausgelöst wird, bietet diese Methode im Hinblick auf die Kleinheit der Zünder bzw. Wärmekapseln den erheblichen Vorteil, auch Versuche an Originalbauteilen im Einbauzustand oder an Modellen im Maßstab 1 : 1 vornehmen zu können, wobei durch Anbringen von entsprechenden Bohrungen eine beliebige Anordnung der Zünder oder Zündkapseln innerhalb des Bauteils, beispielsweise in der Wärmedämmschicht möglich ist. Die Zündung erfolgt hierbei durch eine Zündmaschine.

Als relativ energiearmes Zündmittel zeigt Bild 6 einen handelsüblichen Brückenzünder (z. B. Dy-

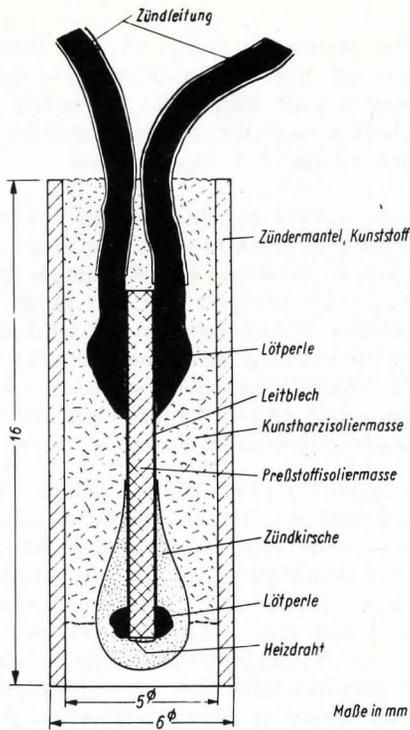


Bild 6
Handelsüblicher Brückenzündler nach [17]

namit-Nobel AG, Zündmittelfabrik, Troisdorf), der mit einer Zündkirsche versehen ist [17]. Er arbeitet verzögerungsfrei, eine Richtwirkung ist nicht vorhanden, seine Arbeitstemperatur von maximal 1200°C wird nach spätestens einer Sekunde erreicht. Die Zündung des Zündmittels (Zündkirsche) erfolgt durch Erwärmung eines dünnen Heizdrahtes bei Stromdurchgang.

Eine wesentlich energiereichere Wärmekapsel der Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin, zeigt Bild 7. Sie besteht im wesentlichen aus einer mit einem Brückenzündler versehenen Kupferhülse, die mit 0,8 g schwach verdichtetem Zündsatz und 2,2 g mit einem Druck von 400 kp/cm² eingepreßten Wärmesatz gefüllt ist. Als Zünd- und als Wärmesatz dient eine Mischung aus Bleioxid und Silicium.

Derartige Normkapseln sind gut abstufbar in der Energieentwicklung. Die Temperatur von ca. 800°C (Meßwert) am unteren Ende der Kapsel am zylinderförmigen Kupfermantel ist zudem sehr gut reproduzierbar. Der Energiestrom ist wesentlich besser als bei dem Brückenzündler definiert. Der den Zünder enthaltene Teil der Wärmekapsel wird weniger stark erwärmt. Die Handhabung derartiger Zündmittel unterliegt hierbei dem Sprengstoffgesetz [18] und seinen Durchführungsbestimmungen, insbesondere seiner 2. DVO [19].

Die beschriebenen Zündmittel wurden in der Bundesanstalt für Materialprüfung, die nach dem Sprengstoffgesetz Bundesoberbehörde für die Zulassung explosionsgefährlicher Stoffe ist, bereits in Versuchen zum Verhalten größerer Mengen von pyrotechnischen Sätzen mit Erfolg eingesetzt [17].

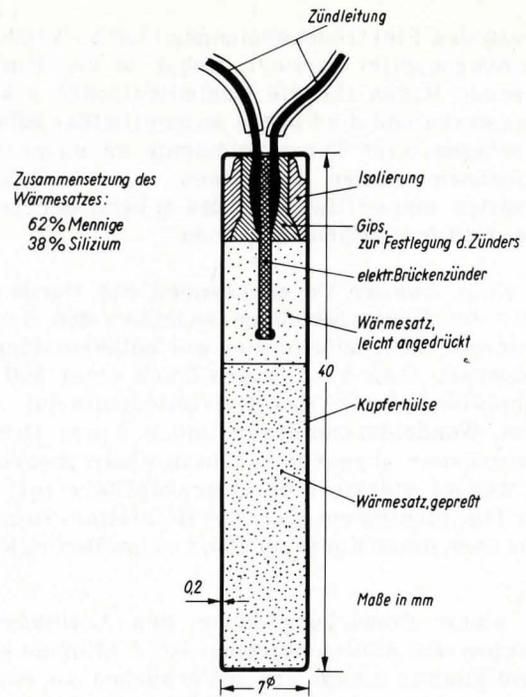


Bild 7
Wärmekapsel nach [17]

Das Staatliche Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen in Dortmund-Aplerbeck hat Versuche mit elektrischen Zündern an Mineralfaserprodukten verschiedener Baustoffklassen nach [15] ausgeführt. Das Ergebnis dieser Versuche stimmte vollinhaltlich mit den im Abschnitt 4.3.1 gebrachten Resultaten und Schlußfolgerungen (aufgrund des Glüh-Würfeltests) überein.

4.4. Modellversuche zur Simulation von länger auftretenden hohen Temperaturen in Wärmedämmschichten

4.4.1. Versuche mit einem Lichtbogen zwischen Kohleelektroden und einer Heizwendel

Im Jahre 1962 wurden in der Bundesanstalt für Materialprüfung Versuche an mineralisch gebundenen Holzwolle-Leichtbauplatten nach DIN 1101, die nach [20] schwerentflammbar sind, zur Untersuchung des Brandverhaltens unter der Einwirkung elektrischer Zündquellen ausgeführt. Für die Platten wurde aus dem (gesamten) Heizwert und dem Heizwert von lufttrockenem Fichtenholz ein Holzanteil von 20 Gew.-% bestimmt.

Da sich ein langandauernder Lichtbogen bei metallischen Leitern unter definierten Bedingungen mit den vorhandenen experimentellen Mitteln nicht erzielen ließ, wurden einmal Kohleelektroden von 5 mm Durchmesser und 20 cm Länge verwendet. Zwei Kohleelektroden wurden zwischen den mittleren Platten eines aus 4 aufeinanderliegenden, 3,2 bis 3,7 cm dicken Plattenabschnitten der Abmessungen 20 cm x 25 cm gebildeten Stapels so angeordnet, daß sie sich etwa in Plattenmitte gegenüberstanden. Intensität sowie Länge des Lichtbogens wurden durch Veränderung eines Vorwiderstandes bzw. durch Ver-

ändern des Elektrodenabstandes (220 V-Wechselspannungsquelle) variiert, wobei in den Platten passende Rillen für die Kohleelektroden ausgespart waren und die Platten so unmittelbar aufeinanderlagen. Vier Thermoelemente waren an verschiedenen Stellen angebracht, um das Fortschreiten eines Glimmbrandes anhand der Temperaturen feststellen zu können.

Bei einer zweiten Versuchsanordnung wurde anstelle der Kohleelektroden zwischen den beiden mittleren Plattenabschnitten ein halbkreisförmig gebogenes, etwa 8 cm langes Stück einer 500 W-Kochplattenspirale aus Heizleitermaterial mit 4 mm Wendeldurchmesser und 0,3 mm Drahtdurchmesser angeordnet. Unmittelbar innerhalb der Wendel steckte eine Quarzkapillare mit einem Thermoelement, um die Heizleiter-Temperatur über einen Vorwiderstand einstellen zu können.

Bei einer Einwirkungsdauer des Lichtbogens zwischen den Kohleelektroden von 5 Minuten kam es lediglich in einem von 6 Versuchen zu einem langsam auf das gesamte Plattenmaterial übergreifenden Glimmbrand. Bei einer Länge des Lichtbogens von 1,4 cm bis 5,5 cm betrug die Lichtbogenleistung bei Strömen von 7 bis 10 A etwa 350 bis 1250 W.

Bei den übrigen 5 Versuchen bildete sich lediglich im Bereich des Lichtbogens ein Brandherd, der sich auf das übrige Plattenmaterial nicht ausdehnte. Das einmalige positive Versuchsergebnis wurde auf eine andere Zusammensetzung des Plattenmaterials bzw. die starken örtlichen Inhomogenitäten des Plattenmaterials zurückgeführt.

Bei den Versuchen mit dem glühenden Heizleiter wurde festgestellt, daß bei einer Heizleitertemperatur von 900°C (1000°C) bei einer Einschalt-dauer von 3,5 Stunden (1 Stunde) nach 3 Stunden (1 Stunde) ein Glimmbrand für eine Zeitdauer von 4 Stunden (2,5 Stunden) mit einer Glimmtemperatur von 340°C bis 605°C (320°C bis 510°C) stattfand, der sich auf alle vier Plattenabschnitte ausweitete. Nach dem Ende der Glimmvorgänge wurde festgestellt, daß die Platten ihre Struktur zwar bewahrt hatten, aber so mürbe geworden waren, daß sie bei der geringsten mechanischen Beanspruchung zerfielen. Die beim Glimmbrand entwickelten Rauchgase brannten bei Fremdzündung mit kleiner flackernder Flamme, die aber nach kurzer Zeit erlosch.

4.4.2. Versuche an Wandmodellen mit einer Abzweigdose unter Simulation des Lichtbogens durch einen glühenden Graphitstab in der Abzweigdose

4.4.2.1. Allgemeines, Beschreibung der Wandmodelle

Die nachfolgend im einzelnen beschriebenen Versuche, deren Entstehungsgeschichte bereits im Vorwort erwähnt wurde, wurden von der Bundes-

anstalt für Materialprüfung mit der freundlichen Unterstützung der Berliner Kraft- und Licht-Aktiengesellschaft (BEWAG) in deren Elektrotechnischem Laboratorium im Abspannwerk Berlin, Sellerstraße 16 A, ausgeführt.

Zielsetzung dieser orientierenden Versuche zum Brandrisiko von elektrischen Leitungen und Installationen sollte sein, die Wirkungen gelockelter Schraubverbindungen und von länger auftretenden hohen Temperaturen (Lichtbogensimulation) in Verbindung mit einem häufig vorkommenden Installationselement - nämlich einer Abzweigdose - und einem Wandmodell mit innenliegender Wärmedämmschicht zu studieren.

Hierzu wurden 10 etwa 100 cm lange und 50 cm hohe Wandmodelle, deren vordere Gipskartonplatte eine handelsübliche Vollplast-Abzweigdose mit einem vierpoligen Klemmstein enthielt, aufgebaut. Auf die 12,5 mm dicke vordere Gipskartonplatte folgten meist zwei Platten der Wärmedämmschicht, in deren Mittelebene in Längsrichtung der Wandmodelle die zur Abzweigdose hin- und wegführenden Leitungen verliefen. Den rückseitigen Abschluß bildete wiederum eine gleichdicke Gipskartonplatte.

Die Wandmodelle enthielten folgende Wärmedämmschichten und Leitungen, die aus Tafel 6 hervorgehen.

Tafel 6
Wärmedämmschichten und Leitungsarten bei den Wandmodellen

Wandmodell Nr.	Wärmedämmschicht	Dicke	Brennbarkeitsklasse nach den Ergänzenden Bestimmungen zu DIN 4102	Verwendete Leitung	
				Typ	Leiterzahl und Querschnitt
1	Polyurethan-Hartschaum	2x19 mm	B 3	NYIF	2x2,5 mm ²
2		2x19 mm		NYM	4x2,5 mm ²
3	Polystyrol-Hartschaum	2x35 mm	B 3	NYIF	2x2,5 mm ²
4		2x35 mm		NYM	4x2,5 mm ²
5	Polystyrol-Hartschaum	2x35 mm	B 1	NYIF	2x2,5 mm ²
6		2x35 mm		NYM	4x2,5 mm ²
7	Holzwolle-Leichtbauplatten nach DIN 1101	1x45 mm ¹⁾	B 1	NYIF	2x2,5 mm ²
8		1x45 mm ¹⁾		NYM	4x2,5 mm ²
9	Holzspanplatten	2x20 mm	B 1	NYIF	2x2,5 mm ²
10		2x20 mm		NYM	4x2,5 mm ²

Als Leitungen wurden vieradrige Mantelleitung NYM mit je 2,5 mm² Querschnitt (Mantel Polyvinylchlorid und Einzeladerisolierung auch) und zweiadrige Stegleitung mit Gummihülle (gemeinsame Hülle Gummi, Einzeladerisolierung PVC) mit je 2,5 mm² Querschnitt verwendet. Die handelsübliche Vollplast-Abzweigdose - 80 mm ϕ - mit weißem Ausgleichsdeckel (Ausgleichsdeckel und Dosenmaterial aus Polystyrol) und vierpoligem Klemmstein (2,5 mm², 380 V, Werkstoffgruppe (Klemmstein) 150 nach DIN 7708: Melaminharz mit Holz, kurzfasernig) war in der Mitte der vorderen Gipskartonplatte so eingelassen (Befestigung mit zwei 40 mm langen Stahlnägeln 2 mm ϕ), daß der Ausgleichsdeckel bündig mit der Oberkante Gipskartonplatte abschloß (Beschrift-

tung des weißen Ausgleichsdeckels $2,5 \text{ mm}^2$, 380 V, VDE-Zeichen).

Die Abzweigdose, die etwa 80 mm Durchmesser hatte, war 29 mm tief, so daß sie noch jeweils in die Dämmschicht 16,5 mm tief hineinragte. Sie trug die Bezeichnung "1070, VDE-Zeichen, 870". Ihr etwa 1 mm dicker Boden enthielt einen runden ($18,5 \text{ mm } \phi$) und einen länglichen ($6,9 \text{ mm} \times 21,5 \text{ mm}$) Ausbruch, durch den die ankommende bzw. abgehende Leitung zur und von der Dämmschicht her ein- bzw. ausgeführt wurde. Im Bereich der Abzweigdose waren die Leitungen von ihrer Gummihülle bzw. dem Mantel befreit. Die zweiadrige Stegleitung wurde zweipolig, die vieradrige Mantelleitung vierpolig über zwei bzw. vier Klemmen geführt (Lichtbogensimulation s. weiter unten). Die Gipskartonaußenplatten und die Dämmschichten waren mit sechs Schloßschrauben M 8 x 100 DIN 912 zusammengeschraubt (vgl. auch Bilder 8 bis 10).

4.4.2.2. Schaltung

Die zur Abzweigdose führende Leitung (Leitung 1) und die von der Abzweigdose kommende Leitung (Leitung 2), die beide aus dem Wandmodell etwa noch einen Meter herausführten, um die Enden verschalten zu können, wurden vierpolig (NYM-Mantelleitung) bzw. zweipolig (NYIF-Stegleitung) über die Klemmen des Klemmsteins miteinander verbunden. Zwei Leiter von Leitung 1 wurden an ihrem freien Ende über eine 25 A-Schmelzsicherung (flick) und einen $0,15 \Omega$ Reihenwiderstand zur Kurzschlußstrombegrenzung (I_k damit auf ca. 1500 A begrenzt) an eine 230 V-Wechselspannungsquelle gelegt. Die von den entsprechenden zwei Leitern der Leitung 2 gebildete zweite Hälfte der Stromschleife enthielt einen veränderlichen Belastungswiderstand und einen Stromwandler mit Amperemeter. Der Stromkreis wurde in der Abzweigdose an einer Stelle aufgetrennt und eine Graphitmine von $2 \text{ mm } \phi$ in der Abzweigdose (in Reihe) dazwischengeschaltet. Es wurden sowohl kurze (ca. 10 mm lang) als auch lange Graphitminen (ca. 50 bis 60 mm lang) benutzt.

4.4.2.3. Versuchsausführung und Versuchsergebnisse

Vorversuche ergaben, daß ein Lockern einer Klemmschraube in der Abzweigdose bei der in Abschnitt 4.4.2.2 geschilderten Schaltung und 25 A Stromstärke (entsprechend einer hohen, jedoch in Wohnhäusern durchaus vorkommenden Drehstromleistung, etwa bei Durchlauferhitzern, bei $3 \times 380 \text{ V} \sim$ und 25 A von 16,5 kW, hier natürlich im Modellversuch durch einen Belastungswiderstand von ca. $8,8 \Omega$ - das ergibt bei 230 V \sim und ca. 25 A eine Leistung von 5,5 kW - simuliert) entweder zur sofortigen Verschweißung der blanken Kupferdrähte in der Klemmstelle oder lediglich zu einem kurzen Funkendurchschlag zwischen den beiden Drähten ohne weitere Wirkungen führte. Daher wurde in allen weiteren Versuchen zur Simulation einer starken örtlichen Erwärmung bzw. eines länger und stabil brennenden Licht-

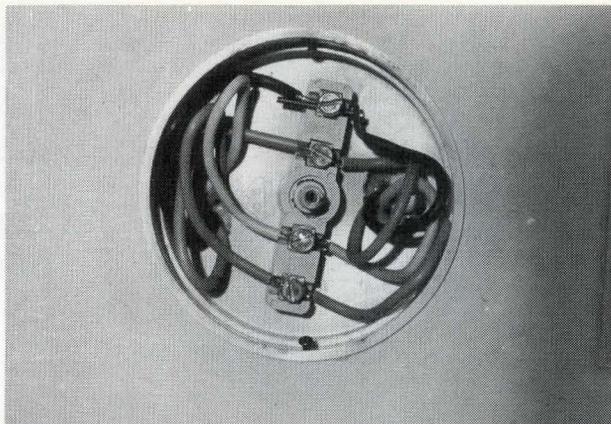


Bild 8
Anordnung des kurzen Graphitstabes in der Abzweigdose. Simulation einer starken örtlichen Erwärmung. Versuchsdauer max. 15 Sekunden

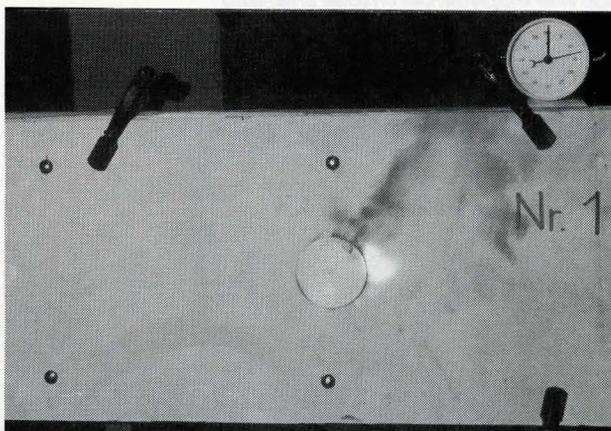


Bild 9
Dauer der Lichtbogensimulation ca. 15 Sekunden

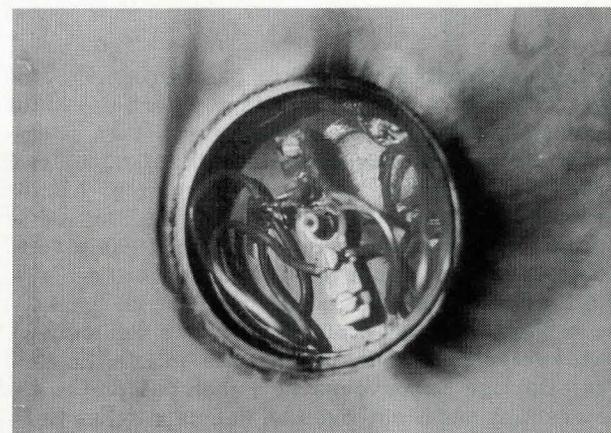


Bild 10
Aussehen der geöffneten Abzweigdose nach Einwirkung eines simulierten Lichtbogens von 15 Sekunden Dauer

bogens innerhalb der Abzweigdose eine Graphitmine in Höhe der Klemmstellen des Klemmsteins ohne direkte Berührung von Kunststoffteilen oder des Klemmsteins dem Stromkreis in Reihe geschaltet. Um eine Abstufung der Wärmebeanspruchung zu erhalten, wurden ca. 5 bis 10 mm lange und ca. 50 bis 60 mm lange Graphitminen verwendet. Die Stromstärke wurde hierbei durch den Belastungswiderstand bei den kurzen Minen

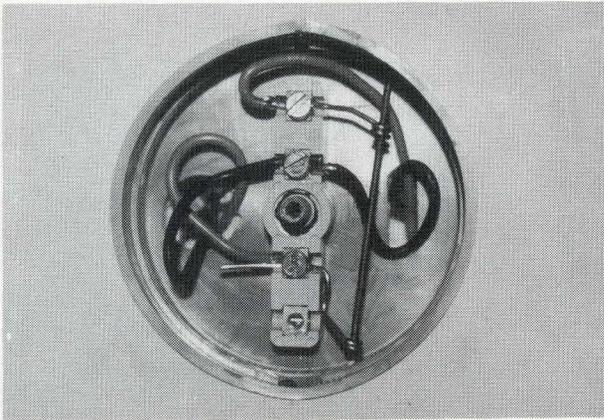


Bild 11
Anordnung des langen (ca. 5 bis 6 cm) Graphitstabes in der Abzweigdose.
Simulation eines ca. 5 Minuten dauernden, stabil brennenden Lichtbogens
oder einer entsprechenden örtlichen Erwärmung

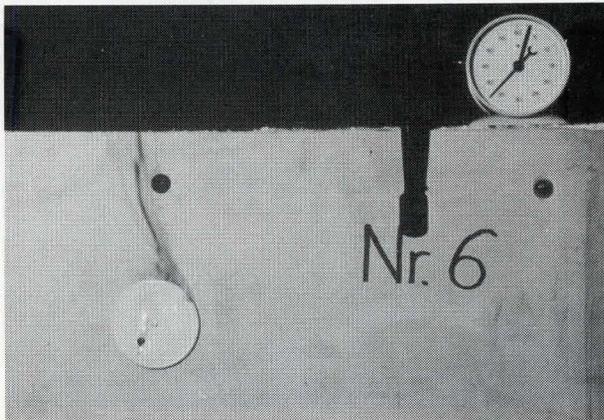


Bild 12
Weitere Einzelheiten siehe Bild 11

zwischen 15 und 25 A, später bei den langen Mienen zwischen 3 und 6 A variiert. Hierbei konnte die Temperatur der Heizstäbe durch ihre Glühfarbe (rotglühend bis weißglühend) auf höchstens 1500°C abgeschätzt werden (z. Vergleich: Lichtbogentemperatur 3000°C bis 4000°C). Daß derartige Wärmebeanspruchungen in der Praxis vorkommen und im Laborversuch ohne weiteres erzielt werden können, sei hierbei durch praktische Versuche und Erfahrungen der Schleswig-Holsteinischen Landesbrandkasse in Kiel bewiesen. Dortige Laborversuche haben beispielsweise gezeigt, daß Lichtbögen an kabelähnlichen Leitungen, wie z. B. PVC-Kabeln, bei Querschnitten von 10 mm² und 16 mm² Cu Längen von 10 bis 20 cm erreichten [1]. Auch auf eine ganze Reihe von berichteten Schadenfällen infolge Stromwärme (Brandfälle infolge brennender Abzweigdose, infolge widerstandsbehafteter Klemmverbindung, infolge unzureichender Kontaktgabe eines Kabelschuhs im Gehäuse eines Durchlauferhitzers u. a.) sei hier besonders hingewiesen [1]. Die Simulation von Wärme- und Lichtbogeneffekten (vgl. speziell auch Abschnitt 4.4.1) ist außerordentlich schwierig, da im Laborversuch praktisch alle in Abschnitt 2 genannten auslösenden Effekte (Alterung, atmosphärische Überspannung, me-

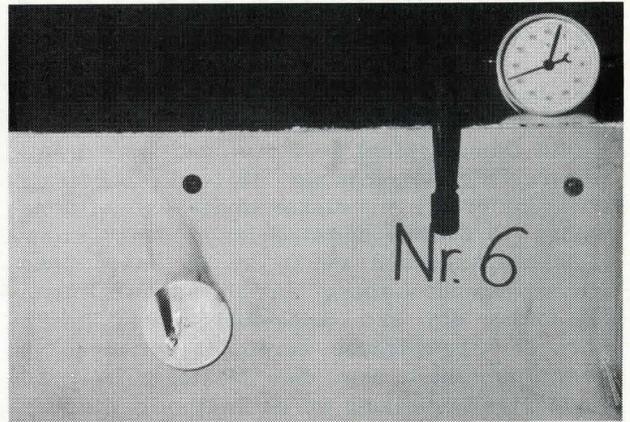


Bild 13
Weitere Einzelheiten siehe Bild 11

chanische Beschädigung) entweder gar nicht oder nur qualitativ nachgebildet werden können, von der Vielzahl der hierbei existierenden Möglichkeiten ganz abgesehen.

Die an den in Tafel 6 zusammengestellten Wandmodellen ausgeführten Versuche stellen somit nur einen Bruchteil der möglichen Versuche an Wänden dar, was die Art des Wandaufbaus und die Art der Simulation des elektrischen Entstehungsbrandes in einer Abzweigdose angeht. Als Ergebnis der an den Wandmodellen 1, 2, 3, 5, 6 und 9 ausgeführten Versuche (auf die Untersuchung der Wandmodelle mit einer Wärmedämmschicht aus Holzwolle-Leichtbauplatten konnte nach den in Abschnitt 4.4.1 geschilderten Versuchen verzichtet werden) konnten trotzdem einige interessante Feststellungen und Beobachtungen gemacht werden, die im folgenden anhand einiger Bilder erläutert werden sollen.

Ein durch den kurzen (ca. 0,5 cm) Graphitstab (vgl. Bild 8) simulierter Lichtbogen oder simulierte hohe örtliche Erwärmung bis zu ca. 10 Sekunden Dauer führt zwar lokal zu Verschmorungen der PVC-Leiterisolation. Weder der Polystyrol-Ausgleichsdeckel, noch der Boden der Abzweigdose aus dem gleichen Werkstoff zeigen Brand- oder Zersetzungerscheinungen.

Bei ca. 15 Sekunden Dauer jedoch und einem etwas längeren Graphitstab (ca. 1 cm) wird der Boden der Abzweigdose bereits lokal zerstört, die Wärmedämmschicht aus Polyurethan-Hartschaum gerät in Brand, erlischt aber infolge Sauerstoffmangels. Der Polystyrol-Ausgleichsdeckel zeigt zwar leichte Zersetzungerscheinungen, ist aber noch in voller Dicke erhalten. Auch jetzt zeigt der Klemmstein aus Melaminharz zwar Verrufungserscheinungen, ist jedoch völlig unzerstört. Die Leiterisolation aus PVC hat sich lediglich zersetzt (Bilder 9 und 10).

Während bis zu einer simulierten Dauer des Lichtbogens bis zu ca. 15 Sekunden mit dem kurzen Graphitstab die Branderscheinungen sich nicht ausweiten, ändern sich die Verhältnisse

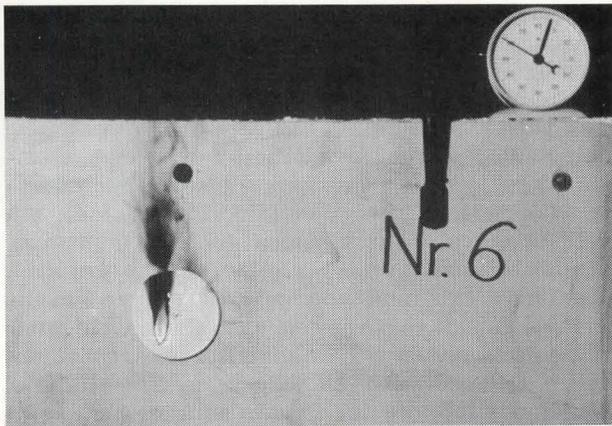


Bild 14
 Weitere Einzelheiten siehe Bild 11

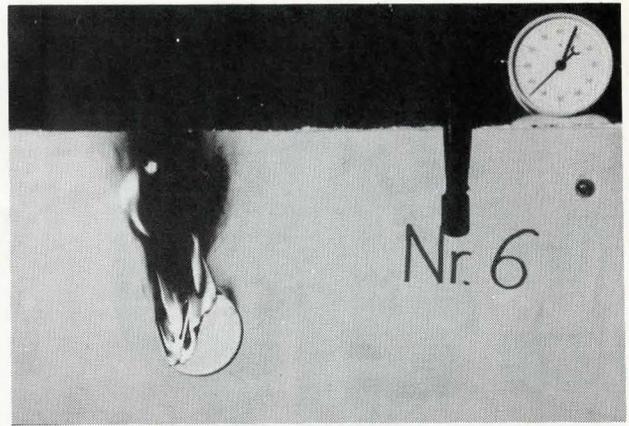


Bild 16
 Weitere Einzelheiten siehe Bild 11

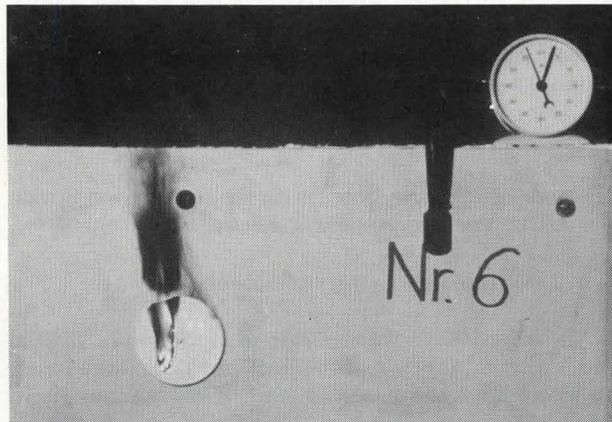


Bild 15
 Weitere Einzelheiten siehe Bild 11



Bild 17
 Weitere Einzelheiten siehe Bild 11

grundlegend bei Simulation eines etwa 50 mm langen Lichtbogens mit einem entsprechend langen Graphitstab nach Bild 11. Hierbei werden die Stromstärken von vorher 15 bis 25 A bei dem kurzen Graphitstab auf 3 bis 6 A verkleinert, was ein wesentlich reproduzierbareres Verhalten des langen Graphitstabes zur Folge hat und damit eine längere Brenndauer von ca. 5 Minuten.

Die folgenden Bilder 12 bis 17 zeigen den typischen Ablauf eines derartigen Versuches. Die mitfotografierte Uhr gibt hierzu die Zeitdauer des Versuches in Minuten und Sekunden an. Die Stromstärke beträgt 3 A. Der Ausgleichsdeckel brennt schnell durch und gerät selbst in Brand, bis er nach etwa 4,5 Minuten brennend abfällt und am Boden weiterbrennt. Reste der Polystyrol-Abzweigdose brennen weiter. Die Flammhöhe, die infolge des Mitbrennens des Deckels max. 25 cm beträgt, verkleinert sich jetzt auf ca. 10 cm. Die starke schwarze Rauchentwicklung geht ebenfalls zurück. Als mit einem Schraubenzieher ein kleines Loch oberhalb der Abzweigdose in die Polystyrol-Hartschaum-Schmalseite gestochen wird, brennt die schwerentflammbare Dämmschicht selbständig weiter, so daß

der Brand mit einem Kohlendioxidlöscher abgelöscht werden muß.

Bild 18 zeigt das Aussehen von Wandmodell 6 nach teilweiser Entfernung der vorderen Gipskartonplatte nach dem Versuch. Die Abzweigdose ist vollständig verbrannt.

Bei einem zweiten Versuch bei gleichen Verhältnissen greift das Feuer ebenfalls auf die Dämmschicht aus schwerentflammbarem Polystyrol-Hartschaumstoff über. Infolge veränderter Rauchgasabfuhr erlischt das Feuer jedoch selbständig. Auch bei diesem Versuch brennen der Polystyrol-Deckel und die Polystyrol-Abzweigdose. Die Abzweigdose brennt vollständig ab (Bild 19).

Bemerkenswert ist, daß nach allen Versuchen der Klemmstein aus Melaminharz unzerstört war; lediglich Verrußungserscheinungen konnten an der Oberfläche festgestellt werden. Ähnlich gut verhielten sich die PVC-Einzelleiter-Isolierungen, die sich lediglich zersetzten und damit teilweise die Kupferoberfläche der Leiter freigelegt wurde. Ein Unterschied zwischen der Gummi- außenisolierung der Stegleitung und der PVC-

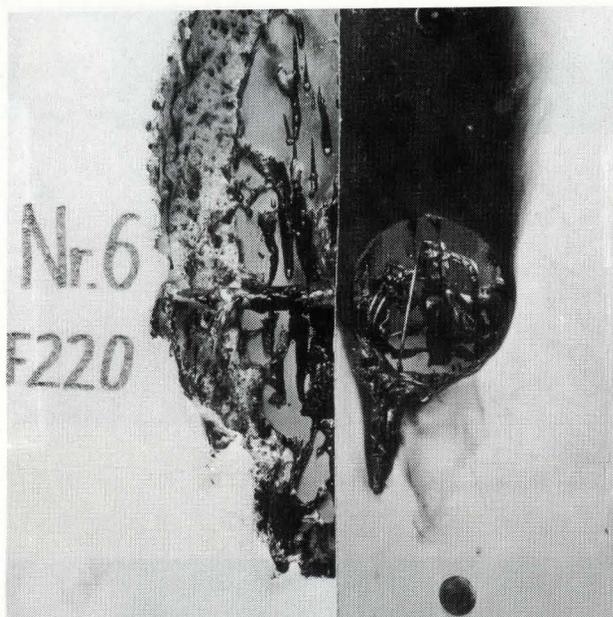


Bild 18
 Aussehen von Wandmodell 6 nach dem Versuch bei teilweiser Entfernung der vorderen Gipskartonplatte

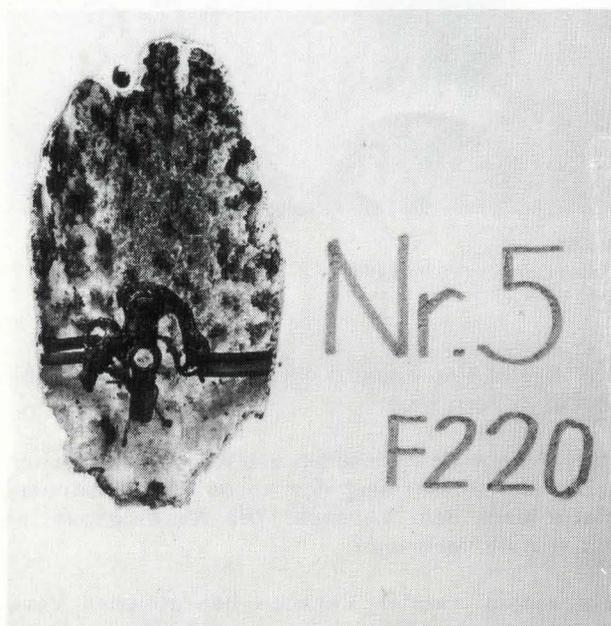


Bild 19
 Aussehen von Wandmodell 5 nach dem Versuch bei Entfernung der vorderen Gipskartonplatte. Die Zersetzungserscheinungen an der schwerentflammaren Wärmedämmschicht sind deutlich zu erkennen, vgl. hierzu auch Bild 18

Mantelisolierung der Mantelleitung konnte nicht festgestellt werden. Das gleiche gilt für die Differenzierung im Brandverhalten der Wärmedämmschichten. Eine Abgrenzung im Brandverhalten der schwerentflammaren und leichtentflammaren Wärmedämmschichten war wegen der begrenzten Anzahl der Versuche, der damit verbundenen ungleichmäßigen Brandbeanspruchung der einzelnen Wandmodelle und der experimentellen Schwierigkeiten, einen stabilen Lichtbogen zu simulieren, nicht möglich. Die

Versuche mit der leichtentflammaren Polyurethan-Hartschaumschicht sowie mit (bei selbständigem Weiterbrennen) der schwerentflammaren Polystyrol-Hartschaum-Dämmschicht weisen jedoch darauf hin, daß bei möglicher Abfuhr der Rauchgase und möglicher Verbrennungsluftzuführung (Verteilerdosen, Schalter, Hohlräume), ein selbständiges Weiterbrennen der Wärmedämmschicht keineswegs auszuschließen ist, wobei dann die Grenze der in Wänden mit definierter Feuerwiderstandsklasse verwendeten Dämmschichten keinesfalls die Baustoffklasse B 1 unterschreiten sollte. Hierzu wird es jedoch im Einzelfall an Wandmodellen, die der Praxis entsprechen, noch einer Reihe spezieller Untersuchungen bedürfen.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß außer dem vorliegenden Bericht ein 16 mm-Farbfilm von allen mitgefilmten Modellversuchen an den Wandmodellen zusammengeschnitten wurde, der die Versuche 2, 3, 1 (kurze Graphitmine, 25 A) und 5 und 6 (lange Graphitmine, 3 A) enthält (weitere Einzelheiten siehe Tafel 6).

4.5. Modellversuche zur Übertragung von Bränden von Brandabschnitt zu Brandabschnitt durch elektrische Leitungen

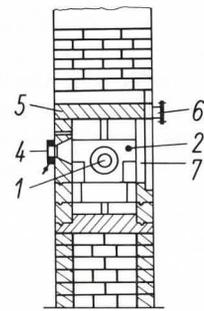
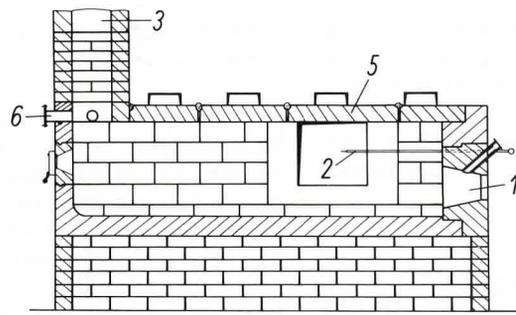
4.5.1. Einleitende Bemerkungen

Im Abschnitt 2.3 wurde das grundlegende Risiko der Übertragung von Bränden von Brandabschnitt zu Brandabschnitt sowie der Flammenausbreitung über Leitungen speziell bei vertikaler Anordnung bereits genannt. Dieser Tatsache ist insofern steigende Bedeutung beizumessen, als nach [21] der Anteil von Kunststoffkabeln und Leitungen bereits 88 % im Niederspannungsbereich bis 1 kV, für alle Spannungen bereits 67 % beträgt. Der meistverwendete Kunststoff für Isolierung und Ummantelung ist Polyvinylchlorid (PVC), von dem 1969 bereits 80 000 t verarbeitet wurden. In der Regel wird Weich-PVC verwendet, das sich aus PVC, Weichmachern, Stabilisatoren, Farbstoffen und - bei Mantelmassen - Füllstoffen zusammensetzt.

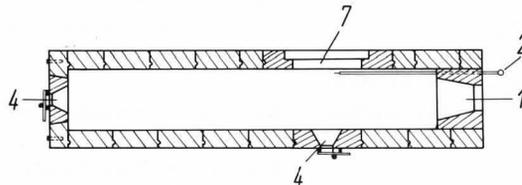
Für höhere Spannungen von 10 kV bis 30 kV und im Hochspannungsbereich wird zunehmend Polyäthylen verwendet, nicht zuletzt wegen seiner besseren dielektrischen Eigenschaften, auch bei höheren Anforderungen an die Kälteflexibilität und wenn keine Weichmachermigration auftreten darf. Weitere Einzelheiten, speziell zur Normung und Prüfung von PVC-Kabeln und PVC-Leitungen siehe [21].

4.5.2. Modellversuche und Versuche im Maßstab 1 : 1 von Hinrichs (Entstehungsbrand)

Hinrichs [22] hat das Verhalten von Kunststoffisolationen - speziell von PVC - an Kabeln und Leitungen bei Bränden untersucht. Er stellte bei waagrecht verlegten Kabeln keine Brandausbreitung fest. Hierbei wurden nur die dem Feuer direkt ausgesetzten Teile des Kabelmaterials



1,5m



- 1 Brenneröffnung bzw. Ölbrenner
- 2 Thermoelement
- 3 Rauchabzug
- 4 Schaulöcher
- 5 bewegliche Deckenelemente
(Ersatz durch Prüfstücke möglich)
- 6 Stützen für Gasanalyse und
Druckmessung
- 7 Prüfföffnung

zerstört. Die von dem Entstehungsbrand vor allem ausgehende Strahlung und Konvektion reicht bei waagerechter Anordnung nicht aus, um bei PVC die für die Verdampfung des Weichmachers notwendigen Temperaturen von 200°C zu erzeugen. Außerdem ist der Brandverlauf und auch das Weiterbrennen - speziell bei vertikaler Anordnung - weitgehend davon abhängig, wieviel Anteile brennbarer Weichmacher im PVC vorhanden sind. Eine Vorwärmung der Kabel erbrachte keine Gefahrenerhöhung, da dann bei PVC-Leitungen keine genügende Menge von verdampftem Weichmacher für das selbständige Weiterbrennen vorhanden ist und dann durch Abspaltung von Chlorwasserstoff und Chlorkohlenwasserstoffen eine sofortige Löschwirkung einsetzt. In senkrechten Kabelschächten und Durchführungen ist eine Brandausbreitung nicht nur durch die Fortleitung des Feuers an der Oberfläche der Isolation, sondern auch - insbesondere bei PVC-Leitungen - durch Hochsteigen von brennbaren Gasen möglich. Diese Vorstellung wurde von Hinrichs in halbstündigen, speziellen Modellversuchen im Maßstab 1 : 1 zum Brandrisiko von Leitungen und Kabeln bei Deckendurchführungen bestätigt. Eine Brandübertragung findet jedoch nicht statt, wenn Kabel entweder durch enge Schutzrohre mit freien Spalten von kleiner als 2 mm geführt werden, eingemauert werden, oder mit einer starken Schicht Mineralfasermatte eine Brandausbreitung durch Spalte verhindert wird.

4.5.3. Versuche mit Kabeldurchführungen durch Wände im vollentwickelten Brand

Im Staatlichen Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen wurden im Jahre 1972 Versuchsreihen mit Kabeldurchführungen durch Wände ausgeführt. Es sollte festgestellt werden, ob die gewählte Art der Kabeldurchführungen (Wanddurchbrüche) geeignet wäre, den Durchtritt von Feuer sowie den Durchtritt von Rauch - insbesondere von brenn-

baren Gasen - bei einer Beanspruchung nach der Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102, Blatt 2 (Vollbrand) zu verhindern. Entsprechend der Zeit, in der der Durchtritt von Feuer und Rauch mit Sicherheit verhindert werden sollte, wurde für die Zeit bis 120 min bei Ofenüberdruck eine feuer- und rauchdichte neuartige Lösung, nämlich die "Sandtasse", erarbeitet.

Hierbei wird das Kabel oder werden die Kabel in der Wand in eine mit feinkörnigem Sand, der bei Volumenänderung des Kabels nachrutscht, gefüllte Wanne eingebettet. Es zeigt sich, daß die Brand-

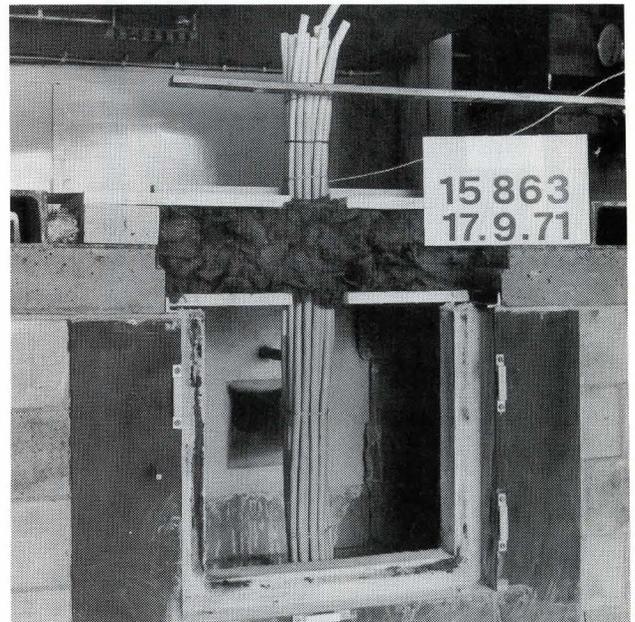


Bild 21
 Prüfung einer Deckendurchführung im Kleinversuchsstand nach
 DIN 18 082, Blatt 2. Längsschnitt durch den Deckendurchbruch.
 Die vorn liegende Öffnung bis oberhalb des Durchbruchs ist während des
 Brandversuches verschlossen.

weiterleitung sowie das Austreten von Rauch und zündbaren Gasen für den o. a. Zeitraum nur bei sorgfältiger Ausführung des Wanddurchbruchs und nur durch ausreichende Dimensionierung der Mauerwerksdicke und des Verhältnisses von Sand - zur Kabeldurchtrittsquerschnittsfläche verhinderbar ist.

4.5.4. Versuche mit Kabeldurchführungen durch Decken in einem Kleinversuchsstand nach DIN 18 082, Blatt 2 (vollentwickelter Brand)

Die Erfahrungen von Hinrichs wurden 1971 in der Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin, bei Versuchen an senkrechten Leitungsdurchführungen mit Bündeln von vieladrigen doppelt PVC-isolierten Leitungen in einem Kleinversuchsstand nach [23] bestätigt.

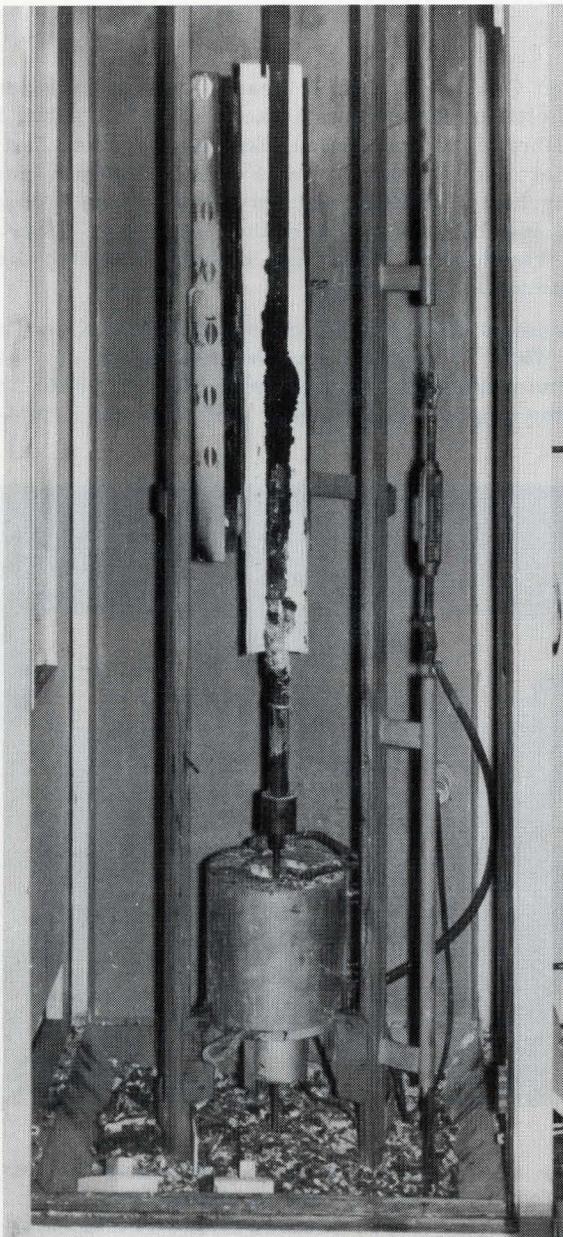


Bild 20 zeigt eine Schemazeichnung des Kleinversuchsstandes.

Bei Vorsehung einer gesonderten Aussparung je Kabelbündel, sorgfältiger Verstopfung der Hohlräume mit nichtbrennbaren Mineralfasern oder Asbestfaserschnüren, Anordnung der Kabeldurchführung unmittelbar an der Wand und Anbringung von zwei Asbestzementplatten (vgl. Bild 21) wurden während einer unterseitigen sechzigminütigen Beflammung nach der Einheitstemperaturkurve weder Flammen noch zündbare Gase festgestellt.

4.5.5. Versuchsmethode zur Feststellung der Flammenausbreitung über senkrecht angeordnete Kabel

In Zusammenarbeit mit dem Laboratoire Central des Industries Electriques (EDF) in Fontenay-aux-Roses hat das Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - Section Feu-in Champs-sur-Marne einen Laborversuch und einen Spezialprüfstand für Kabellängen von 1,60 m und 5,00 m zur Abschätzung des Risikos der Flammenübertragung über senkrechte Leitungen und Kabel entwickelt.

Die Electricité de France trägt diesen speziellen Risiken Rechnung, indem sie Zulassungen für Kabel nur aufgrund von Prüfungszeugnissen des CSTBerteilt. Der Laborversuch "Essai de cables électriques" ist genormt, er führt die Bezeichnung "Norme E. d. F. HN 32, 80".

Die Abschätzung des Risikos der Flammenausbreitung an vertikal angeordneten Kabeln wird hierbei in einem speziellen Laborprüfstand nach Bild 22 vorgenommen. Hierbei wird ein 1,60 m langes, vertikales Stück des zu prüfenden Kabels 30 Minuten lang der Strahlung eines auf 750°C aufgeheizten elektrischen Ofens ausgesetzt. An der Oberkante des ringförmig das Kabel umfassenden Ofens sind Pilotflammen zur Zündung brennbarer Gase angeordnet. Gemessen wird die Flammenausbreitung über der Oberkante des in seiner Achsrichtung verschiebbaren Ofens (auf dem Bild nicht in Einsatzstellung, die ist ca. 30 cm höher) auf dem Kabel. Bei einem guten Verhalten der Kabelisolation wird lediglich die Isolation des in dem Ofen befindlichen Kabelstücks zerstört.

Bild 22

Versuchsapparatur zur Abschätzung des Risikos der Flammenausbreitung über senkrechte Leitungen (Norme Electricité de France HN 32.80)

Die vorliegende Studie zum Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden konstatiert aufgrund von Statistiken und einigen speziellen Untersuchungen ein nicht unerhebliches Brandrisiko speziell von fest installierten elektrischen Leitungen. Es werden eine Reihe von experimentellen Methoden und einzelne Resultate von Untersuchungen, auch zur Prüfung von Durchführungen von Leitungen durch Decken und Wände, angegeben. Als besonders geeignet erscheint zur Simulation von kurzzeitig auftretenden hohen Temperaturen in Wärmedämmschichten die Verwendung von elektrisch zündbaren Wärmekapseln, die zudem sehr gut in der Energieentwicklung abstufbar sind und reproduzierbare Verhältnisse liefern. Diese Methode wird vorerst einmal wegen ihrer leichten Durchführbarkeit für weitere Untersuchungen an Wärmedämmschichten in Decken und Wänden, an die hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer bauaufsichtliche Forderungen gestellt werden, besonders vorgeschlagen, weitere Untersuchungen im Maßstab 1 : 1 sollten dabei an Wandmodellen verschiedenster Bauart ausgeführt werden, da die bisher auf diesem Sektor vorliegenden experimentellen Ergebnisse noch nicht ausreichend sind. Hierbei ist speziell in den bauaufsichtlichen Vorschriften die Frage der Verwendung leichtentflammbarer und normalentflammbarer Baustoffe in Bauteilen der Feuer-

widerstandsklasse F 90 und höher zu klären, da Unterputzinstallationen die Abschlußwirkung von nichtbrennbaren Baustoffen leicht aufheben können. Hierbei dürfen bei mehrschaligen Bauteilen auch keineswegs das Brandrisiko möglicherweise erheblich erhöhende Hohlräume außerachtgelassen werden.

Was das indirekte Brandrisiko von Leitungen und Installationen bei der Brandweiterleitung betrifft, so wäre zu überprüfen, ob in der BRD für Leitungen und Kabel nicht generell Prüfverfahren ähnlich denen Frankreichs eingeführt werden sollten sowie für die bei Installationen verwendeten Kunststoffe und anderen Materialien weitergehende Anforderungen hinsichtlich der Brennbarkeit gestellt werden sollten.

Der derzeitige Zustand, daß Elektroinstallationen in Wohngebäuden nach ihrer Inbetriebnahme in der BRD keinerlei Überwachungspflicht mehr unterliegen, dürfte auch keinesfalls dazu geeignet sein, die Zahl der elektrischen Ursachen zugeschriebenen Brände zu senken [1, 3]. Immerhin weisen die festverlegten Leitungen nach der Hauptsicherung in der BRD zugeschriebenen Brände mit fast 5 % einen beachtlichen Anteil an der Gesamtschädigungssumme aller Brandschäden auf.

6. Nachwort der Redaktion

Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, daß im Gegensatz zu den von Hinrichs [22] bei Modellversuchen im Maßstab 1:1 gemachten Feststellungen in einer Reihe von Schadenfällen eine andersartige Verhaltensweise bei waagerechten Kabelführungen beobachtet wurde. In der Praxis zeigt es sich, daß bei waagrecht unter der Decke und insbesondere innerhalb von Kanälen verlegten Kabeln die Gefahr des selbständigen Weiterbrennens gegeben ist.

Wie mehrere Brände seit 1967 in der stahlerzeugenden und -verarbeitenden Industrie sowie in Elektrizitätswerken gezeigt haben [24] [25], be-

steht stets die Gefahr des selbständigen Weiterbrennens, sobald Kabel waagrecht unter der Decke und besonders innerhalb von Kanälen verlegt sind. Diese Schadenereignisse haben schließlich zur Aufstellung der "Richtlinien für den Brandschutz bei freiliegenden Kabelbündeln innerhalb von Gebäuden sowie in Kanälen und Schächten" durch den Verband der Sachversicherer e. V. und Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. geführt, nachdem die elektrischen Versorgungsunternehmen bereits eine Broschüre über Schutzmaßnahmen gegen PVC-Brände in Kraftwerken und elektrischen Anlagen ausgearbeitet hatten.

7. Schrifttum

- [1] Blumhagen, H. -J. : Brandgefahren durch elektrische Einrichtungen. Brandverhütung, Brandbekämpfung, 21. Jahrgang, Nr. 1, März 1971, S. 13/20 und Nr. 2, Mai 1971, S. 18/21 (mit besonders zahlreichen Schrifttumshinweisen).
- [2] Vorschriften der Deutschen Elektrotechnischen Kommission - DEK - mit 285 einzelnen Bestimmungen; VDE-Verlag, Berlin.
- [3] Engel, G. : Die Bedeutung der Revision elektrischer Anlagen für den Sachversicherer. Vortrag abgedruckt in Heft 178 "Unfall- und Brandsicherheit elektrischer Anlagen", S. 21/27, Vulkan-Verlag Dr. W. Classen, Essen.
- [4] United Kingdom Fire and Loss Statistics 1968, Ministry of Technology and Fire Offices' Committee Joint Fire Research Organization (Annual). London, Her Majesty's Stationery Office.
- [5] Gehlich, H.G. : Brandursachenermittlung bei der Berliner Kraft- und Licht-Aktiengesellschaft (BEWAG). Brandverhütung, Brandbekämpfung, 21. Jahrgang, Nr. 4, November 1971, S. 53/56.
- [6] Lawson, D.I., Fry, J.F. : Fires of Electrical Origin. The Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, Vol. 104, Part A, No. 14, P. 185/191, April 1957 (Paper No. 2316 U).
- [7] Discussion on "Fires of Electrical Origin" [6] . Proceedings I. E. E., Vol. 104, Part A, No. 18, P. 531/532, December 1957
- [8] Fry, J.F., Lustig, R.E. : Fire Hazards of Electricity. Department of Scientific and Industrial Research and Fire Offices' Committee. Joint Fire Research Organization, Fire Research Technical Paper No. 3, P. 1/34. London, Her Majesty's Stationery Office.
- [9] Lawson, D.I. : Trends in fire research in the United Kingdom. Paper given by Lawson at the Conference organised by the German Association of Fire Brigades. Reprinted from the Institution of Fire Engineers Quarterly, 1961.
- [10] Gosland, L. : Age and the Incidence of Fires in Electrical Installations. The Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, Vol. 103, Part A, No. 9, P. 271/29, 1956
- [11] Das Feuerwehrwesen in Großbritannien. Brandschutz/Deutsche Feuerwehr - Zeitung, S. 43/47, Februar 1970.

- [12] Glor, R.-L., Seidel, K.-W., Schubert, K.H.: Studie zur Entwicklung eines bundeseinheitlichen Brandberichtsformulars als Unterlage für die statistische Auswertung. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. - VFDB, Techn.-wissenschaftl. Beirat, Referat 2, Mai 1969.
- [13] Feuerschäden ab DM 50 000, --. Zusammengestellt vom Verband der Sachversicherer e.V., Köln, erscheint jährlich.
- [14] Jahresberichte der Berliner Feuerwehr, speziell Jahresbericht 1970.
- [15] Ergänzende Bestimmungen zu DIN 4102 "Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen", 3. Fassung, Februar 1970.
- [16] Prüfgrundsätze für prüfzeichenpflichtige nichtbrennbare (Klasse A) und schwerentflammbare (Klasse B 1) Baustoffe, März 1971.
- [17] Swart, K.-H., Treumann, H., Krüger, G.: Über Versuche zur Ermittlung des Verhaltens größerer Mengen pyrotechnischer Sätze nach thermischer Zündung (Mitteilung der Bundesanstalt für Materialprüfung). Die Berufsgenossenschaft, Mai, Juni 1969. Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Bonn, Erich-Schmidt Verlag, Bielefeld.
- [18] Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz) vom 25. August 1969. Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 85 vom 29. August 1969, S. 1358/1403.
- [19] Zweite Verordnung zur Durchführung des Gesetzes über explosionsgefährliche Stoffe (2. DV Sprengstoffgesetz) vom 23. Dezember 1969. Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 134 vom 31. Dezember 1969, S. 2394 - 2422.
- [20] DIN 4102, Blatt 4 (Ausgabe Februar 1970) "Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Einreihung in die Begriffe".
- [21] Mair, H. J., Meier, L.: Die Verwendung von Polyvinylchlorid bei der Kabelherstellung. Kunststoffe, Bd. 60, Heft 5, S. 301/308, 1970.
- [22] Hinrichs, B. R.: Verhalten der Kunststoffisolation an Kabeln und Leitungen bei Bränden. VFDB-Zeitschrift, Heft 1, S. 8/14, 1963.
- [23] DIN 18 082, Blatt 2 (Ausgabe 1969) "Feuerhemmende einflügelige Stahltüren (T 30-1-Türen), Mineralfaser-Einlagen, Anforderungen und Prüfung".
- [24] Reiter: Das Schadenrisiko neuzeitlicher Kunststoffe. Möglichkeiten einer Verminderung des Risikos, 1968; Brandschutztagung der Bayerischen Versicherungskammer München 1968, S. 74-87 und Versicherungswirtschaft 1969 Nr. 6, S. 380/384 und Nr. 7, S. 443/450.
- [25] Schuh: Folgeschäden von Bränden mit Beteiligung des Werkstoffes PVC, 1968; Brandschutztagung der Bayerischen Versicherungskammer München 1968, S. 88-107.