

sollte jedes historische Bauwerk neu und unvoreingenommen beurteilt werden.

In Schleswig-Holstein sind etwa 65 % des geschützten Bestandes Kirchen, Herrenhäuser, technische Denkmale und ländliche Bauten. Bis auf die Bürgerhäuser und Wohnbauten in den Städten handelt es sich überwiegend um ein- und zweigeschossige Bauten, selten um dreigeschossige, und über drei Geschosse kommen selbst bei Stadtbauten fast nur Gebäude aus dem 20. Jahrhundert vor, die dann schon nach modernen Brandschutzanforderungen konzipiert wurden.

Eine Reihe vorbeugender Maßnahmen am Objekt selbst sind auch unter denkmalpflegerischen Gesichtspunkten durchaus denkbar, ohne daß der Bestand wesentlich beeinträchtigt wird, wie z. B. Entrümpeln von Dachböden und Kellern, um häufig vorhandene bedrohliche Brandlasten zu beseitigen, Instandsetzen alter Feuerstätten, Erneuern veralteter Elektroinstallationen und Versorgungsleitungen. Wo erforderlich, muß der Blitzschutz auf den neuesten Stand gebracht und die Ausstattung der Gebäude mit Feuerlöschgeräten vorgesehen werden. Auch das Vorhalten von Löschwasser aus Brunnen und Feuerlöschteichen sowie die Aufstellung von Alarmplänen sollen hier einmal beispielhaft erwähnt werden.

Für bedeutendere Objekte der Bau- und Kunstgeschichte sollten Feuerwehreinsatzpläne erstellt werden. Z. B. existiert für das Schloß Glücksburg ein genau festgelegter und in unregelmäßigen Abständen geprobter Einsatzplan, der der Feuerwehr Zugangsmöglichkeiten, Anschlußpunkte, Standorte und Rettungswege angibt. Zusätzlich werden hier (wie auch bei anderen Objekten) während öffentlicher Veranstaltungen Brandsicherheitswachen der Feuerwehr eingesetzt.

Bei der Wahl geeigneter Baustoffe sollte immer wieder bedacht werden, ob nicht

auch traditionelle Bauweisen den Brandschutzanforderungen genügen können. Ein Kalkmörtelputz auf Rohrgewebe kann oft schon ausreichen und paßt besser zum Gesamtgefüge des Hauses als eine moderne Gipsplatte oder ähnliches. Auch historische Brandvorbeugungen sollten reaktiviert werden. Die Speicher und Böden der Herrenhäuser waren oft mit lose verlegten Ziegelfliesen überdeckt. Diese Technik ist wohl einem häufig geforderten Estrich ebenbürtig, wenn die Fliesen nachträglich in Mörtel verlegt werden. Auch in Stallgebäuden ist ein Lehmschlag zwischen dem Viehstall und dem darüberliegenden Bergeraum eine bewährte Methode, die nicht unbedingt durch moderne, artfremde Materialien ersetzt werden muß.

Die Probleme für Denkmalpfleger und Brandschutz vervielfältigen sich schlagartig, wenn historische Gebäude neuer Nutzung zugeführt werden sollen. Eine meist intensivere Nutzung des zur Verfügung stehenden Gebäudevolumens erfolgt häufig im Wohnungswesen, in der Gastronomie oder im Versammlungsstättenbereich. Für alle diese Bereiche gelten zahlreiche Sonderbestimmungen und weitergehende Sicherheitsanforderungen. Zusätzliche Rettungswege, Brandabschnitte, Verwendung nichtbrennbarer oder schwerentflammbarer Baustoffe, alles steht dem Erhaltungsgedanken entgegen und ist doch erforderlich, wenn nicht auf das Gebäude bzw. seine Fassade verzichtet werden kann. Das sind Aufgaben für die Besten unter den erfahrenen Architekten, und nur bei gutem Willen aller Beteiligten kann hier mit halbwegs zufriedenstellenden Lösungen gerechnet werden. Wenn ein Hafenspeicher nicht anders zu erhalten ist, als durch den Umbau zu einem Hotel oder zu einem Appartementbau, ist eben von vornherein das Wesentliche an dem Speicher aufgegeben. Das eindrucksvolle

Zimmerergewerk seiner Speicherböden wird unterteilt, verkleidet und entschwindet damit den Blicken. Dennoch sollte auch hier so viel wie möglich von der alten Konstruktion bewahrt werden, auch zeitlich verdeckte Dokumente sind Dokumente. Auch bei intensiver baulicher Nutzung kann ein Gebäude oft seine wesentlichen Konstruktionsteile bewahren. Mitunter genügt z. B. bei der Deckenkonstruktion ein Auswechseln des alten Einschubs, wenn er aus Sägespänen oder anderen brennbaren Materialien bestand. Werden die schweren Balken mit einem neuen Aufbau versehen, kommen mit Nut und Federn gefertigte gehobelte Holzdielen über einer Brandschutzbauplatte dem ursprünglichen Charakter des Bodens sehr nahe. Daß es auch in der Frage der Brandsicherheit des Treppenraumes Unterschiede in den Sicherheitsauffassungen gibt, zeigt die Bayerische LBO. Hier ist für Treppen mit 3 bis 5 Vollgeschossen eine Ausführung in feuerhemmender Bauart möglich; die Vorschrift gilt als erfüllt, wenn die Treppen vollkommen aus Eichenholz hergestellt oder Treppen aus Weichholzteilen unterseitig verputzt sind.

Es kann nicht Aufgabe dieser Abhandlung sein, die vielen Varianten und Lösungswege für die Sicherung historischer Gebäude darzustellen. Zweck ist, Verständnis für die Belange der Denkmalpflege zu wecken.

Denn (nach einer Bemerkung des ehemaligen Landeskonservators Dr. Beseler) „Baudenkmäler gehören unverzichtbar an unseren Lebensweg, auch wenn sie uns hin und wieder scheinbar im Wege stehen. Das gilt nicht nur für die klassischen Baudenkmäler, also Kirchen, Schlösser, Herrenhäuser, auch was an kleinen Denkmälern darunter liegt, bedarf der Erhaltung und Pflege, weil nur das Ganze die geschichtliche Vergangenheit ausmacht.“

Halogenfreie Kabel und Leitungen

Möglichkeiten und Grenzen zur Verbesserung des Brandschutzes

Adalbert Hochbaum

Die Modernisierung und Automatisierung der Produktionsanlagen, der haus- und bürotechnischen Einrichtungen erfordern in zunehmendem Maße den Einsatz elektrischer Betriebsmittel. Zwangsläufig häufen sich Kabel- und Leitungsanlagen, nachfolgend kurz Kabel genannt, in den Gebäuden an.

Trassen mit einer beträchtlichen Kabelanhäufung verlaufen wie riesige „Zünd-

schnüre“ durch die Gebäude und Betriebe. Die entlang der Kabeltrassen angesammelte Brandlast kann eine erhebliche Brandgefahr darstellen.

So ist es denn auch zu Kabelbränden großen Ausmaßes mit verheerenden Auswirkungen gekommen. Mit dem Feuer einhergehend gefährden Rauch, korrosive und toxische Brandgase Menschen und Sachwerte. Rettungsmaßnahmen und Löscharbeiten werden behindert oder gar unmöglich gemacht. Tote und Verletzte, erhebliche Sachschäden

und kostspielige Sanierungsmaßnahmen sind die Folge.

Kabel selbst sind in den seltensten Fällen die Brandverursacher. Brände durch innere Ursachen, damit sind Stromüberbeanspruchungen und Lichtbogenkurzschlüsse in bzw. an Kabeln gemeint, sind zwar möglich, jedoch müssen zeitgleich Bedingungen vorliegen, die, wenn überhaupt, nur ganz selten zusammentreffen. Die Mehrzahl der Kabelbrände wird durch äußere Flammeneinwirkung oder Wärmestrahlung hervorgerufen, z. B. bei

Dipl.-Ing. Adalbert Hochbaum,
Verband der Sachversicherer, Köln

Schweiß- und Lötarbeiten in der Nähe von Kabelanlagen.

Zusätzliche vorbeugende Maßnahmen zum Schutz der Kabel gegen äußere Brandgefahren sind nur in bestimmten Fällen vorgeschrieben, z. B. für Kabel in Rettungswegen und für Einrichtungen mit Sicherheitsfunktion. In der Elektrotechnik spricht man in diesem Zusammenhang von Kabellängsschutz. Für diesen Zweck sind insbesondere bauliche Schutzvorkehrungen und die verschiedenen Möglichkeiten der Kabelverlegung geeignet, z. B. Abmauerungen, Verkleidungen, Kabelbeschichtungen oder die Verlegung der Kabel in Wände, Decken, in Erdreich, in Schächte und Kanäle sowie in andere geschützte Hohlräume.

Die Tatsache, daß Maßnahmen zum Längsschutz von Kabeln

- nur in wenigen Fällen vorgeschrieben sind,
- nicht immer eingehalten werden oder nicht in ausreichendem Maße realisiert werden können,
- die erhoffte Schutzwirkung nicht erzielen und vor allem
- die Entstehung von Rauch und aggressiven Brandgasen nicht verhindern können,

führte bereits vor Jahren zu Überlegungen und Anstrengungen, die Kunststoffe in der Kabeltechnik weiter zu verbessern und auch neue Werkstoff-Konzeptionen zu finden.

Anforderungen an Kabelanlagen

Die anlagenspezifischen Gegebenheiten, die Wünsche und Vorstellungen der Betreiber von Kabelanlagen führten zu einer breiten Anforderungs-Palette. Nach eingehender Analyse stellte sich jedoch heraus, daß nur selten alle Anforderungen gleichzeitig bestehen und erfüllt werden müssen. Es war deshalb sinnvoll, nach Basis- und Sonderanforderungen zu unterscheiden (Tabellen 1 und 2). Die Basisanforderungen sind grundsätzlicher Art, die Sonderanforderungen nur für bestimmte Anwendungsfälle relevant.

Wie können nun die geforderten Verbesserungen realisiert werden?

Den prinzipiellen Aufbau eines Kabels zeigt Bild 1. Die schematische Darstellung macht die Bandbreite der möglichen brandschutztechnischen Verbesserungen deutlich.

Die brandschutztechnischen Eigenschaften der Kabel können verbessert werden

- durch Auswahl eines geeigneten Polymers für die Leiterisolation (Ader) und den Kabelmantel,
- durch konstruktive Varianten der Bandierung bzw. der Armierung,
- durch Auswahl eines geeigneten Werkstoffes für die Bandierung bzw. Armierung.

Tabelle 1

Basisanforderungen

Anlage	Kabel
Reduzierung des Brandausmaßes	Besonders flammwidrig Minimale Brandfortleitung Geringe Brandlast
Minimale Folgeschäden bei Personen und Sachen	Schwach korrosive und toxisch wenig bedenkliche Brandgase
Geringe Behinderung bei Flucht, Rettungs- und Löschmaßnahmen	Geringe Rauchgasdichte

Tabelle 2

Sonderanforderungen

Anlage	Kabel
Betrieb elektrischer Einrichtungen mit Sicherheitsfunktion Informationsübermittlung aus dem und durch den Brandherd	Funktionstüchtig bei Flammen- einwirkung für eine bestimmte Zeit
Spezielle Anforderungen z. B. für - Schiffe, Offshore-Anlagen, - Kernkraftwerke	Seewasser- und ölbeständig Besondere Anforderungsprofile u. a. - widerstandsfähig gegen Kühlmittelverlust (KMV) - strahlenbeständig

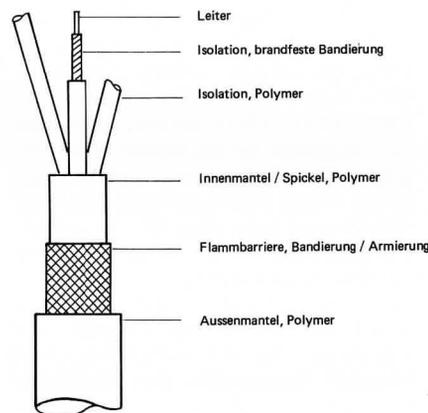


Bild 1. Kabelaufbau

Werkstoffe

Versuche, die konventionellen halogenhaltigen Werkstoffe, insbesondere Polyvinylchlorid (PVC) entscheidend zu verbessern, waren erfolglos. Zwar konnte die Flammwidrigkeit erheblich verbessert werden, jedoch nicht die Abspaltung korrosiver Zersetzungsprodukte verhindert und die Toxizität der Brandgase zufriedenstellend gemindert werden.

Dagegen brachten neue Rezepturen erstaunliche Erfolge. Die Lösung der gestellten Aufgabe wurde am Anfang der Entwicklung durch halogenfreie, vernetzbare Elastomere und später durch flammwidrige, halogenfreie Plastomere gefunden.

Als Basisstoffe haben vor allem die bereits in der Kabeltechnik bekannten und verwendeten Polymere wie

- Äthylen – Vinylacetat – Copolymer (EVA)
- Äthylen – Propylen – Kautschuk (EPR)
- Äthylen – Propylen – Terpolymer – Kautschuk (EPDM)
- spezielle Silikonkautschukarten

an Bedeutung gewonnen, obwohl, angenommen Silikonkautschuk, diese Polymere keine günstige Basis für flammhemmende Mischungen bieten. Sie geben eine relativ hohe Verbrennungswärme ab, deren Wirkung im Verbrennungsprozeß kaum behindert wird und deshalb die Brandfortleitung begünstigt. Jedoch gehören sie zu den Polymeren, die sich andererseits beim Abbrand durch wenig Rauch, korrosionsfreie und toxisch unbedenkliche Brandgase auszeichnen. Sie sind halogen-, schwefel- und stickstofffrei. Dies waren denn auch die ausschlaggebenden Eigenschaften für die Verwendung als Ausgangsstoffe für Kabel mit verbessertem Brandverhalten.

Wie aber konnte eine zufriedenstellende Flammwidrigkeit erzielt werden?

Bewährt hat sich der Zusatz aktiver Füllstoffe, und hier maßgeblich das Zusetzen von Aluminiumhydroxid. Durch die im Brandfall zugeführte Wärmeenergie zerfällt das Aluminiumhydroxid in ungiftiges Aluminiumoxid und Wasser. Dieser Prozeß beginnt etwa bei einer Temperatur von 200 °C. Der Höhepunkt der Wasserabspaltung wird zwischen 300 °C und 350 °C erreicht. Der Zersetzungsprozeß

verläuft nach der Reaktionsgleichung $2 \text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$.

Während der Verbrennung laufen folgende flammhemmenden Vorgänge ab:

Kühlen

Das freiwerdende Wasser entzieht der Umgebung Wärmeenergie. Dadurch werden die zur Verbrennung erforderlichen Pyrolysegasmengen reduziert.

Coaten

Das Aluminiumoxid bildet an der Oberfläche eine Schutzschicht, so daß der zur Verbrennung notwendige Sauerstoff ferngehalten wird.

Verdünnen

Der durch die Zersetzung gebildete Wasserdampf verdünnt die pro Volumeneinheit anwesende Radikalkonzentration.

Je größer der Anteil des Aluminiumhydroxids, desto wirksamer ist die flammhemmende Wirkung. Leider führen hohe Füllstoffgehalte aber auch zur Verschlechterung der elektrischen Eigenschaften. Dieser Nachteil kann nur durch dickere Wandstärken der Leiterisolation ausgeglichen werden oder durch Verwendung eines anderen halogenfreien Polymers, z.B. vernetztes Polyäthylen (VPE).

Der Werkstoff für den Kabelmantel erfordert im Gegensatz zur Leiterisolation keine besonderen elektrischen Eigenschaften. Hoher Füllstoffanteil ist deshalb möglich. Dieser kann 60% und mehr betragen.

Der Erfolg der Bemühungen, ein halogenfreies Polymer flammfester zu machen, läßt sich durch die Ermittlung des Sauerstoffindex bzw. des LOI-Wertes (Limiting Oxygen Index) veranschaulichen [1]. Der LOI-Wert gibt an, wieviel Prozent Sauerstoff in der Umgebung vorhanden sein muß, um eine Flamme zu erhalten.

Für halogenfreie Isolier- und Mantelmischungen werden Werte zwischen 27 und 40% O₂ angegeben. Bei Sonderwerkstoffen können Werte bis zu 50% O₂ festgestellt werden, also Werte deutlich über 21%, dem Sauerstoffgehalt der Luft. Der LOI-Wert für PVC liegt bei 22% O₂. Vereinfacht kann über den LOI-Wert von Werkstoffen folgende Aussage zum Brandverhalten [2] gemacht werden.

- LOI -23: gut brennbar
- LOI 24-28: bedingt flammwidrig
- LOI 29-35: flammwidrig
- LOI -36: besonders flammwidrig.

Diese Erkenntnisse geben aber keinen Aufschluß über das Brandverhalten der Kabel in der praktischen Anwendung. So kann das Brandverhalten (z. B. bei vertikaler oder waagerechter Kabelanordnung) oder die Frage, ob mit brennendem Abtropfen gerechnet werden muß, mit dieser Prüfmethode nicht beurteilt werden.

Die halogenfreien, flammhemmenden Werkstoffe stellen an sich auch einen erhöhten Funktionserhalt der Kabel sicher. Dieser genügt jedoch nicht den in der Praxis gewünschten Standzeiten. Eine weitere Verbesserung wird durch zusätzliche konstruktive Maßnahmen erreicht werden.

Analysiert man den Brandvorgang am einfachen Kabel, so ist die erste Barriere, die das Kabel dem Feuer entgegenstellt, der Kabelmantel. Erst nach einer gewissen Einwirkzeit des Feuers auf den Mantel wird die Isolation in Mitleidenschaft gezogen.

Durch Einbringen geeigneter Flammenbarrieren zwischen Mantel und Leiter (Bild 1) kann der Ausfall des Kabels weiter verzögert werden. Es ist leicht einzusehen, daß die Zeit, die das Feuer zum Durchbrechen der Flammenbarriere benötigt, in etwa gleich der Zeit ist, die das Kabel länger funktionstüchtig bleibt. Die Bandierung der einzelnen Leiter gewährleistet erfahrungsgemäß die längsten Standzeiten.

Als Werkstoffe werden heute Glasseide- und Glimmerbandierungen verwendet, wobei letztere bei Einzelbandierung der Leiter den Vorteil haben, im Brandfall nach Zerstörung der Isolation noch über Stunden als mineralische Isolation zu wirken.

Prüfbestimmungen

Nachdem von der Industrie bereits seit mehr als zehn Jahren Kabel mit verbesserten Eigenschaften angeboten werden, wurden 1985 die Prüfbestimmungen für halogenfreie Kabel in Kraft gesetzt [3, 4].

Zur Unterscheidung von anderen Kabeln sind halogenfreie Kabel besonders gekennzeichnet. Für Starkstromkabel gilt das Bauartkurzzeichen NHHX. Es bedeutet von links nach rechts:

- N = genormtes Kabel
- HX = Leiterisolierung aus vernetztem, halogenfreiem Werkstoff
- HX = Mantel aus vernetztem, halogenfreiem Werkstoff.

Auf dem Außenmantel muß in einem Abstand von 50cm die Aufschrift <VDE> 0266 aufgedruckt sein.

Der Mantel muß schwarz, für eigensichere Kabel hellblau und für den Bergbau unter Tage gelb gefärbt sein.

Halogenfreie Kabel für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen müssen auf dem Mantel das Kennzeichen „H“ im Abstand von 25 cm tragen.

Starkstrom-, Fernmelde- und Informationsverarbeitungskabel erhalten zusätzlich die Aufschrift „FE“, wenn sie auf Isolationserhalt geprüft sind.

Die brandschutztechnischen Eigenschaften halogenfreier Kabel werden durch Typprüfungen nachgewiesen. Sie umfassen

- das Brennverhalten [5],
- die Korrosivität der Brandgase [6] und
- den Isolationserhalt [7].

Prüfung des Brennverhaltens

Die Prüfung des Brennverhaltens wird in einem 4 m hohen, 2 m breiten und 1 m tiefen Schachtofen vorgenommen, der wärmeisoliert und mit Stahlblech ausgekleidet ist (Bild 2).

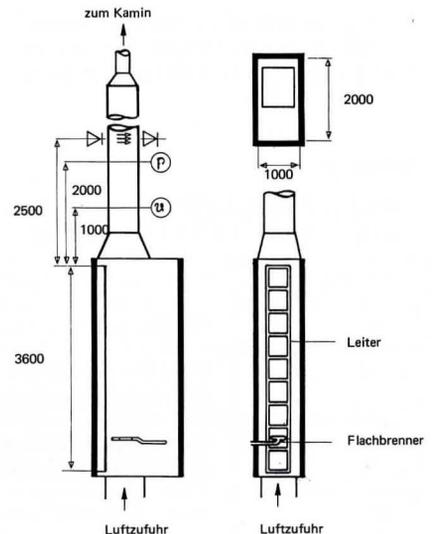


Bild 2. Kabelprüfofen nach VDE 0472 Teil 804 C

Auf einer 420 mm breiten Metalleiter, die senkrecht in dem Ofen aufgehängt wird, werden Kabelproben von 3,6 m Länge mit Stahldrähten an den Leitersprossen befestigt. Die Anzahl der Proben ist von ihrem Leiterquerschnitt bzw. Durchmesser abhängig. Die Belegungsbreite muß aber mindestens 180 mm betragen. Die Kabelbelegung wird wie folgt vorgenommen:

- Starkstromkabel mit Leiterquerschnitten ≤ 35 mm²,
- Fernmelde- und Steuerkabel mit einem Außendurchmesser ≤ 30 mm werden ohne Abstand auf der Kabelleiter befestigt.
- Starkstromkabel mit Leiterquerschnitten > 35 mm²,
- Fernmelde- und Steuerkabel mit einem Außendurchmesser > 30 mm werden in einem Abstand des halben Außendurchmessers, höchstens jedoch im Abstand 20 mm befestigt.

Der Abstand der Kabelleiter zur Rückwand des Schachtofens beträgt 15 cm.

Diese Kabelbelegung soll den praktischen Gegebenheiten mehr Rechnung tragen, als dies bislang nach den VDE-Bestimmungen der Fall war.

Für alle Kabel, die nicht als halogenfreie Kabel eingestuft werden, ist nach den VDE-Bestimmungen die Beflammung mit einem Bunsenbrenner, und zwar an einem Einzelkabel, vorgeschrieben. Die Flammenhöhe beträgt je nach Bauart 125 mm oder 175 mm.

Für die Prüfung halogenfreier Kabel wird ein 340 mm breiter Flachbrenner (Ribbon Burner) mit Mischventil für Propangas und Luftzufuhr verwendet. Er wird in einem Abstand von 75 mm senkrecht zur Oberfläche der Kabelproben und 60 cm vom unteren Ende der Kabelproben eingerichtet.

Der Brenner wird so eingestellt und geregelt, daß die Energie des Propangas-Luft-Gemisches (75 + 5) MJ/h beträgt. Dabei

entsteht eine Flammentemperatur von 800 °C.

Der Ofen-Luftdurchsatz wird auf 5 m³/min. eingestellt.

Nachdem der Brenner gezündet ist, werden die Prüflinge für eine Dauer von 20 min. beflammt. (In Zukunft soll die Beflammungszeit auf 40 min. heraufgesetzt werden.)

Die Prüfung gilt als bestanden, wenn nach der Entfernung des Brenners

an den Kabeln entstandene Flammen von selbst verlöschen,

die am weitesten entfernt liegende Brandbeschädigung nicht das obere Ende der Proben erreicht.

Brandspuren wie Rußbelag, Farbänderungen, Anschmelzungen, Blasenbildung, Kräuselung oder Beschädigung durch die Befestigungsdrähte werden nicht beanstandet.

Die feuersicherheitliche Prüfung für konventionelle Kabel weist bei weitem nicht die Schärfe dieser Brandprüfung auf. Was lag näher, PVC-Kabel und halogenfreie Kabel der Prüfung im Schachtofen zu unterziehen, um so Vergleiche anstellen zu können.

Der Brandverlauf geht aus den Tabellen 3 und 4 hervor.

Selbstverständlich sind diese Ergebnisse nicht auf einen praktischen Brandfall übertragbar. Zu erwarten ist jedoch, daß auch bei einem größeren Stützfeuer die Brandausbreitungsgeschwindigkeit und zwangsläufig auch die Abbrandstrecke wesentlich kleiner sein wird, als dies bei PVC-Kabeln der Fall wäre. Als Vorteil kommt die wesentlich geringere Brandintensität hinzu, die gerade in der Anfangsphase eines Brandes bei der Brandbekämpfung von entscheidender Bedeutung sein kann.

Tabelle 3

Zeitlicher Verlauf der Brandprüfung gem. DIN VDE 0472 Teil 804 Prüfmart C an PVC-Kabeln NYY – J 5 x 1,5 re 0,6/1kV

Zeit in Minuten	Beobachtungen
0	Der Brenner wird gezündet.
0,5	Die Zündflamme des Brenners springt sofort auf das PVC-Kabelbündel über.
1	Etwa 1/3 der Prüfstrecke steht in Flammen. Der thermoplastische Kunststoff PVC tropft brennend ab.
2,5	Mehr als die Hälfte der Prüfstrecke brennt.
4	Etwa 2/3 der Strecke ist abgebrannt.
7	Die Kabelbahn brennt auf der gesamten Länge.
8	Die Zündflamme wird entfernt. Die Kabel brennen ohne Zündflamme bis zum vollständigen Abbrand weiter.
12	Die Prüflinge werden aus dem Testofen herausgenommen.

Tabelle 4

Zeitlicher Verlauf der Brandprüfung gemäß DIN VDE 0472 Teil 804 Prüfmart C mit halogenfreien Kabeln 5 x 1,5 re 06/1kV

Zeit in Minuten	Beobachtungen
0	Der Brenner wird gezündet.
3	Die Zündflamme springt auf die Sicherheitskabel über.
6	Die Kabelmäntel platzen im Bereich der Zündflamme durch die Hitzeeinwirkung auf. Eine Beschädigung des Kabelmantels ist jedoch nur im Bereich der Zündflamme zu bemerken.
8	Die Flamme hat eine Höhe von ca. 70 cm erreicht.
10	Die Flammenhöhe hat sich kaum verändert. Die äußeren Kabelmäntel sind bis zu einer Höhe von ca. 50 cm aufgeplatzt.
15	Die Kabelmäntel sind bis zu einer Höhe von ca. 60 cm aufgeplatzt. Darüber liegende Bereiche haben sich nicht entzündet.
19	Außer der Zündflamme sind keine anderen Flammen mehr sichtbar.
20	Die Zündflamme wird abgestellt.

Rauchgasdichte

Die Überprüfung der Rauchgasdichte wird derzeit nach den VDE-Bestimmungen nicht gefordert. Zwei Meßmethoden stehen aber für eine Übernahme in die Bestimmungen zur Auswahl. Der sogenannte Cube-Test und die Messung in Verbindung mit dem Schachtofen.

Bei dem Cube-Test werden Kabelproben in einem abgeschlossenen Kubus von 3 m x 3 m x 3 m unter definierten Bedingungen verbrannt und die Brandgase fotometrisch gemessen. Die Ermittlung der Rauchgasdichte in Verbindung mit dem Schachtofen erfolgt ebenfalls fotometrisch in einem über dem Ofen installierten Kamin.

Die Werte für die Rauchgasdichte halogenfreier Kabel werden von den Herstellern mit 8–10 %, für PVC-Kabel mit 60–90 % angegeben.

Prüfung der Korrosivität der Brandgase

Die Korrosivität der Brandgase wird mit der Versuchsanordnung nach Bild 3 überprüft.

In ein ausgeglühtes Porzellanschiffchen wird eine Probe von 1 g zerkleinertem Kabelmaterial eingewogen, in das Quarzglasrohr eingebracht. Der Luftstrom wird auf 10 l/h eingestellt. Danach wird ein auf 800 °C vorgeheizter Verbrennungsofen über die Stelle des Quarzrohres geschoben, an der sich die Probe befindet. Während 30 min. werden dann in Abständen in der Gaswaschflasche, in der sich die Meßelektroden befinden, der

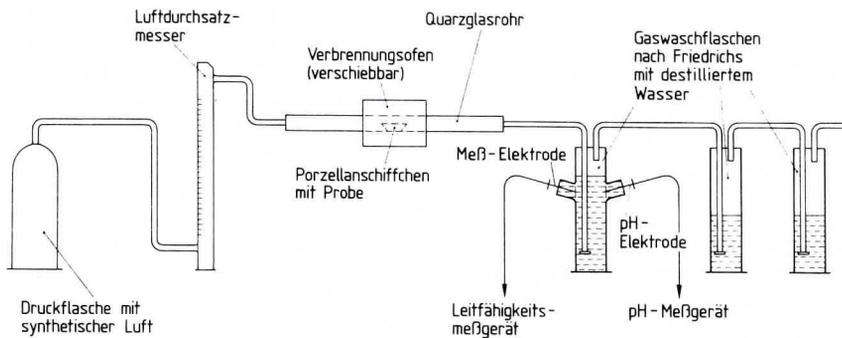


Bild 3. Prüfung der Korrosivität der Brandgase

pH-Wert und die Leitfähigkeit des Wassers gemessen.

Die Prüfung gilt als bestanden, wenn der pH-Wert $\geq 3,5$ ist und die elektrische Leitfähigkeit $< 100 \mu\text{S cm}^{-1}$ hat. Auf umfangreiche Werkstoffanalysen wurde verzichtet, da mit dieser Prüfmethode sowohl die Korrosionsgefahren durch Halogene als auch durch andere Elemente, z.B. Schwefel und Stickstoff, in ausreichendem Maße beurteilt werden können.

Nach Angaben der Hersteller weisen die Brandgase halogenfreier Kabel pH-Werte > 4 und Werte für die elektrische Leitfähigkeit zwischen 30 und $50 \mu\text{S cm}^{-1}$ auf, also deutlich bessere Werte, als sie nach den Bestimmungen gefordert werden. Im Vergleich dazu: Beim Brand von PVC-Kabeln werden pH-Werte zwischen 1 und 2 und eine Leitfähigkeit von mehreren $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$ gemessen.

Toxizität der Brandgase

Zur Toxizität der Brandgase halogenfreier Kabel werden in den VDE-Bestimmungen keine Anforderungen gestellt.

Den Kabelherstellern liegen jedoch medizinische Gutachten vor, die die Unbedenklichkeit der Brandgase bestätigen. Die Aussagen stützen sich auf Ergebnisse von Gasanalysen und Tierversuchen.

Prüfung auf Isolationserhalt

Kabel, die bei Flammeneinwirkung funktionstüchtig bleiben müssen, werden auf Isolationserhalt geprüft. Bild 4 zeigt die Versuchsanordnung.

Ein $1,20\text{ m}$ langes Kabelstück wird horizontal in einem Abstand von 75 mm zu dem darunter angeordneten Brenner befestigt.

Die Leiter des Kabels werden an einem Ende mit einer Spannungsquelle verbunden. Starkstromkabel werden mit einer Spannung von 380 V , Fernmeldekabel mit 110 V geprüft. Der Brenner wird so eingestellt, daß die Flammentemperatur $800^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ beträgt. Die Flammen

müssen über die gesamte Länge des Brenners an der Unterseite der Probe auftreffen.

Die Prüfung ist bestanden, wenn während der Prüfdauer von 20 min. kein Kurzschluß erfolgt und die in den Prüfstromkreis eingeschalteten Leitungsschutzsicherungen mit dem Nennstrom 2 A nicht auslösen.

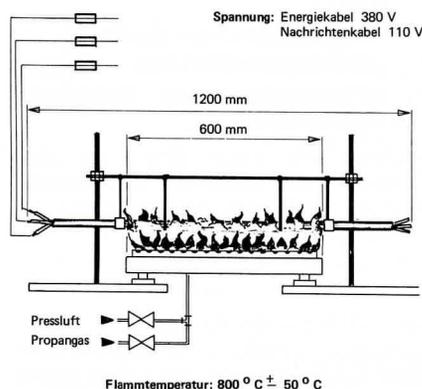


Bild 4: Funktionserhalt nach IEC 331

Die erläuterten Prüfungen sollen, wie alle anderen in den VDE-Betriebsmittel-Bestimmungen, den Nachweis erbringen, daß die vorgeschriebenen Mindestanforderungen eingehalten sind. Zum ersten Mal wird hier jedoch von der Prüfung am einzelnen elektrischen Betriebsmittel Abstand genommen und das Brandverhalten eines Kabel-Verlege-Systems, eines Kabelbündels in senkrechter Anordnung, beurteilt.

Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung

Halogenfreie Kabel sind so konzipiert, daß sie unter gleichen Bedingungen die konventionellen Kabel ohne zusätzliche Maßnahmen ersetzen können; d.h., sie weisen neben den verbesserten brandschutztechnischen Eigenschaften zumindest einen ebenbürtigen Schutz gegen mechanische, elektrische, thermische und chemische Einflüsse auf. Die Angebotspalette ist mit der von PVC-

Kabel vergleichbar, so daß alle Anwendungsfälle abgedeckt werden können.

Auf der Basis der VDE-Prüfungen lassen sich halogenfreie Kabel im Vergleich mit PVC-Kabeln wie folgt charakterisieren:

Sie sind besonders flammwidrig, d.h. die Brandintensität und die Brandfortleitung werden erheblich herabgesetzt.

Sie verursachen eine wesentlich geringere Rauchgasdichte.

Ihre Brandgase sind korrosiv und toxisch unbedenklich.

Bei Flammeneinwirkung bleiben sie länger funktionstüchtig.

Diesen positiven Merkmalen stehen, wie könnte es anders sein, auch Nachteile gegenüber, Nachteile, die den Einsatz der halogenfreien Kabel bislang nur in beschränktem Umfang zugelassen haben. Hier sind vor allem die Kosten und fehlende sicherheitstechnische Festlegungen zu nennen.

Halogenfreie Kabel sind etwa $2\text{--}3\frac{1}{2}$ mal teurer als vergleichbare PVC-Kabel-Bauarten. Die höheren Kosten werden zum einen durch teurere Ausgangsstoffe und zum anderen durch den aufwendigen Verarbeitungsprozeß verursacht.

Die Herstellung halogenfreier Kabel mit kleineren Leiterquerschnitten ist teurer als die Fertigung von Kabeln mit größeren Leiterquerschnitten. Aus technischen Gründen muß die Verarbeitungsgeschwindigkeit niedrig gehalten werden. Kabel, die bei Flammeneinwirkung länger funktionstüchtig bleiben, sind wiederum teurer als normale halogenfreie Kabel, da zusätzliche Materialien und Arbeitsvorgänge erforderlich sind.

Unter diesen Voraussetzungen ist es denn auch nicht verwunderlich, wenn der Umsatz derzeit nur etwa 1% des Gesamtkabelgeschäftes ausmacht. Es ist jedoch zu erwarten, daß die Verarbeitung thermoplastischer Werkstoffe zu einer Kostensenkung und letztlich auch zu einer verstärkten Anwendung führen wird.

Wird über den Einsatz halogenfreier Kabel entschieden, sollten zunächst die Überlegungen vorangestellt werden, ob die Verbesserung des Brandverhaltens der Kabel oder der Weiterbetrieb wichtiger Anlagen im Brandfall im Vordergrund der Betrachtungen stehen oder beide Ziele gleichbedeutend sind.

Im ersten und dritten Fall müssen grundsätzliche Voraussetzungen geschaffen werden, die garantieren, daß die Vorteile durch halogenfreie Kabel nicht aufgehoben werden, z.B. durch Bau- und Werkstoffe, Bauteile und Materialien auch anderer Gewerke.

Z.B. würde die Kombination von PVC- und halogenfreien Kabeln auf ein und derselben Trasse trotz des Einsatzes verbesserter Werkstoffe u. a. aufwendige Sanierungsmaßnahmen zur Behebung der Korrosionsschäden zur Folge haben. Die Investitionen für die neuen Kabel wären nicht vertretbar. Für die Nachrüstung in bestehenden Anlagen kommen halogenfreie Kabel deshalb allenfalls nur bedingt in Frage.

Für Neuanlagen aber werden sie in zunehmendem Maße an Bedeutung gewinnen, da die Verbesserung der Werkstoffe auch in Zukunft weitergehen wird und heute bereits andere elektrische Betriebsmittel aus halogenfreien Werkstoffen eingesetzt werden können, z. B. Elektroinstallationsrohre, Elektroinstallationskanäle, Verteilerdosen und Verteilergehäuse. Rohrleitungen, Fußbodenbeläge und andere technische Einrichtungen sind Beispiele dafür, daß auch in anderen Gewerken halogenfreie Lösungen angestrebt werden.

Die hauptsächlichlichen Anwendungsgebiete für halogenfreie Kabel sind heute Installationen mit hohem Sicherheitsbedürfnis, vornehmlich in Gebäuden und Bereichen mit Menschenansammlungen und/oder Sachwertkonzentrationen, z. B. Hochhäuser, Warenhäuser, Hotels, Krankenhäuser, Datenverarbeitungs- und Zivilschutzanlagen, Verkehrsbetriebe, insbesondere U-Bahnen und U-Bahntunnel, Elektrizitätswerke, Telefonzentralen, Chemieanlagen, Kernkraftwerke, Offshore-Anlagen, Schiffe. Die Hersteller verfügen über Referenzlisten, die Auskunft über den praktischen Einsatz halogenfreier Kabel geben.

In ungeschützten Zwischendecken- und Zwischenbodenbereichen könnte der Einsatz halogenfreier Kabel wesentliche brandschutztechnische Vorteile bringen. In diesen Bereichen sind häufig erhebliche Kabelmassierungen vorhanden, und es muß mit einer schwierigen Brandbekämpfung gerechnet werden.

Nach DIN 4102 Teil 2 [8] den Richtlinien über brandschutztechnische Anforderungen an haustechnischen Leitungsanlagen (in Vorbereitung) und den Richtlinien für Sprinkleranlagen des Verbandes der Sachversicherer wird deshalb neben anderen Anforderungen eine Begrenzung der Brandlast vorgeschrieben.

Dadurch soll die in diesen bei einem Brand kritischen Hohlräumen freierwerdende Verbrennungsenergie gering gehalten werden. Für den Projektteur elektrischer Anlagen heißt das, daß er nur eine bestimmte Anzahl Kabel einplanen darf.

Für PVC- und PE-Kabel ist diese Forderung sicherlich gerechtfertigt. Aber ist sie in der gleichen Härte auch bei Einsatz halogenfreier Kabel sinnvoll?

Zwar sind die Werte der Verbrennungsenergie nicht günstiger als die der PVC-

Kabel; jedoch ist bei gleichen Randbedingungen ein geringerer Abbrand zu erwarten, was indirekt mit einer geringeren wirksamen Brandlast gleichzusetzen ist. Hinzu kommen die günstigeren Brandfolgeerscheinungen, die in diesem Zusammenhang auch nicht außer acht gelassen werden sollten. Das sind ausreichende Gründe, die bestehenden Festlegungen einer Überprüfung zu unterziehen. Vorstellbar wäre, die für PVC-Kabel geforderte Brandlastbegrenzung bei Einsatz halogenfreier Kabel zu erhöhen, so daß eine größere Anzahl halogenfreier Kabel verlegt werden könnte.

Einrichtungen mit Sicherheitsfunktion, wie

Anlagen zur Alarmierung und zur Erteilung von Anweisungen an Besucher und Beschäftigte,

Sicherheits-Beleuchtungsanlagen,

Personenaufzüge mit Evakuierungsschaltung,

Feuerwehraufzüge / Sicherheitsaufzüge,

Rauchabzugs-Ventilatoren,

Rauch- und Wärme-Abzugseinrichtungen,

Wasserdruckerhöhungsanlagen zur Löschwasserversorgung,

Lüftungsanlagen von Sicherheitstrepptürmen,

müssen bei einem Brand für eine bestimmte Zeit weiter betrieben werden können. Die Kabel, die die Versorgung dieser Einrichtungen übernehmen, müssen auf ihrer ganzen Länge vor Flammenwirkung geschützt werden.

Die Schutzvorkehrungen sind erfahrungsgemäß nicht immer zufriedenstellend ausgeführt. Dies gilt insbesondere für Nachrüstungen und in Bereichen wie Kabelkeller und Zwischenböden, in Leitständen, Schalt- und Verteileranlagen. An diesen Stellen wird eine Vielzahl Kabel zusammengeführt, Kreuzungen und Richtungsänderungen sind erforderlich, so daß eine konsequente Trennung der Kabel oft nur mit erheblichem Aufwand möglich ist. Bei Nachrüstungen in bestehenden Anlagen können die Planer vor schier unlösbare Probleme gestellt werden.

Und selbst bei einem lückenlosen Längsschutz, z. B. durch Abtrennung mit Fasersilikat-Platten, sind Zweifel angebracht, ob konventionelle Kabel über die geforderte Zeit funktionstüchtig bleiben. Dies vor allem dann, wenn die Hohlräume, in denen die Kabel verlegt werden, sehr klein sind.

Die zulässige Dauertemperatur für PVC-Kabel beträgt 70 °C. Bereits bei 80 °C beginnt PVC zu erweichen und bei 120 °C wird es plastisch. Bei weiterer Erwärmung muß damit gerechnet werden, daß ein Kurzschluß eintritt und die Anlage vorzeitig außer Betrieb setzt.

Vernetzte Werkstoffe, wie sie für halogenfreie Kabel verwendet werden, schmelzen auch bei hohen Temperaturen nicht. Der Kabelmantel verkrustet und die eingebrachten Feuerbarrieren verhindern eine Leiterberührung.

Um die Leistungsgrenzen der Kabel herauszufinden und eine Antwort auf die immer wieder gestellte Frage der Anwender zu erhalten, wie denn die neuen Sicherheitskabel nach DIN 4102 zu bewerten sind, wurden auch Prüfungen in Anlehnung an diese Norm durchgeführt. Die Versuche wurden in dem Kleinprüfstand nach Teil 8 vorgenommen und die Kabel nach der Einheitstemperaturkurve beflammt.

Als Ergebnis kann festgehalten werden: Kabel, die der VDE-Prüfung mehr als drei Stunden standhalten, fallen hier bereits zwischen der 53. und 113. Minute aus.

Aber auch diese Ergebnisse lassen trotz der erhöhten Prüfschärfe keine Rückschlüsse auf das Verhalten der Kabel im praktischen Brandfall zu.

In einer praxisnahen Prüfung auf Funktionserhalt müßten zusätzliche Kriterien berücksichtigt werden, wie vertikale und waagerechte Anordnungen der Kabel, die Art der Kabelbefestigungen, -bögen, das Verhalten der Kabel bei mechanischen Beanspruchungen, z. B. durch heruntergefallene Teile, und Strombelastung sowie die Auswirkungen von Löschmitteln.

Schlußbemerkung

Die Ergebnisse der Untersuchungen mit halogenfreien Kabeln zeigen, daß diese im Vergleich zu den konventionellen Kabeln erhebliche brandschutztechnische Vorteile aufweisen.

Welche Verbesserungen sie im wirklichen Brandgeschehen bringen, ist nicht bekannt, da auf praktische Erfahrungen nicht zurückgegriffen werden kann.

Jedoch kann folgendes festgestellt werden:

Bei gleichen Voraussetzungen auch im Umfeld der Kabelanlage können Schäden durch Korrosion, wie sie als Folge von PVC-Kabel-Bränden bekannt sind, verhindert werden.

Es ist zu erwarten, daß die geringe Rauchgasdichte und Toxizität der Brandgase halogenfreier Kabel die Möglichkeiten der Flucht, der Rettung und des Löschens verbessern.

Ob sich auch die hohen Erwartungen im Hinblick auf die Reduzierung der Brandausweitung erfüllen, bleibt abzuwarten. Anzunehmen ist jedoch, daß die Voraussetzungen für eine wirksame Brandbekämpfung in der Anfangsphase eines Brandes günstiger sind.

Kabel, die die Prüfung auf Isolationserhalt bestanden haben, können in bestimmten Fällen auch ohne zusätzliche Längsschutz-Maßnahmen zur Versorgung technischer Einrichtungen mit Sicherheitsfunktion eingesetzt werden.

[2] Halogenfreie Werkstoffe – Stand der Entwicklung, Fachtagung 1983 im Haus der Technik, W. Berchem

[3] DIN VDE 0266 „Halogenfreie Kabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall“
VDE-Verlag, Offenbach, Beuth-Verlag, Berlin

[4] DIN VDE 0815 „Installationskabel und -Leitungen für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen“

[5] DIN VDE 0472 „Regeln für die Durchführung von Prüfungen an isolierten Leitungen und Kabeln“
Teil 804, Prüfmethode C „Brennverhalten“

[6] DIN VDE 0472 Teil 813 „Korrosivität von Brandgasen“

[7] DIN VDE 0472 Teil 814 „Isolationserhalt bei Flammeneinwirkung“

[8] DIN 4102 Teil 2 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“
– Bauteile –

Literatur-Nachweis

[1] Sauerstoff-Index nach ASTM D 2863-70

Sturmschäden an leichten Flachdächern, Fassadenbekleidungen, Trennwänden und abgehängten Decken

Wilhelm Schaupp

Die verheerenden Sturmschäden vom 10.07.1968 im Raum Pforzheim und im Land Schleswig-Holstein im Februar und Oktober 1967 und im Januar 1968 (s. die Berichte Paschen im DDH 4/73 und Lorenzen im DDH 4/69) gaben seinerzeit den entscheidenden Anstoß, die DIN 1055 Blatt 4 „Windlasten“ vom Juni 1938 zu überarbeiten.

Die Fachwelt war sich damals schon darüber klar, daß weniger die Annahme der Windgeschwindigkeiten und der daraus resultierende Staudruck, sondern die baukörperform-spezifischen Beiwerte c differenzierter erfaßt werden sollen.

Es sei nochmal daran erinnert, daß in der alten Norm für Windsogkräfte der allgemeine Beiwert 0,4 betrug.

Aus diesem Grunde wurden im März 1969 die Ergänzenden Bestimmungen zu DIN 1055 Blatt 4 von einem ETB-Ausschuß und im DIN erarbeitet und von den Bauaufsichtsbehörden als Richtlinie eingeführt.

Für die Schnittkanten von Dach- und Wandflächen sind danach im Wandbereich **zusätzlich** zu den Soglasten von DIN 1055 Blatt 4 (alt) solche mit einem Beiwert c von 2,0 auf 1 m Breite beiderseits der Kanten in Rechnung zu stellen und bei Flachdächern im Eckbereich zusätzlich 2,8, im Randbereich zusätzlich 1,4.

Gefordert wurde, daß sämtliche in der Konstruktion durch Windbeanspruchung entstehenden Kräfte vom Entstehungsort, z. B. der Dachhaut, über alle Zwischenbauteile sicher in die Veranke-

rungsbauteile abzuleiten sind; das gilt besonders für die Befestigung von Fassadenbekleidungen, für belüftete Kaltdachkonstruktionen über massiven Dächern und für Warmdächer.

Es sind noch Hinweise enthalten für die Befestigung der Dachflächen, Holzschalungen, Spanplatten, Asbestzementplatten, Verblechungen usw.

Die Erarbeitung einer völlig neuen Windlast-Norm ist seither vorangetrieben worden. Eine Neufassung wird der Öffentlichkeit in Kürze vorgelegt werden können.

Vor allem wurde die Beiwertsammlung durch Auswertung aller greifbaren Windkanaluntersuchungen erweitert. Es wurde eine Zonenkarte für die Windge-

schwindigkeiten aufgestellt und die Verteilung der Windgeschwindigkeiten, d. h. das Windprofil, genauer erfaßt.

Vorerst hat sich noch keine Notwendigkeit ergeben, die Staudrücke und ihre Bereiche als statische Ersatzlasten zu verändern. Für genauere Untersuchungen werden aber Rechnungsnachweise angegeben.

Bei der weiteren Überarbeitung wird man vor allem die veränderte Bauweise stärker berücksichtigen müssen.

Dächer werden in vielen Fällen als zweischalige, hinterlüftete Kaltdächer hergestellt und erreichen damit eine winddichte äußere Haut. Die selbstheilende Wirkung der Dachdeckungen, Abbau der

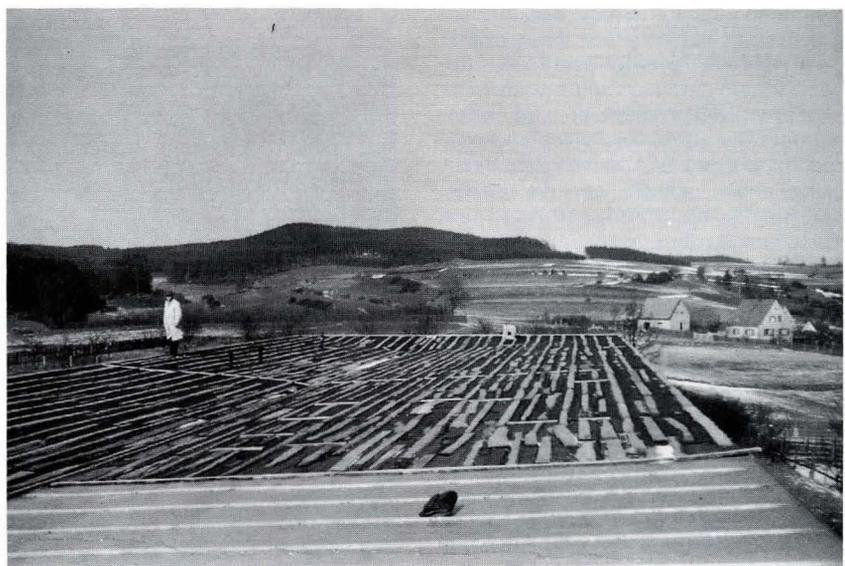


Bild 1